

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

**ALTERAÇÕES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E RESPOSTA DO
MILHO À CALAGEM SUPERFICIAL E INCORPORADA EM REGIÃO DE
INVERNO SECO**

CARLOS SÉRGIO TIRITAN

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP-Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em Agronomia-
àrea de Concentração em Agricultura.

BOTUCATU –SP

Novembro - 2001

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

**ALTERAÇÕES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E RESPOSTA DO
MILHO À CALAGEM SUPERFICIAL E INCORPORADA EM REGIÃO DE
INVERNO SECO**

CARLOS SÉRGIO TIRITAN
Engenheiro Agrônomo

Orientador : Prof. Dr. Leonardo T. Büll
Co-Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP-Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia- área de Concentração em Agricultura.

BOTUCATU -SP
NOVEMBRO - 2001

A DEUS, pela vida

Aos meus pais

Ana e Augusto

OFEREÇO

**À pequena e graciosa Lorena, minha
filha e à Márcia, minha esposa
DEDICO**

AGRADECIMENTOS

A Deus por abençoar todas as etapas da minha vida;

Em especial a minha família, pelo apoio contínuo em todos os momentos;

A minha esposa, por toda compreensão, paciência, amor e alegria;

A faculdade de Ciências Agrárias da Universidade do Oeste Paulista-UNOESTE, Presidente Prudente-SP, pela liberação concedida para realização do curso;

Ao programa da CAPES/PICDT/FCAP, pela concessão de bolsa de estudo, apoio financeiro fundamental na capacitação de técnicas e professores das Instituições de Nível Superior deste país;

A Faculdade de Ciências Agrônomicas, Campus de Botucatu, UNESP, pelo excelente Curso de Pós-Graduação oferecido;

Ao Departamento Produção Vegetal, Setor de Agricultura e Melhoramento Vegetal da FCA/UNESP, pela oportunidade em realizar o curso;

Ao coordenador do Curso de Pós-Graduação em Agricultura, Prof. Dr. Maurício Dutra Zanotto, por sempre ter acreditado no meu trabalho;

A Fazenda da FCA e ao PRONEX, que possibilitaram as condições físicas e financeira para o desenvolvimento do projeto de tese;

Ao Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem, pela postura ética e responsável com que administra o patrimônio público como Chefe do Dept. de Produção Vegetal e Coordenador do PRONEX;

Ao meu grande amigo e Co-orientador Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, pela co-orientação, amizade e companherismo de longa data;

Ao meu orientador Prof. Leonardo T. Bull, pela orientação, exemplo como professor e pesquisador, amigo e companheiro de todas as horas;

Aos professores do Setor de Agricultura e Melhoramento Vegetal, pela acolhida, dedicação, compreensão e amizade, com os quais adquiri conhecimento técnico e científico;

A todos os funcionários da FCA, que colaboraram pelo desenvolvimento desse trabalho;

A todos os funcionários do Laboratório de Solos e Tecidos Vegetais do Curso de Agronomia da Faculdade de Ciências Agrárias da UNOESTE, pela prestabilidade que possibilitou o desenvolvimento desse trabalho, principalmente na realização das análises de solos e plantas;

Aos acadêmicos Júlio César Minca e Marco Aurélio Fernandes do Curso de Agronomia da Faculdade de Ciências Agrárias da UNOESTE, pelo auxílio na digitação da tese;

Aos colegas do curso, pelo convívio saudável e aprendizado compartilhado durante a realização do curso;

Às funcionárias(os) da Biblioteca da FCA, e da Seção de Pós-Graduação, pela gentileza e presteza no atendimento de nossas necessidades;

A todos que colaboraram de alguma forma, direta ou indiretamente, para que o objetivo na realização deste trabalho fosse alcançado;

SUMARIO

LISTA DE QUADROS.....	V
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	7
4.1 Sistema de plantio direto no Brasil.....	7
4.2 Cobertura Vegetal do Solo para o sistema plantio Direto.....	09
4.3 Acidez do solo sob plantio direto.....	14
4.4 Calagem no plantio direto e interação com sistema de preparo de solo.....	19
4.5 Avaliação da qualidade dos corretivos agrícolas.....	24
4.6 Acidez do solo e o estado nutricional das plantas.....	28
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
5.1. Local.....	34
5.2. Clima.....	34
5.3. Solo.....	35
5.4. Preparo inicial do solo da área do experimento.....	36
5.5. Delineamento Experimental e Tratamentos.....	37
5.6 Semeadura da cultura do milho e tratos culturais (ano 98/99 e 99/00)	38
5.7. Obtenção dos dados.....	39
5.7.1 Análise de solo	39

5.7.2 Diagnose Foliar (ano 1998/99 e 1999/00)	40
5.7.3. Características da Planta.....	40
5.8. Análises estatísticas.....	41
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
6.1 pH do solo.....	42
6.2 Acidez potencial do solo	47
6.3 Alumínio trocável.....	51
6.4 Fósforo e potássio no solo.....	55
6.5 Cálcio trocável.....	59
6.6 Magnésio trocável.....	64
6.7 Saturação em bases (V%).....	69
6.8 Matéria orgânica no solo.....	74
6.9 Avaliação da produção e dos componentes de produção	79
6.9.1. Produção de grãos de milho e Peso de 100 grãos.....	79
6.9.2. Componentes de produção.....	82
6.10. Efeito da calagem nos teores foliares de nutrientes do milho.....	85
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
8. CONCLUSÕES.....	92
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Resultados da análise química de terra da área do experimento, em amostra (0- 20cm) coletada antes da implantação do experimento (março de 1998).....	35
Quadro 2. Atributos químicos do solo da área experimental, em amostras coletadas antes da aplicação dos tratamentos, em diferentes profundidades, no município de Botucatu, SP.....	38
Quadro 3. Quadro da análise de variância.....	41
Quadro 4. Valores de pH em CaCl_2 no solo, 180 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	45
Quadro 5. Valores de pH no solo, 360 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	46
Quadro 6. Valores de pH em CaCl_2 solo, 180 dias após a aplicação da segunda dose de calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	47
Quadro 7. Teores de H+Al no solo em $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, 180 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	49
Quadro 8. Teores de H+Al no solo em $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, 360 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	50
Quadro 9. Teores de H+Al no solo em $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, 180 dias após a aplicação da Segunda dose de calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	51
Quadro 10. Teores de alumínio trocável no solo em $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, 180 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	53
Quadro 11. Teores de alumínio trocável no solo em $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, 360 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	53
Quadro 12. Teores de alumínio trocável no solo em $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, 180 dias após a aplicação da Segunda dose de calcário, para as 4 profundidades amostradas em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	54
Quadro 13. Teores de fósforo em mg dm^{-3} e potássio $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo, 180 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	57
Quadro 14. Teores de fósforo em mg dm^{-3} e potássio $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo, 360 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	57

Quadro 15. Teores de fósforo em mg dm^{-3} e potássio $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$ no solo, 180 dias após a aplicação da Segunda dose de calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	58
Quadro 16. Teores de cálcio trocável em $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$ no solo, 180 dias após a aplicação do calcário, em quatro 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	61
Quadro 17. Teores de cálcio trocável em $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$ no solo, 360 dias após a aplicação do calcário, em quatro 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	62
Quadro 18. Teores de cálcio trocável em $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$ no solo, 180 dias após a aplicação da Segunda dose de calcário, em quatro 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	64
Quadro 19. Teores de magnésio trocável em $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$ no solo, 180 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	67
Quadro 20. Teores de magnésio trocável em $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$ no solo, 360 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	68
Quadro 21. Teores de magnésio trocável em $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$ no solo, 180 dias após a aplicação da Segunda dose de calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	69
Quadro 22. Valores de saturação em bases em (%), 180 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	72
Quadro 23. Valores de saturação em bases em (%), 360 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	73
Quadro 24. Valores de saturação em bases no solo, 180 dias após a aplicação da segunda dose de calcário, para as 4 profundidades, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	73
Quadro 25. Teores de matéria orgânica no solo em g dm^{-3} , 180 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	77
Quadro 26. Teores de matéria orgânica no solo em g dm^{-3} , 360 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	78
Quadro 27. Teores de matéria orgânica no solo em g dm^{-3} , 180 dias após a aplicação da Segunda dose de calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.....	79
Quadro 28. Produção e massa de 100 grãos de milho, cultivado no ano agrícola de 98/99.....	81
Quadro 29. Produção e massa de 100 grãos de milho, cultivado no ano agrícola de 99/00.....	82

Quadro 30. Análise dos componentes de produção: diâmetro do colmo, altura de plantas, peso da espiga sem palha, comprimento da espiga sem palha, número de grãos por fileiras e número de fileiras de grão na espiga. Ano Agrícola (1998/1999).....	84
Quadro 31. Análise dos componentes de produção: diâmetro do colmo, altura de plantas, peso da espiga sem palha, comprimento da espiga sem palha, número de grãos por fileiras e número de fileiras de grão na espiga. Ano agrícola (1999/2000).....	85
Quadro 32. Teores foliares de macronutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), em g kg^{-1} , em amostras retiradas no período de florescimento do milho, cultivado no ano agrícola de 98/99.....	88
Quadro 33. Teores foliares de macronutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), em g kg^{-1} , em amostras retiradas no período de florescimento do milho, cultivado no ano agrícola de 99/00.....	89

1 RESUMO

Conduziu-se um experimento num Latossolo Vermelho Distroférico, localizado no município de Botucatu, SP, na Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu/UNESP. Estudou-se a resposta da cultura do milho (*Zea mays*) à diferentes sistemas de manejo de palha associado à aplicação de doses de calcário incorporado e não incorporado. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e quatro repetições. As parcelas de 5 m x 30 m, foram constituídas de palha na superfície e calcário superficial, retirada da palha superficial com rastelo e calcário superficial e incorporação da palha e calcário. As subparcelas de 5 m x 10 m receberam três doses de calcário no primeiro ano de cultivo (0, 2 e 4 ton ha⁻¹); no segundo ano fez-se uma aplicação complementar nas subparcelas de 1/3 da dose aplicada no primeiro ano. Para estabelecer o manejo da palha, em maio de 1998 cultivou-se a aveia, que foi dessecada em novembro de 1998 para a semeadura do milho em dezembro de 1998. No segundo ano, não foi possível realizar o cultivo de aveia, utilizando-se como cultura para formação de palha a *Brachiaria decumbens*, que ressurgiu na área após a colheita do milho, em outubro foi

dessecada para a semeadura do milho em dezembro de 1999. A avaliação dos atributos químicos do solo foi realizada nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, e 20-30 cm, no início do experimento e depois aos 180, 360 e 540 dias, após a aplicação do calcário. Para a cultura do milho foram avaliadas os teores de macronutrientes na folha, a produção de grãos em kg ha⁻¹ e massa de 100 grãos. Os diferentes sistemas de manejo da palha, associados à aplicação de calcário com o sem incorporação, não afetaram os atributos químicos do solo (pH, H+Al, Al, Ca, Mg e V %) e a produção de grãos de milho. A aplicação de calcário superficial ou incorporado, na presença ou ausência de palha de aveia, milho ou de brachiaria, não apresentaram diferenças significativas. As doses de calcário afetaram significativamente os atributos químicos do solo avaliados e a produção de milho, sendo que a aplicação de 4 t ha⁻¹ no primeiro ano, acrescidos de 1/3 no segundo ano, foi superior à dose de 2 t ha⁻¹ no primeiro ano, acrescidos de 1/3 no segundo ano, e a dose zero.

SOIL CHEMICAL ATRIBUTES ALTERATIONS AND CORN RESPONSE TO SUPERFICIAL AND INCORPORATED LIMING IN DRY WINTER REGION.

Botucatu, 2001. 107p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas , Universidade Estadual Paulista

Author: CARLOS SERGIO TIRITAN

Adviser: LEONARDO THEODORO BÜLL

Co-Adviser: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

2 SUMMARY

An experiment of corn (*Zea mays*) response to mulch management combined with different lime doses, incorporated or not, was conducted in Botucatu county, over Distroferric Red Latosol in Lageado Experimental Farm of Faculdade de Ciências Agrárias – UNESP. The experimental design adopted was casualised blocks, divided in sub-plots with four repetitions. Each block was 5 x 30m, constituted as follows: superficial mulch plus lime, superficial mulch removed plus lime and incorporated mulch and lime. Each sub-plot (5 x 10 m) received three-lime doses (0, 2 e 4 t ha⁻¹) in the first year of cultivation and in the second year one third of each dose was applied. Mulch management was done by sowing, in May 1998, the first year of experimentation, oat that was dried in November prior corn sowing, in December. In the second year *Brachiaria decumbens* was used as mulch former, being dried in October 1999; corn was sowed in December. Chemical soil attributes was evaluated at 0-5; 5-10; 10-20; and 20-30 cm, at the beginning of the experiment and 180, 360 and 540 days after lime application. Corn culture was evaluated by leaf diagnosis, grain yield (kg ha⁻¹) and hundred

grains mass. Soil attributes (pH, H+Al, Al, Ca, Mg e V %) was not affected by different management, incorporation or not, of mulch and lime, as grain yield. So, application of lime, incorporated or not, in absence or in presence of oat, corn or *Brachiaria* mulch, did not show any statistical difference. Lime doses directly affected the chemical soil attributes and corn grain yield (kg ha⁻¹). The 4 t ha⁻¹ of lime applied in the first year and one third in the second was superior in all soil attributes and grain yield to the 2 t ha⁻¹ of lime and the zero dose.

Keywords: lime, mulch, soil management, chemical attributes, grain yield, *Zea mays* L.

3. INTRODUÇÃO

A adoção de diferentes métodos de preparo do solo sobretudo na região Sul do Brasil, onde o plantio direto é prática consagrada, tem promovido sensíveis aumentos de produtividade e contribuído para melhorar gradativamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Castro & De Maria, 1993; Sá, 1993). Como o princípio de cultivo sem preparo pressupõe o não revolvimento do solo, o calcário, principalmente após a implantação do sistema, não deve ser incorporado. Essa prática torna-se problemática em razão da baixa solubilidade do calcário, dificultando a ação na correção da acidez. Salienta-se que o emprego de doses elevadas de fertilizantes nitrogenados concorrem para acidificação dos solos (Muzilli, 1985) no sistema plantio direto.

No sistema plantio direto, há intensa deposição de resíduos orgânicos sobre a superfície do solo, podendo ocorrer reação desse material com o solo, sendo essa prática sugerida como alternativa para a correção da acidez e neutralização do Al e Mn em níveis tóxicos (Miyazawa et al., 1993; Souza et al., 1996; Dolling, 1996). Os mecanismos envolvidos nessa reação estariam relacionados à complexação desses íons pelos ânions orgânicos produzidos pelos resíduos vegetais e liberados durante o processo de decomposição,

principalmente na interface solo - resíduo orgânico, com posterior carregamento desses ânions para camadas mais profundas do perfil do solo. Entretanto, esse processo isolado não tem se mostrado eficiente para a total correção da acidez em níveis desejados, devendo ser associado à aplicação de calcário.

Nas regiões tradicionais em plantio direto a calagem tem sido recomendada em aplicações na superfície do solo, sem revolvimento, e os resultados obtidos têm sido satisfatórios (Sá, 1993; Santos et al., 1996). Ocorre que essas regiões se caracterizam por apresentarem condições climáticas diferenciadas daquelas reinantes na região Sudeste e Centro-Oeste do País, que têm como característica principal o inverno com intenso déficit hídrico, se traduzindo em condições que dificultam sobremaneira a implantação de sistemas de rotação de culturas, com inclusão de plantas que produzam fitomassa no inverno. Infere-se, portanto, que as respostas à calagem em solos manejados no sistema plantio direto podem ser diferentes nessas regiões geográficas.

O trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de calcário na superfície e com incorporação, em plantio direto e verificar o efeito da palhada de aveia, milho e brachiaria na reação do solo, quando incorporados ao solo e sem incorporação.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Sistema plantio direto no Brasil

O plantio direto no Brasil é relativamente recente. Segundo Muzilli (1985), esse sistema de cultivo iniciou-se em 1971 no Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária Meridional do Ministério da Agricultura - IPEAME/MA, representando assim o marco inicial do plantio direto no Brasil.

Apesar das pesquisas e demonstrações realizadas pelo IPEAME/MA, alguns anos foram necessários para o plantio direto tornar-se uma realidade e ser adotado em grande escala pelos agricultores, sendo que a consolidação do sistema e a sua expansão só ocorreu a partir de 1979, quando surgiram novos conhecimentos e incentivos. A partir desse ano começaram a surgir os primeiros trabalhos de pesquisa com plantio direto, que foram desenvolvidos no IAPAR. Alguns autores estudaram vários aspectos do plantio direto. Montoya (1984) ressaltou os benefícios sociais e econômicos do plantio direto, concluindo que o sistema possibilita maior eficiência no aproveitamento e economia de adubos, em consequência da restauração e manutenção da fertilidade do solo, diminuição de danos por

assoreamento de barragem e vias navegáveis, redução dos danos causados às estradas vicinais e maior disponibilidade de terras com potencial produtivo mais elevado. Muzilli (1981), verificou que a não mobilização do solo no plantio direto reduziu os efeitos da fixação de fósforo e o maior teor de umidade foi o responsável pela maior absorção de fósforo pelas plantas, devido ao maior teor de umidade na camada arável, favorecendo a taxa de difusão do nutriente até as raízes.

Carvalho (1981) verificou que no sistema de plantio direto a incidência de pragas, como a lagarta elasmó em trigo e trips na soja, foram menores do que no sistema convencional.

Bertol et al. (1997) compararam diferentes formas de preparo de solo, com o objetivo de verificar o efeito da erosão hídrica em função das alterações promovidas pelos diferentes sistemas. Foram utilizados os seguintes tratamentos: semeadura direta, escarificação e aração + gradagem na presença e ausência dos resíduos recém-colhidos de milho e trigo. A semeadura direta com os resíduos culturais foi o tratamento mais eficaz na redução da erosão e a aração + gradagem, sem os resíduos, o menos eficaz. A escarificação com os resíduos culturais na superfície apresentou maior perda de solo do que a semeadura direta e a aração+gradagem com os resíduos na superfície. Em geral, as perdas de água por escoamento superficial seguiram o mesmo comportamento das perdas de solo.

Seganfredo et al (1997) estudaram as perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. Os tratamentos aplicados foram: (1) solo descoberto; (2) aveia-preta + ervilhaca comum no inverno e milho no verão; (3) tremoço azul no inverno e milho no verão; (4) pousio invernal e milho no verão; (5) milho + mucuna-cinza no verão e resíduo de milho + mucuna no inverno; (6) milho + feijão-de-porco no verão e

resíduo de milho + feijão de porco no inverno. Verificaram que os sistemas aveia+ervilhaca/milho, tremoço/milho, milho + mucuna e milho + feijão-de-porco, em plantio direto, foram eficazes no controle da erosão hídrica, proporcionando uma redução superior a 99% nas perdas de solo e 94% nas perdas de água, em relação às perdas verificadas no solo descoberto. O tratamento pousio invernal/milho no verão foi semelhante aos demais sistemas de cultura na redução das perdas de solo, embora tenha sido menos eficiente na redução das perdas de água. No solo descoberto, foram observadas maiores perdas de solo, água, matéria orgânica e nutrientes.

Schick et al. (2000) também estudaram o efeito da erosão hídrica provocada por diferentes formas de preparo do solo e verificaram que no plantio direto as perdas de solo foram reduzidas em 52, 68 e 98 % em relação à escarificação + gradagem; aração + duas gradagens e aração + duas gradagens no solo sem cobertura, respectivamente. O plantio direto mostrou-se eficiente na conservação de solo e água, controlando a erosão hídrica que é um dos fatores de diminuição da produtividade dos solos brasileiros.

Os trabalhos com plantio direto foram se difundido e ampliando. Outras instituições, além do IAPAR, começaram a realizar experimentos. Um dos assuntos que mais tem apresentado divergências em relação ao sistema convencional de preparo é a questão da avaliação da fertilidade do solo, principalmente a recomendação de calagem.

4.2 Cobertura vegetal do solo para o sistema plantio direto

A cobertura vegetal é uma das práticas responsáveis pelo sucesso do plantio direto. A formação da cobertura vegetal depende de vários fatores, como solo, clima e

a cultura a ser utilizada para formação da cobertura morta. Esta última é a mais importante, tendo como funções o controle da erosão e de plantas daninhas, manutenção da umidade e aumento do teor de matéria orgânica (Vedoato, 1985). Além disso, a matéria orgânica no solo tem sido sugerida como alternativa para a correção da acidez e a neutralização do Al tóxico (Asghar & Kanehiro, 1980; Sanchez et al., 1982; Hue & Amien, 1989; Hue, 1992). Os principais mecanismos envolvidos na reação do material orgânico na acidez do solo são: (a) adsorção de H^+ e Al^{3+} na superfície do material (Hoyt & Turner, 1975); (b) precipitação do Al pelo aumento do pH devido às reações de troca entre os ânions orgânicos e hidróxidos terminais dos óxidos de Fe e Al (Hue, 1992); (c) associação de ânions orgânicos com H^+ no solo (Ritchie & Dolling, 1985) e (d) complexão do Al com ácidos orgânicos (Hue et al., 1986). Independente do mecanismo, os resíduos vegetais desempenham um papel importante no comportamento químico dos solos ácidos, cujo potencial precisa ser estimado.

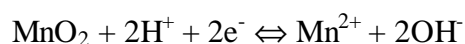
A escolha da planta que será utilizada para a formação de cobertura morta depende muito da adaptação climática da planta à região. Para a região Sudoeste do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do sul, que apresenta inverno-úmido, as culturas mais utilizadas são trigo, aveia, ervilhaca. Na região Sudeste e Centro-Oeste do Brasil que apresenta inverno seco, o desenvolvimento das culturas de outono-inverno fica na dependência da condição climática. As culturas mais utilizadas nessas regiões têm sido a aveia preta e o milho que apresenta boa resistência ao estresse hídrico que ocorre nessa região durante o período de desenvolvimento das plantas de cobertura do solo. Outras culturas têm sido utilizadas, como nabo forrageiro, sorgo, sorgo de guiné, capim pé de galinha, brachiarias e resteva natural.

O resíduo deixado na superfície e o não revolvimento do solo no sistema plantio direto provocam alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que refletem na fertilidade e na eficiência do uso de nutrientes pelas culturas (Kochhann & Selles, 1991). Essas alterações modificam o movimento e a redistribuição de compostos mais solúveis, entre os quais destaca-se o nitrogênio. Por outro lado, o fósforo e o potássio tendem a acumular-se na camada superficial (Shear & Moscheler, 1969, e Triplett Jr. & Van Doren Jr., 1969).

A persistência dos resíduos vegetais ao longo do tempo é fundamental para manter a cobertura, podendo influir nas propriedades físico-hídricas do solo e no escoamento superficial. Com o objetivo de avaliar a persistência de restos culturais de aveia e de milho sobre a superfície do solo, foram realizados, de outubro de 1995 a dezembro de 1996, dois experimentos de semeadura direta, em Santa Catarina: um em Lages, sobre um Cambissolo Húmico álico e outro em Lebon Régis, sobre uma Terra Bruna Estruturada. Amostras dos resíduos de aveia e de milho foram coletadas em duas repetições e com intervalos de 15 dias, respectivamente, durante um período de 180 e 225 dias, numa área de 0,24m² dentro dos experimentos, a intervalos regulares de 45 dias entre uma amostragem e outra, as quais foram secas a 50°C e pesadas. Após o período de avaliação de 180 dias, o resíduo de aveia apresentou diminuição de 80% na massa e de 60% na cobertura, em ambos os locais estudados. O resíduo de milho teve a massa diminuída em 64%, em Lages, e em 80%, em Lebon Régis, e a cobertura diminuída em 40%, em ambos os locais, após o período de 225 dias. A taxa de decomposição dos resíduos culturais de aveia e de milho foi maior nos primeiros 45 dias do que no restante do período experimental, na média dos dois locais estudados (Bertol et al, 1998).

Miyazawa et al. (1993) utilizaram várias espécies de plantas leguminosas e gramíneas, com objetivo de verificar o efeito do resíduo vegetal de cada planta na acidez do solo. Verificaram que as leguminosas causaram as maiores diminuições na acidez do solo, quando comparadas às gramíneas, embora os efeitos sejam de curta duração. Os materiais vegetais podem ser importantes melhoradores da fertilidade dos solos ácidos, pelo menos na fase inicial da próxima cultura; a capacidade de neutralização da acidez pelo material vegetal pode ser determinado em laboratório.

Para Takkar (1969), são duas as razões mais prováveis para o aumento no pH do solo, quando se adiciona resíduo vegetal. Uma delas é a alta concentração de cátions básicos na matéria orgânica aplicada, e a outra é a redução do manganês (MnO_2) de alta valência no solo. Essa redução pode ser representada pela seguinte equação:



A equação (1) pode ser comparada ao efeito da “auto-calagem” observada em solos inundados (Patrick & Wyatt, 1964).

Asghar & Kanehiro (1980), também constataram a diminuição da acidez do solo e neutralização do Al tóxico, quando incorporaram resíduos de cana-de-açúcar no solo e verificaram que houve diminuição no potencial redox (Eh) do solo. Esse fato, provocava, como consequência, a liberação de Mn na solução do solo, podendo causar toxicidade nas plantas. Por outro lado, essa maior disponibilidade de Mn^{2+} em solução poderia oxidar Fe^{2+} para Fe^{3+} e causar uma deficiência de Fe nas plantas, por excesso de Mn.

A adição de matéria orgânica tem acelerado os processos de redução no solo, devido ao decréscimo do potencial redox e aumento da pressão de CO_2 (pCO_2) (Swarup, 1988).

Teoricamente, o excesso de absorção de ânions sobre cátions produz um efeito ácido no interior da planta. Este excesso de acidez é neutralizado pela alcalinidade produzida quando os íons NO_3^- e SO_4^{2-} são convertidos para formas orgânicas ou pela alcalinidade produzida pelo “colapso” metabólico de sais orgânicos no tecido. Na planta crescendo normalmente, a alcalinidade usada para neutralizar o excesso de acidez seria convertida em ácidos orgânicos. Esse excesso na absorção de ânions, causaria um efeito alcalino no solo, o que tenderia a diminuir a disponibilidade de Fe para as raízes (Watanabe et al., 1963).

Ros & Aita (1996) avaliaram o efeito de espécies vegetais de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. As espécies utilizadas foram ervilhaca comum, ervilhaca-forrageira, chicharro, tremoço azul, aveia preta e um tratamento com pousio invernal. Verificaram que as espécies de inverno proporcionaram cobertura do solo superior à das plantas invasoras do tratamento pousio invernal, destacando-se a aveia-preta nos períodos iniciais de desenvolvimento. A quantidade de nitrogênio acumulado pela parte aérea das leguminosas variou de 81 kg ha^{-1} , com a ervilhaca comum, a 124 kg ha^{-1} , com o tremoço azul, enquanto na aveia preta foi de 42 kg ha^{-1} . O rendimento de grãos e a quantidade de nitrogênio acumulado foram maiores nos tratamentos com leguminosas em relação à aveia preta e ao pousio invernal. Na ausência de adubação mineral, os incrementos de rendimento de grãos proporcionados por ervilhaca-comum, chicharro, tremoço azul e ervilhaca forrageira, em relação ao pousio invernal, foram de 1277, 1146, 919 e 575 kg ha^{-1} , respectivamente.

4.3. Acidez do solo em sistema plantio direto

Um estresse ambiental poder ser definido como qualquer restrição ou influência que afeta adversamente o desenvolvimento, o balanço de energia, o balanço de água, o balanço de nutrientes ou a sobrevivência de um organismo (Cronan e Girgal, 1995). Quando se considera especificamente a fertilidade do solo, a acidez é um dos principais estresses ambientais, pois é responsável pela limitação da produtividade em 3,9 bilhões de ha de solos do mundo, tanto em áreas tropicais, como em regiões de clima temperado (Wambeke, 1976; Uexküll e Mutert, 1995).

No Brasil grande parte dos solos agricultáveis apresentam baixos valores de pH, elevados teores de alumínio e manganês trocáveis, baixa saturação por bases e teores baixos de fósforo (Olmos & Camargo, 1976; Lopes, 1983). Mais recentemente, Eswaran et al. (1997) confirmaram a estimativa anterior de 3,8 bilhões de ha de solos ácidos no mundo. A América do Sul possui em torno de 1,2 bilhões de ha daquele total e o Brasil, na América, tem a maior proporção de solos com essa característica. Do complexo representado pela acidez, a toxidez de alumínio é o problema predominante, ocorrendo em 67% do total de solos ácidos do mundo. Esse fato se agrava quando se considera a toxidez de alumínio no subsolo. Nessas condições, o alumínio passa a ser um fator restritivo à agricultura em 80% do total de solos ácidos do mundo. Na América do Sul, 0,8 bilhões de ha apresentam limitação com relação à acidez trocável. Nessas condições, tanto a quantidade absoluta de alumínio, como a percentagem de sua saturação no solo devem ser usadas como características que permitem um melhor entendimento das respostas das plantas à acidez principalmente do comportamento do sistema radicular .

A parte aérea é menos sensível à acidez do subsolo do que o sistema radicular, pois as raízes normalmente, concentram-se na superfície do solo, independentemente de ser ácido ou não, e dessa camada retiram nutrientes e água para suprir grande parte da necessidade das plantas. A inibição do sistema radicular em subsolos ácidos é de importância secundária do ponto de vista da absorção de nutrientes, uma vez que, camadas subsuperficiais de solos moderadamente ou fortemente ácido, geralmente, são fontes relativamente pobres de nutrientes para as plantas. A maior contribuição na absorção de nutrientes, em solos ácidos, é da camada superficial do solo. A questão é diferente quando se trata de absorção de água pelas plantas. A capacidade da camada superficial do solo fornecer água às plantas durante períodos secos é limitada (Black, 1993). Conseqüentemente, a acidez que inibe o crescimento radicular nas camadas mais profundas do solo pode restringir o crescimento das plantas pela limitação no fornecimento de água.

Em extensão, uma grande região de ocorrência de solos ácidos se encontra no Brasil Central, na área dos solos sob vegetação de cerrados. Eles ocupam uma área de, aproximadamente, 0,2 bilhões de hectares, correspondente a 21% do território brasileiro (Demattê, 1981). O fator mais limitante para as produções agrícolas nessa região é a distribuição não uniforme das chuvas durante o ano. A ocorrência de uma estação seca definida em geral de abril a setembro e uma estação chuvosa de outubro a março, onde concentra a exploração das culturas anuais, sem irrigação. Mesmo nesse período, a ocorrência de verânicos, geralmente associada com alta intensidade de radiação solar e grandes perdas de água por evaporação é, certamente, a mais severa limitação para o uso desses solos para culturas anuais (Adómolli et al, 1985). Esse problema é agravado pela alta saturação por alumínio abaixo da camada arável, mesmo em solos que receberam doses adequadas de

corretivos, mas cuja incorporação foi superficial, e/ou baixa disponibilidade de cálcio nas camadas subsuperficiais, o que inibe ou restringe o desenvolvimento da raiz em profundidade, comprometendo a produção dos cultivos agrícolas de ciclo anual (Lopes, 1983). Portanto, a ocorrência de alumínio tóxico em profundidade é particularmente importante quando associada ao estresse hídrico.

Em solos ácidos os íons carbonatos e bicarbonatos, resultantes da dissociação do calcário, têm curta existência, antes de sua reação com os componentes da acidez do solo. Por essa razão a baixa mobilidade do cálcio no perfil do solo, na forma de carbonato, é atribuída à lenta taxa de mobilidade, pK igual à 8,2, à ausência de um ânion estável na reação de hidrólise e à formação de cargas negativas dependentes de pH (Pavan et al., 1989). Portanto, em solos onde a aplicação de calcário mantém os valores de pH baixos, a reação de calcário limita-se ao local de aplicação e pouca ou nenhuma alteração do pH ocorre abaixo da camada de aplicação de corretivo, a exemplo do que ocorreu nos trabalhos de Gonzales-Erico et al. (1979) e Ritchey et al. (1983). Contudo, em sistema de plantio direto o calcário aplicado na superfície do solo pode elevar o pH da solução na superfície a valores acima de 6,0 (Salet, 1994).

Quando o pH da solução do solo alcança valores superiores à 5,5, a espécie HCO_3^- passa a estar presente como forma estável na solução e sua concentração aumenta até atingir valores máximos na faixa de pH entre 8,0 e 8,5 (Bohn, et al., 1979). Nessas condições, o HCO_3^- pode migrar com o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , corrigindo a acidez do solo além da área de aplicação do calcário (Oliveira e Pavan, 1996 e Costa, 2000).

A movimentação de bases no solo em sistema de plantio direto (McMahon e Thomas, 1976; Blevins, et al., 1978), pode também decorrer, da ação dos

resíduos vegetais depositados na superfície do solo. Na presença desses resíduos tem-se verificado uma marcante mobilidade de cálcio e magnésio, aplicados na forma de carbonatos, no perfil do solo. A movimentação desses cátions é atribuída à formação de complexos com ligantes orgânicos originados dos resíduos vegetais presentes na superfície do solo. Tais complexos apresentam cargas negativas ou nulas (Ca^0 , Ca^{L}) e, como o complexo de troca do solo possui predominantemente cargas negativas, a retenção dessas moléculas é baixa (Santos, 1997; Pavam e Miyasawa, 1998; Ziglio et al., 1999).

Independentemente do mecanismo envolvido, inúmeras são as evidências da redução de acidez e do aumento de teores de bases nas camadas mais profundas do solo pela aplicação superficial de calcário. Diminuição de alumínio trocável e o aumento do pH do solo, até 40 cm de profundidade, 32 meses após a aplicação de calcário na superfície foi constatada por Oliveira e Pavan (1996) em Latossolos Vermelho Escuro da região de Ponta Grossa. Na mesma região e unidade de solo, Caires et al. (1999), observaram aumento nos valores de pH e teores de cálcio e magnésio, além da diminuição de alumínio trocável, até a profundidade de 40 cm, 18 meses após a aplicação dos corretivos. Entretanto, há relatos indicando que as alterações nas características do solo, pela aplicação superficial de calcário, se restringem às camadas de 0-5 cm, 36 meses após a aplicação de corretivos na superfície (Pöterker e Ben, 1998) e 0-10 cm, 12 meses após a aplicação de corretivo na superfície (Caires et al., 1998).

O tempo de reação do calcário aplicado na superfície do solo em sistema de plantio direto pode variar em função da dose, das características químicas do solo, do manejo da adubação e calagem, do sistema de rotação de culturas e da reatividade do corretivo.

A ação da calagem superficial pode se manifestar em 12 meses, na camada de 0-10 cm, entretanto, observa-se que a máxima reação no solo ocorre entre 28-30 meses após sua aplicação. Na camada de 10-20 cm, o efeito da calagem superficial foi mais lento, ocorrendo após 28 meses (Caires et al., 2000). Resultados semelhantes foram relatados por Oliveira e Pavan (1996), que verificaram efeito da calagem superficial por um período de 50 meses. Pöttker e Ben (1998), avaliando duas unidades de solos por 36 meses, concluíram que a aplicação superficial de calcário em sistema de plantio direto altera as características químicas na camada 0-5 cm e, em menor grau, na camada de 5-10 cm.

A resposta das culturas à calagem superficial em sistema plantio direto tem sido positiva quando a acidez do solo é elevada (McMahon e Thomas, 1976; Blevins et al.; 1978), particularmente quando a saturação por alumínio no solo é alta (Sá, 1999) e quando se usa espécies ou cultivares de plantas sensíveis ao alumínio (Sá, 1999; Pöttker e Ben, 1998).

Em recente revisão sobre a resposta das plantas à calagem superficial, Caires (2000) constatou que os aumentos verificados na produção de grãos demonstraram a eficiência desse modo de aplicação de corretivo em sistema plantio direto e que a cevada, comparada à soja, milho e trigo foi a cultura que apresentou a maior resposta à calagem na superfície, em decorrência de sua sensibilidade à acidez do solo. A magnitude do aumento médio na produção de grãos de soja pela aplicação de calcário na superfície do solo, em relação a tratamentos que não receberam calagem, foi de 4 a 42%. A faixa de aumento da produção de grãos de milho, para a mesma condição estabelecida anteriormente, foi de 4 a 15% e para o trigo, de 4 a 34%. A cevada, por sua sensibilidade ao alumínio, respondeu à calagem superficial, aumentando sua produção de grãos entre 70% e 114%. Na revisão, o

autor enfatiza que altas produtividades das culturas no sistema plantio direto foram alcançadas em solos com elevada acidez, representada por pH baixo e alumínio trocável alto.

4.4 Calagem no plantio direto e interação com sistema de preparo de solo

A calagem no sistema plantio direto é um dos fatores que apresenta as maiores controvérsias principalmente em relação à aplicação. O princípio da eficiência agronômica da calagem é a incorporação do calcário no solo. No sistema plantio direto isto não é possível, sendo que nas regiões tradicionais de uso desse sistema a calagem tem sido feita em aplicações na superfície do solo (Sá, 1993; Santos et al, 1996). Nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, aplicações superficiais de calcário ainda não são práticas rotineiras por falta de informações concretas, embora o uso dessa prática tenha aumentado muito nos últimos anos.

Muzilli (1983) estudou a influência do sistema plantio direto comparado ao sistema convencional, em rotação de culturas. Avaliou a distribuição e acumulação de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e variação do pH na camada arável de um latossolo roxo distrófico, após cinco anos de cultivo, e de um latossolo vermelho-escuro distrófico argiloso, após 4 anos de cultivo. Verificou que após os vários anos de cultivo, os valores de pH no sistema de plantio direto se mostraram iguais ou superiores aos verificados em plantio convencional, principalmente nos 5 ou 10 cm da camada arável, em todas as sucessões de culturas e em ambos os solos.

Moschler et al. (1973), trabalhando em solos com pH em água de 5,3 a (área sob preparo convencional) e de 4,8 (área sob plantio direto), ambos determinados na camada de 0-10 cm, estudaram o efeito do calcário aplicado na superfície do solo sob SPD e

incorporado ao solo no sistema convencional de preparo (aração + gradagens). Na média de oito anos, o aumento no rendimento de grãos de milho foi de 31,3%, no SPD, e de apenas 13,5%, no sistema convencional, demonstrando a viabilidade de aplicação do calcário na superfície do solo sob SPD. Blevins et al. (1978) também reportaram aumentos nos rendimentos de grãos de milho pela aplicação de calcário na superfície de solos com pH em água inicial de 5,6 e de 5,1 e concluíram ser esse método eficiente para neutralizar a acidez do solo provocada pela fertilização nitrogenada do milho cultivado no SPD. No entanto, os autores alertaram que, se o solo apresentar pH muito baixo, a incorporação do calcário pode ser mais recomendável.

O método de aplicação de calcário na superfície do solo tem sido avaliado também em relação ao cultivo de forrageiras (Koch & Estes, 1986). Esses autores, ao estudarem o estabelecimento de uma mistura de leguminosas com gramíneas, em solo franco-arenoso, com pH em água inicial de 5,6, relataram que as produções das leguminosas e do total de forragem, no ano do estabelecimento, foram maiores com calcário incorporado em comparação com calcário aplicado na superfície do solo. Nos anos seguintes, no entanto, as produções anuais e a produção total de seis anos, no tratamento que recebeu $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário, não diferiram entre os métodos de aplicação. Também, Rechcigl et al. (1985) verificaram que a alfafa mostrou acréscimo na produção superior a 100% pela aplicação de calcário na superfície do solo e que a época de aplicação (8 ou 20 meses antes do plantio e no plantio) não teve influência nas produções. O pH em água do solo, na camada de 0-10 cm, variou de 6,4 a 6,9 nas parcelas que receberam calcário, comparado com valores de 5,3 a 5,9 nas parcelas sem calcário. Apesar da calagem ter afetado principalmente o pH na camada de 0-

10 cm, a maior diferença em relação à abundância de raízes de alfafa foi encontrada na profundidade de 1,5 m.

Coventry et al. (1992), ao estudarem a interação de métodos de preparo do solo e calagem, em solo franco-arenoso, com pH (CaCl_2) de 4,4 na camada de 0-8 cm, concluíram que a calagem e o cultivo convencional ocasionaram acréscimos no rendimento de trigo iguais a 59, 93 e 98%, em três anos sucessivos, enquanto esses valores para calcário aplicado na superfície e plantio direto foram de 34, 59 e 29%. No Brasil, Sá (1995) relatou resultados obtidos com a aplicação de calcário em solo com 64% de argila, pH (CaCl_2) de 4,1, teor de alumínio trocável de $12,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e saturação por alumínio igual a 26%, na camada de 0-20 cm. As doses de calcário foram de 2 ha^{-1} , aplicadas na superfície e incorporadas com escarificador, de $7,1 \text{ t ha}^{-1}$ incorporadas na profundidade de 0-20 cm, e de $13,5 \text{ t ha}^{-1}$, incorporadas na profundidade de 0-35 cm. O autor observou que, na seqüência dos cultivos soja, milho, trigo, soja, milho e trigo, apenas a soja, em dois cultivos, e o primeiro cultivo de milho responderam à calagem superficial.

Wolf et al. (1994), ao usarem solos argilosos, com valores de pH em água de 5,3 e 4,5, observaram que, na quantidade recomendada de calcário ($12,3 \text{ t ha}^{-1}$), as produções de alfafa, em cada ano, eram similares para calcário incorporado e não incorporado. Relataram, ainda, que altas produções de alfafa foram mantidas por mais tempo onde o calcário não foi incorporado ao solo. Apontaram a necessidade de amostrar o solo até 7,5 cm, quando se pretender usar calcário não incorporado e cultivar alfafa no SPD. Oliveira & Pavan (1996) não encontraram diferenças significativas no rendimento de grãos de soja entre o calcário incorporado e o aplicado na superfície de um solo com 620 g kg^{-1} de argila, na dose recomendada ($5,5 \text{ t ha}^{-1}$). A aplicação anual de $\frac{1}{4}$ da quantidade recomendada, durante quatro

anos, foi equivalente ao calcário incorporado, exceto no primeiro ano, quando este tratamento foi inferior.

Além das modificações ocasionadas pela aplicação de calcário, deve-se considerar também as oriundas da adoção do SPD. Pouco ainda se sabe sobre a química do alumínio em sistemas sem preparo do solo. Salet (1994) estudando as espécies de alumínio presentes em experimentos de métodos de preparo do solo, encontrou menor percentagem de Al^{3+} em área de plantio direto, comparada à do plantio convencional. Também o pH do solo e o da solução do solo foram maiores no SPD, na camada de 0-5 cm.

Canalli & Roloff (1997), estudaram a influência do preparo do solo (arado de disco a 20 cm, arado de aiveca a 35 cm e arado rotativo a 60 cm de profundidade) e da correção do solo com duas doses de calcário (para elevar a saturação de bases a 70% e sem calcário), na implantação do sistema de plantio direto, em um latossolo vermelho escuro, com as culturas de soja e milho. Verificaram nos dois primeiros anos após a implantação do sistema de plantio direto, para ambas as culturas, que as doses de calcário não apresentaram diferenças estatísticas para os métodos de preparo do solo e incorporação do calcário.

O aumento da área com sistema de manejo sob plantio direto torna importante o estudo da distribuição de nutrientes no perfil do solo, decorrente da ausência de seu revolvimento, e o conseqüente efeito no rendimento de grãos das culturas. Santos et al. (1995), estudaram o efeito do manejo de solo sob plantio direto, com aplicação de calcário na superfície, comparado ao preparo convencional, com incorporação de calcário, após três anos de cultivo. Não observaram diferenças no pH em água, Al trocável, Ca+Mg trocáveis e K trocável da camada de 0-20cm. Os teores de matéria orgânica e de P do solo, na camada 0-5 cm, em plantio direto, foram superiores àqueles observados nos tratamentos sob preparo

convencional. A não incorporação de calcário não afetou o rendimento de grãos de cevada e de soja e determinou o aumento do rendimento de aveia branca em um dos dois anos avaliados.

Sidiras & Pavan (1985) verificaram a manutenção ou o aumento do pH e dos teores de P, Ca+Mg e de K trocáveis, na camada de solo de 0-10 cm, após quatro anos sob plantio direto ou sob pastagem permanente, em comparação com o plantio convencional.

Pottker & Ben (1998), avaliaram a resposta de soja, trigo, milho, aveia, e cevada à aplicação de calcário na superfície de solos manejados no sistema plantio direto. O trabalho foi conduzido durante quatro anos (1993-1996), com os seguintes tratamentos: testemunha, calcário incorporado e cinco níveis de calcário aplicado na superfície dos solos. Concluíram que aplicação de calcário na superfície dos solos corrigiu a acidez e aumentou significativamente o pH somente na camada de 0-5 cm e que não há inconveniente no uso de calcário na superfície, desde que a acidez já tenha sido corrigida pelo método convencional há alguns anos e que apresentem bom nível de nutrientes.

Outro ponto importante que aplicação superficial de calcário tem levantado é a discussão sobre o método de recomendação de calagem baseado na elevação da saturação por bases do solo. Na literatura têm sido freqüentemente relatado resultados onde os valores de saturação por bases determinados após a calagem foram inferiores aos estimados pelo método (Quaggio et al., 1982 a,b; Caires & Rosolem, 1993; Oliveira et al., 1997). Os valores de saturação por bases obtidos, três meses após a calagem, foram inferiores aos estimados, mesmo nas camadas mais superficiais do solo (0-5 cm e 5-10 cm), independente do modo de incorporação utilizado (Weirich Neto et al., 2000). Devido à diferença observada entre a

saturação por bases obtida e a estimada, Oliveira et al. (1997) sugeriram a recomendação de um índice estimado de 90% de saturação por bases para calagem na cultura do milho. Um dos motivos levantados para explicar tais efeitos foi a granulometria grosseira do calcário (Quaggio, et al. 1982 a). Esta hipótese, entretanto, não se confirma considerando o trabalho do Caires & Rosolem (1993), onde foi utilizado calcário dolomítico ‘filler’ e, mesmo assim, após 120 e 140 dias, os valores de saturação por bases obtidos foram menores que os calculados. Esses autores verificaram que até a saturação por bases de 55 a 60 %, os resultados obtidos encontravam-se mais próximos aos teóricos, mas, desse ponto em diante, havia grande diferença nos resultados, indicando que o poder tampão do solo era maior que o estimado.

4.5. Avaliação da qualidade dos corretivos agrícolas

A rocha do qual se origina o calcário (natureza geológica) vai ser de fundamental importância na determinação das características do produto final, pronto a ser utilizado na prática da calagem. É a natureza dessa rocha a responsável pelas características químicas do calcário e determinante no processo de moagem do mesmo. Basicamente são dois os tipos de rochas extraídas comercialmente para produção de calcário: metamórficas e sedimentares. As rochas metamórficas são rochas que afloram na superfície do solo e originam calcário de maior poder neutralizante. São rochas menos úmidas, sofrendo assim uma moagem que gera um produto de granulometria mais fina, resultando numa maior reatividade do calcário. Já, as rochas sedimentares são rochas que se encontram no subsolo, a uma profundidade média de 18 m abaixo da superfície. Por estarem a essa profundidade acumulam umidade maior, o que dificulta em parte sua moagem, gerando calcário com maior

granulometria e, portanto, menor reatividade. Tendo como matéria-prima uma ou outra rocha, há diversos moinhos no Estado de São Paulo e fora dele que ofertam seus produtos aos agricultores, com características químicas e granulométricas sensivelmente diferentes. Bellingieri (1983), trabalhando com dois tipos de calcários (sedimentar e metamórfico), aplicados em solos com diferentes propriedades físicas e químicas, verificou que na reatividade dos calcários, o mais importante é a granulometria, independente da origem da rocha calcária. Alcarde (1989) salienta que para se obter boa eficiência desses corretivos é necessário conhecer como eles atuam no solo e algumas de suas características. Entre essas o teor e a natureza química dos neutralizantes e o tamanho das partículas são os fatores de maior importância, pois é a partir deles que é calculado o poder relativo de neutralização total (PRNT) desses materiais.

Vários autores (Mielniczuk et al., 1971; Verlengia & Gargantini 1972; Souza & Neptune 1979) afirmam que, quanto menor a granulometria do calcário mais rápida é a sua reação de neutralização. Natale & Coutinho (1994), analisando a eficiência agrônômica de frações granulométricas de calcário dolomítico em condições de campo, constataram que a saturação por bases do solo mostrou-se adequada para avaliar a eficiência das frações granulométricas do calcário e concluíram que a fração granulométrica retida entre as peneiras 4,0-2,0 mm foi ineficiente em elevar a saturação por bases do solo no decorrer de 30 meses.

Meyer & Volk (1952) observaram que, de maneira geral, partículas maiores que 2 mm têm pouco ou nenhum valor como corretivo. Por outro lado Davis (1951) e posteriormente e Barber (1967) afirmaram que partículas muito finas, menores que 0,149 mm possuem menor efeito residual, limitando sua ação sobre a acidez em períodos mais curtos.

Alcarde (1986) define efeito residual de um corretivo com sendo o tempo de duração da calagem efetuada. Sanches & Salinas (1983); Mielniczuk (1983); Raij & Quaggio (1984) consideram o efeito residual de um corretivo um fator primordial no manejo dos solos ácidos principalmente na economicidade da calagem. Velocidade da reação do corretivo e efeito residual são duas grandezas inversas. Tisdale & Nelson (1985) afirmaram que os materiais finamente divididos reagem rapidamente no solo, mas seu efeito é mantido por um período mais curto do que os materiais que contém uma razoável quantidade de partículas mais grossas. Barros et al (1995) confirmaram esses resultados nas condições brasileiras.

Quaggio et al.(1995) afirmam que a avaliação do calcário, do modo que vem sendo feita, levando-se em conta somente a efetividade química (equivalência carbonato de cálcio) e a reatividade (medida pela separação dimensional das partículas em uma série de peneiras) é incompleta, já que a reatividade das diferentes frações dimensionais das partículas tem sido determinada por incubação de amostras de solos sem plantas, em experimentos de curtos períodos, desprezando-se as respostas das colheitas e os respectivos efeitos residuais, de fundamental importância para a otimização dos benefícios da calagem. Esse mesmo autor, através de um experimento desenvolvido em solos ácidos no estado de São Paulo cultivado com soja e sorgo, durante quatro anos, no qual foram aplicados três materiais calcários, sendo eles bruto, refinado e calcinado, com teores similares de magnésio, constatou que pedra calcária com 66% das partículas passando através de uma peneira de malha 70 foi tão efetiva quanto pedra calcária com 100% de partículas passando através da mesma peneira.

As características que garantem a qualidade dos corretivos de acidez dos solos são: a natureza geológica do calcário, os teores e forma química dos neutralizantes, o

tamanho das partículas e a variedade e conteúdo dos nutrientes. Dentre essas características relacionadas à qualidade, praticamente, duas se mostram mais importantes: o teor dos compostos neutralizantes e a granulometria.

A composição química qualitativa e quantitativa garante o poder de neutralização do calcário. Quanto maior esse poder, maior quantidade de ácidos é neutralizada. O tamanho das partículas condiciona a velocidade de reação do calcário, uma vez que a velocidade depende da área superficial em contato com o solo. Assim, quanto mais fino o calcário, mais rápida será a reação do material, desde que o solo esteja úmido (Tedesco & Gianello, 1989; Alcarde et al., 1989).

Sendo o calcário um produto de baixa solubilidade, sua ação neutralizante depende da área superficial do contato e tempo de reação com o solo. Dessa forma, a eficiência do material está relacionada, além da granulometria, também com a profundidade e uniformidade da sua incorporação no solo e da antecedência de sua aplicação, em relação aos períodos de maior resposta das culturas. Assim, a eficiência de aplicação dos corretivos no solo também está relacionada com a característica das máquinas usadas nessa operação (Anghinoni, 1989). No Brasil, predomina a distribuição do calcário a lanço por gravidade. A incorporação do corretivo deve ser feita, preferencialmente, ao longo de todo o perfil da camada arável, para que sua ação ocorra em toda zona de crescimento das raízes das plantas (Souza, 1989).

Os implementos, isoladamente, e as operações de preparo de solo normalmente utilizadas, não proporcionam uma mistura uniforme do corretivo no solo. A combinação de equipamentos e técnicas de aplicação tem proporcionado melhores resultados no processo de incorporação do calcário ao longo do perfil do solo (Anghinoni, 1989; Weirich

Neto et al., 2000). Por essa razão, para dose de até $5,0 \text{ t ha}^{-1}$, em solos em cultivo, é recomendável a seguinte seqüência de operações: gradagem-aração-gradagem, após o corretivo ser distribuído sobre a superfície do solo. Para doses maiores que 5 t ha^{-1} e, ou para solos não cultivados, usar duas seqüências de operação: aração e gradagem. Em solos em cultivos e doses maiores que 5 t ha^{-1} , dividir a operação aplicando-se metade da quantidade de corretivos antes da aração e a metade restante após a aração em seguida gradear a área (Anghinoni, 1989). O modelo descrito foi concebido para solos onde se pratica o revolvimento, admitindo-se seu uso para plantio direto em fase de implantação (Muzilli, 2000; Souza & Lobato, 2000).

4.6. Acidez do solo e estado nutricional das plantas

O estado nutricional das plantas é um dos fatores determinantes da produtividade. Ele resulta, entre outros fatores, da disponibilidade dos nutrientes no solo. Essa disponibilidade é a taxa com que os nutrientes são transportados à superfície das raízes e a capacidade que as plantas têm para absorvê-los. Portanto, o processo compreende a liberação do nutriente da fase sólida para a solução do solo, o seu transporte até a superfície das raízes e a posterior absorção pela planta (Mengel e Kirkby, 1982; Salet, 1994).

A fase sólida é o reservatório de íons da solução do solo. Existe um equilíbrio dinâmico entre essas duas fases. A diminuição na concentração de íons da solução do solo promove a liberação de íons da fase sólida, estabelecendo um novo equilíbrio entre as duas fases. A liberação do íon ao solo é dependente da energia de ligação entre ele e a

superfície absorvente. O cálcio e magnésio são adsorvidos eletrostaticamente e essa reação de equilíbrio decorre em poucos minutos (Barber, 1984; Reichardt, 1996).

Para ser absorvido o nutriente deve estar na solução do solo, em contato com a superfície ativa do sistema radicular, em uma forma assimilável pela planta. Após a liberação da fase sólida, o nutriente deve ser transportado até a superfície das raízes. Dois mecanismos são responsáveis por esse transporte: a difusão em resposta a um gradiente de concentração, e no fluxo de massa, que é o arraste de íons pelo fluxo de água no solo. O fluxo de massa é o mecanismo de transportes predominante para nutrientes em altas concentrações na solução do solo, como é o caso do cálcio e do magnésio, e quando a transpiração é alta. A difusão é o mecanismo de transporte predominante para nutrientes com menores concentrações (Mengel e Kirkby, 1982; Reichardt, 1996).

Pelo exposto, constata-se que a análise da fase sólida do solo, com um extrator químico, pode não ser suficiente para explicar a disponibilidade de nutrientes, bem como para avaliar a mobilidade dos íons no solo. A solução reflete o resultado das reações químicas e físico-químicas da fase sólida e é o meio pelo qual ocorre o transporte e absorção de nutrientes pela planta. Por essa razão, seu monitoramento permite avaliar a disponibilidade e a dinâmica de nutrientes no solo.

A disponibilidade dos nutrientes no solo pode ser avaliada também pela diagnose foliar, usando-se a planta como indicadora da fertilidade do solo.

A maioria dos trabalhos realizados, quanto à influência da calagem nos teores foliares de nutrientes, comparando sistemas de cultivos, sendo poucas as informações sobre calagem superficial em sistema plantio direto. De maneira geral, não se tem observado diferenças acentuadas nos teores foliares de macronutrientes em relação ao sistema de cultivo

adotado (Blevins et al., 1986; Centurion, 1988). No caso do fósforo, entretanto, tem-se observado maiores teores de fósforo em sistema plantio direto, atribuindo-se esse efeito ao maior teor de umidade existente no solo nesse sistema, o que favorece a taxa de difusão do fósforo até as raízes (Muzzili, 1983).

A elevação do pH diminui a concentração das formas assimiláveis de boro, cobre, ferro, manganês e zinco no solo. Por essa razão, a aplicação de calcário no solo pode reduzir os teores foliares de boro (Quaggio et al., 1998), de manganês (Novaes et al., 1989; Muchoveij et al., 1993; Quaggio et al., 1998) e de zinco (Muchoveij et al., 1993; Quaggio et al., 1998). Schuman & MacCracken (1999) observaram diminuição dos teores foliares de manganês em plantas de soja em função da calagem em sistema plantio direto, enquanto os teores de zinco foram mais baixos em sistema de cultivo convencional.

Nos solos ácidos e de baixa fertilidade, que ocupam a maior parte do território brasileiro, a absorção dos nutrientes é limitada, tanto por sua deficiência natural, como pelas reações dos fertilizantes com o solo e, ainda, pela presença de elementos tóxicos, como o alumínio, que afeta a morfologia do sistema radicular e o processo de absorção de nutrientes.

O efeito primário da toxicidade por alumínio é a paralisação irreversível do sistema radicular (Carver & Ownby, 1995). As plantas sensíveis ao alumínio crescendo em solos ácidos, mesmos corrigidos, podem sofrer sérias limitações de exploração do solo em profundidade pois, o efeito da calagem é geralmente maior na camada superficial, enquanto as camadas profundas continuam ácidas. Nos cultivares mais tolerantes essas limitações são menos evidentes (Bataglia et al., 1985; Pípolo, 1998).

É desejável, sob o aspecto de absorção de água e nutrientes, que as plantas apresentem amplo sistema radicular. Sua extensão e natureza podem variar desde raízes finas e fibrosas, comuns em gramíneas perenes, até raízes grossas, encontradas em espécies herbáceas. A densidade de raízes no solo varia com as espécies. Situa-se na faixa de 1 a 5 cm cm⁻³, na camada de 0 a 15 cm do solo, para culturas anuais. As raízes ocupam um volume pequeno de solo, normalmente menos que 1% da camada arável do solo (Barber, 1984; Camargo & Alleoni, 1997).

O crescimento das raízes segue um padrão característico da espécie e está relacionado ao crescimento da parte aérea, com tendência à manutenção da relação raiz/parte aérea dentro de determinados limites. Para plantas anuais, o crescimento da raiz tem prioridade na germinação e crescimento inicial da planta, ou seja, maior relação raiz/parte aérea. Em seguida ocorre maior crescimento da parte aérea, que passa a ter prioridade, diminuindo a relação raiz/parte aérea, especialmente na fase reprodutiva, quando grande parte dos fotoassimilados estão nas sementes. A distribuição de fotoassimilados nas raízes e na parte aérea pode ser afetada por condições ambientais, apesar de ser controlado por fatores intrínsecos da planta (Klepper, 1991). Assim, a decomposição de palha e o não revolvimento do solo no sistema plantio direto, favorecendo maior quantidade de água e concentração de nutrientes na superfície do solo, deve provocar alterações no desenvolvimento do sistema radicular de modo diferenciado do sistema convencional de cultivo, particularmente no que se refere à sua distribuição no solo.

A distribuição das raízes no perfil do solo segue uma forma característica da espécie. De modo geral, dois padrões de distribuição são encontrados: o de estrutura de árvore invertida, típica de sistema de raiz primária; e, o da estrutura do tipo

guarda-chuva, típico de sistema de raízes secundárias (Zobel et al., 1992). A maior parte das raízes nos dois sistemas, normalmente se concentra na camada superficial do solo, de 0 a 15 cm, sendo esta a camada mais importante para o suprimento de nutrientes para a planta. A distribuição das raízes em profundidade, durante o período de crescimento das plantas de ciclo curto, varia com as espécies. Barber (1984) relatou que o milho apresentou mais de 50% das raízes na camada de 0 a 15 cm, aos 30 dias após a emergência das plantas e na fase de maturação somente 30% do total do sistema radicular se encontrava nessa camada. A soja, por outro lado, apresentou 31% das raízes na camada de 0 a 15 cm, 60 dias após a emergência, e passou a ter 59% de raízes nesta camada, aos 117 dias. O autor justificou que as raízes de milho continuam crescendo em profundidade com o tempo, enquanto as de soja se ramificam na camada superior do solo.

A quantidade de raízes encontradas na camada de 0 a 15 cm é suficiente para promover o rendimento máximo das culturas de ciclo curto, desde que o solo não apresente limitações de natureza física ou química ao crescimento das raízes e ao suprimento de água e nutrientes às plantas (Anghinoni, 1998). Além das limitações discutidas anteriormente, o sistema de cultivo adotado interfere na morfologia de sistema radicular e na sua forma de distribuição. No sistema de preparo do solo com arado de discos e profundidade de trabalho de 22 cm, a distribuição de raízes é relativamente uniforme e profunda. Já no sistema de preparo com grade aradora, com profundidade de trabalho de 12 cm, o desenvolvimento radicular é superficial e limitado pela camada compactada formada abaixo da camada preparada (Torres et al., 1993). No sistema plantio direto observaram-se elevadas concentrações de raízes de milho na camada superficial do solo, entretanto, essa concentração foi tanto menor quanto maior o tempo de adoção do sistema. Nas áreas avaliadas, a camada

adensada ocorreu em profundidade variável de 5 a 22 cm e observou-se acúmulo de nutrientes na camada mais superficial do solo (Sá & Petreire, 1995).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Local

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP, situada no município de Botucatu, estado de São Paulo, cujas coordenadas geográficas médias são: 22°58' de latitude sul; 48° 23' , de longitude oeste, possuindo 775 m de altitude.

5.2. Clima

O município de Botucatu apresenta clima característico do tipo Cwa (segundo classificação de Koeppen) tropical úmido, com inverno seco (junho-julho-agosto) e verão chuvoso (dezembro, janeiro e fevereiro). A umidade relativa do ar apresenta média anual de 74%, tendo insolação real e potencial médias mensais de 201,9 e 365,1 horas,

respectivamente. A temperatura média do ar durante o verão é de 24,0° C e no inverno é de 17,2°C, com uma média anual de 21,1°C.

5.3. Solo

O solo da área do experimento foi classificado como Latossolo Roxo, álico textura argilosa. (Carvalho et al. 1983). De acordo com o novo Sistema Brasileiro de classificação de solos (Embrapa, 1999) é denominado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico. Por ocasião da instalação do experimento, o local encontrava-se em pousio por vários anos e a cobertura vegetal era composta por gramíneas, predominantemente *Brachiaria decumbens*. No Quadro 1 são apresentados os resultados da análise química (Raij et al., 1983) de amostra de solo coletada da camada de 0 –20cm, antes da implantação do experimento.

Quadro 1. Resultados da análise química de solo da área do experimento, da camada de 0-20cm antes da implantação do experimento (março de 1998).

pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P(resina) mg dm ⁻³	H+Al -----	K	Ca mmol _c dm ⁻³	Mg -----	SB	CTC	V (%)
4,1	27	7	80	2,0	7	4	13	93	14

Areia= 192,1 ; Silte= 207,9; Argila = 600 (g.kg⁻¹)

5.4. Preparo inicial do solo da área do experimento

Em março de 1998 iniciou-se o preparo do solo da área do experimento, realizando-se uma aração com arado de discos regulado para revolver a camada superficial do solo, que continha grande quantidade de material orgânico da vegetação anterior *Brachiaria decumbens*. Após a aração procedeu-se duas gradagens, com a finalidade de nivelar o terreno e controlar as plantas daninhas. Aplicou-se 1800 kg/ha de calcário dolomítico, com PRNT = 82%, para elevar a saturação por bases a 30%, com a finalidade de propiciar melhores condições químicas do solo para o desenvolvimento da aveia. O calcário foi incorporado com grade aradora à, aproximadamente 0-20 cm de profundidade. A aveia preta (*Avena strigosa*) foi semeada no dia 14/05/1998, com o espaçamento de 0,20 m entre linhas e 20 sementes por metro. A adubação realizada foi de 200 kg/ha de superfosfato simples, no sulco de semeadura. O desenvolvimento da aveia ficou muito prejudicado devido à baixa precipitação pluvial ocorrida durante o ciclo da cultura, provocando baixa produção de matéria seca para cobertura morta. Mas mesmo assim foram estabelecidos os tratamentos conforme descrito abaixo. No segundo devido a grande reinfestação da cultura da brachiaria não foi realizado o cultivo da aveia. Sendo assim, no segundo ano utilizou-se a palha de brachiaria como cobertura morta para o sistema plantio direto .

5.5. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas de três manejos da palha: 1- solo nu, com a retirada da palha de aveia, milho e brachiaria, com rastelo (SPCS = sem palha e calcário superficial) ; 2- solo com a palha da aveia, milho e brachiaria sem incorporação (CPCS = com palha e calcário superficial) e 3- incorporação da palha (PICI = palha incorporada e calcário incorporado). Na primeira e na segunda parcelas foram estabelecidos sistemas de plantio direto, com apenas uma diferença, que na parcela número 1 foi retirada toda a palha residual da cultura anterior e na parcela número 2 a palha não foi retirada. Na terceira parcela fez-se cultivo convencional. Nas subparcelas foram aplicadas três doses de calcário, sendo no primeiro ano: D1- sem calagem; D2- $\frac{1}{2}$ da necessidade de calagem (NC) para elevar o $V= 70\%$ (2 t ha^{-1}) e D3 NC para elevar a $V= 70\%$ (4 t ha^{-1}). No segundo ano, as doses foram: D1- sem calagem; D2- $\frac{1}{3}$ da dose aplicada no primeiro ano ($0,66 \text{ t ha}^{-1}$) e D3 $\frac{1}{3}$ da dose aplicada no primeiro ano ($1,33 \text{ t ha}^{-1}$). As doses de calcário foram definidas através da amostragem realizadas até à profundidade de 0-20 cm, Quadro 2. As parcelas apresentaram 5 m de largura por 30 m de comprimento, divididas em 3 subparcelas de 10 m de comprimento. Realizou-se, manualmente, a aplicação do calcário nas subparcelas, no dia 22 de setembro de 1998 e a segunda dose no dia 25 de agosto de 1999. Após a aplicação, seguiu-se a incorporação do corretivo nas parcelas que tinham como tratamento o sistema de preparo convencional do solo. Essa incorporação foi feita no dia seguinte à aplicação do corretivo, com grade aradora na profundidade média de 20 cm, seguida de uma gradagem de nivelamento à 10 cm de profundidade.

Quadro 2. Atributos químicos do solo da área experimental, em amostras coletadas antes da aplicação dos tratamentos, em diferentes profundidades, no município de Botucatu, SP (amostra realizada em setembro de 1998).

Prof. Cm	pH	M.O. g dm ⁻³	P resina g dm ⁻³	K	Ca	Mg	SB	H+Al	CTC	V
	CaCl ₂				-----mmolc dm ⁻³ -----					%
0-5	4,4	31	6	2,8	14	9	26	58	84	31
5-10	4,5	33	5	4,0	14	10	28	61	89	32
10-20	4,5	34	3	3,2	17	11	31	58	89	35
20-30	4,4	33	4	2,8	14	8	25	68	92	27
30-40	4,3	38	3	2,8	13	8	23	72	95	25

5.6 Semeadura da cultura do milho e tratos culturais (1998/1999 e 1999/2000)

Alguns dias antes da semeadura fez-se uma aplicação com herbicida dessecante Glyphosate (1440 g i.a. ha⁻¹) para controle das plantas daninhas. No primeiro ano de cultivo o herbicida teve como objetivo dessecar a aveia e no segundo ano dessecar a brachiaria. No dia 22 de dezembro de 1998 e 10 de dezembro de 1999 efetuou-se a semeadura do milho (*Zea mays* L.) O híbrido utilizado foi o Braskalb XL 251, recomendado tanto para produção de grãos como para silagem, com grãos semiduros, de coloração alaranjada. Para o município de Botucatu, esse híbrido é adequado para a semeadura tardia (novembro a janeiro), com uma população recomendada de 55.000 plantas por hectare. Na semeadura, utilizou-se uma semeadora-adubadora de 4 linhas com espaçamento de 0,9 m entre linhas, com regulagem para a distribuição de 5 sementes por metro. Antes da semeadura fez-se o tratamento de sementes com Promet, na dosagem de 1 litro para 50 kg de sementes. Na semeadura aplicou-se 320 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16. A adubação de cobertura foi realizada

no final do mês de janeiro, com aproximadamente 30 dias após a emergência das plântulas, utilizando-se 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, na forma de uréia, sem incorporação ao solo.

Durante o ciclo da cultura do milho foram realizadas duas capinas para o controle das plantas daninhas. Não houve incidência de pragas em nível que justificasse seu controle.

5.7. Obtenção dos dados

5.7.1 Análise de solo

Após o estabelecimento do plantio direto foram realizados 3 amostragens de solo em intervalos de 180 dias aproximadamente. As 3 amostragens foram realizadas a 0-5; 5-10cm; 10 a 20 cm e 20 a 30 cm de profundidade nas subparcelas, com a finalidade de monitorar o efeito do calcário e do sistema de cultivo. A primeira amostragem foi realizada em fevereiro de 1999, 150 dias após a aplicação do calcário. A cultura do milho estava em pleno florescimento. A coleta de amostra foi realizada com trado holandês, retirando-se 3 amostras simples por parcela para a formação de uma amostra composta, para cada profundidade. A segunda amostragem foi realizada em agosto de 1999, 180 dias após a primeira e a terceira em março de 2000, também 180 dias após a segunda amostragem. A metodologia de coleta para segunda e terceira amostragem foi idêntica à primeira. Após realizadas as amostragens, o solo foi encaminhado ao Laboratório de Análise de Solos do Curso de Agronomia da UNOESTE- Presidente Prudente –SP. O solo foi seco, peneirado e as

análise químicas realizadas, (pH, M.O., P, K, Ca, Mg, H+Al e Al), segundo procedimentos descritos por Raij & Quaggio, (1983).

5.7.2 Diagnose Foliar (ano 1998/99 e 1999/00)

Amostras de folhas foram coletadas no período de florescimento do milho (inflorescência feminina “cabelo”). Coletou-se o terço médio com nervura da folha oposta e abaixo da espiga, num total de 10 folhas em cada subparcela, segundo procedimentos descritos por Malavolta et al, 1997. As folhas coletadas foram lavadas em água deionizada e secas em estufas de circulação de ar a temperatura de 60 °C, por 72 horas. Em seguida as amostras foram moídas em moinho tipo “Wiley” equipado com peneira 20. Foram realizadas análises de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

5.7.3. Características da Planta

Foram efetuadas medidas de altura de plantas, diâmetro basal do colmo, comprimento médio da espiga com e sem palha, diâmetro médio da espiga com e sem palha, número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira, massa da espiga com e sem palha, determinação da população de plantas por hectare, massa de 100 grãos e

produção de grãos. Para determinar a produção utilizou-se as plantas das 2 linhas centrais das subparcelas , avaliou-se a massa de grãos de todas as espigas referentes à essas plantas. Com a produção de 20 plantas e a população de plantas por hectare, determinou-se a produção em kg. ha^{-1} .

5.8. Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos às análises de variância segundo o esquema de parcelas subdivididas, aplicando-se o teste F ao nível de 5% de probabilidade. As médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Utilizou-se o programa SANEST para processamento dos dados.

Quadro 3. Quadro da análise de variância

Causas da Variação	G.L.
Preparo de solo	3
Resíduo (A)	6
Calagem	2
Preparo de solo * calagem	4
Total	18

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 pH do solo

O pH do solo não foi afetado pelos sistemas de manejo de palha, em nenhuma das três amostragens de solos realizadas durante o experimento (Quadros 4, 5 e 6). Pode-se observar que, já aos 180 dias após a aplicação do calcário (Quadro 4) já havia proporcionado aumento do pH, principalmente nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, independente do manejo de palha adotado. Rheinheimer et al (2000), aos 6 meses da aplicação de calcário sobre o solo, a partir de pastagem natural, verificaram aumento significativo do pH somente na camada de 0 a 2,5 cm, quando comparada a incorporação do corretivo. Pottker & Ben (1998), em amostras de solo coletadas aproximadamente 3 anos após a aplicação do calcário na superfície, constataram que ocorreu elevação significativa do pH apenas na camada de 0 a 5 cm. Caires et al. (1998) aos 12 meses e Caires et al. (1999) aos 18 meses, em sistema de semeadura direta estabelecidos, observaram que a aplicação de calcário na superfície havia proporcionado aumento de pH até 10 cm de profundidade, desaparecendo na camada de 10 a 20 cm e voltando a exercer efeito nas camadas mais profundas do solo.

Para as doses de calcário utilizadas houve diferenças significativas nas três amostragens e em todas as profundidades estudadas. O maior valor de pH (6,0), foi alcançado com aplicação de 4 t ha^{-1} de calcário, na profundidade de 0-5 cm, na primeira amostragem realizada (Quadro 4). O menor valor de pH (3,7), foi observado no tratamento testemunha à profundidade de 20-30cm, na primeira e terceira amostragens (Quadro 4 e 6). Moreira et al. (2001) encontraram resultados semelhantes em solos sob sistema de semeadura direta há seis anos. Segundo os autores, houve efeito das doses de calcário aplicadas superficialmente sobre os valores de pH, sendo que os maiores valores de pH foram observados com as maiores doses de calcário. Costa (2000) também encontrou variações mais acentuadas no valor de pH, em função das doses de calcário aplicadas nas profundidade de 0-5 e 5-10 cm de profundidade. Portanto, os resultados indicaram que o corretivo aplicado concentrou-se na camada de 0-10 cm e que esse efeito foi maior com o aumento da dose de calcário aplicado (Quadro 3, 4 e 5).

A dissolução do calcário em solos ácidos promove a liberação de ânions (OH^- e HCO_3^-), os quais reagem com os cátions de reações ácidas da solução do solo (H^+ , Al^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+}) (Rheinheimer et al., 2000), havendo posteriormente a formação e a migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ para camadas mais profundas do solo. Entretanto, Rheinheimer et al. (2000) observaram que os efeitos da calagem só ocorreram em profundidade após o pH da zona de dissolução do calcário ter atingido valores de 5,2 a 5,5, pois enquanto existirem cátions ácidos a reação de neutralização da acidez fica limitada à camada superficial, retardando o efeito no subsolo. Esse fato constitui uma possível explicação às pequenas alterações químicas observadas no presente trabalho, pois como pode-se verificar nos Quadros 3, 4 e 5, os valores de pH nas camadas mais profundas do solo (10 a 20 e 20 a

30cm), são bem menores do que os valores observados nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm de profundidade.

A aplicação da dose complementar de calcário no início do segundo ano não elevou o pH do solo, mesmo na camada superficial 0-5 cm. O valor de pH na profundidade de 0-5 cm foi de 6,0, 180 dias após a aplicação de 4 t ha⁻¹ (Quadro 3) e aos 180 dias após a aplicação de mais 1,33 t ha⁻¹ o pH abaixou para 4,9 (Quadro 6). Para promover correção da acidez em profundidade, pode ser necessários a aplicação de doses complementares de calcário, na superfície, por vários anos. Apenas uma aplicação complementar, como foi feito no experimento, não foi suficiente para aumentar o pH do solo. Mas a aplicação de doses de calcário superficial em plantio direto está se tornando uma prática rotineira entre os produtores de soja, milho e algodão do centro-oeste brasileiro. Deve-se ressaltar que essas aplicações sucessivas anualmente podem provocar aumentos excessivos do pH na superfície do solo e afetar a disponibilidade de micronutrientes, principalmente manganês e zinco em solos do cerrado brasileiro.

Quadro 4 Valores de pH em CaCl_2 no solo, 180 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	5,0 a	4,5 a	4,3 a	4,1 a
CPCS	5,0 a	4,5 a	4,3 a	4,1 a
PICI	4,9 a	4,5 a	4,2 a	3,8 b
Doses de Calcário (DC)				
0	4,0 c	4,1 c	3,9 c	3,7 c
2	5,0 b	4,4 b	4,3 b	4,1 b
4	6,0 a	4,8 a	4,6 a	4,2 a
Valor de F				
Manejo da palha	0,60 ns	0,29 ns	0,07 ns	19,26 ns
Doses de Calcário	555,69 **	158,18 **	87,57 **	162,87 **
M.P. x D.C.	0,08 ns	0,11 ns	0,01 ns	47,53 ns
C.V. (%)				
Manejo da palha	8,50	5,07	8,80	9,65
Doses de calcário	2,76	2,16	2,97	4,91

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- As simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 5 Valores de pH em CaCl_2 no solo, 360 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário .

Manejo da palha	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	4,5 a	4,3 a	4,0 a	4,0 a
CPCS	4,6 a	4,3 a	4,0 a	4,0 a
PICI	4,5 a	4,3 a	4,0 a	4,0 a
Doses de Calcário (DC)				
0	4,0 c	4,0 c	3,9 c	3,8 c
2	4,4 b	4,3 b	4,0 b	4,0 b
4	5,2 a	4,6 a	4,2 a	4,1 a
Valor de F				
Manejo da palha	0,07 ns	0,23 ns	1,00 ns	2,60 ns
Doses de Calcário	244,30 **	113,14 **	123,44 **	95,06 **
M.P. x D.C.	0,04 ns	0,12 ns	0,48 ns	0,10 ns
C.V. (%)				
Manejo da palha	5,33	6,21	6,21	5,30
Doses de calcário	7,01	6,17	7,37	8,28

1-Médias seguidas pela mesmas letras ns colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 6. Valores de pH em CaCl_2 no solo, 180 dias após a aplicação da segunda dose de calcário para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidade			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	4,0 b	4,0 b	3,8 a	3,7 b
CPCS	4,4 ab	4,1 ab	3,8 a	3,9 a
PICI	4,6 a	4,2 a	3,9 a	3,8 a
Doses de Calcário (DC)				
0	3,8 c	3,8 c	3,7 c	3,7 b
2,66	4,3 b	4,2 b	3,9 b	3,8 b
5,33	4,9 a	4,4 a	4,0 a	3,9 a
Valor de F				
Manejo da palha	2,71ns	9,10 ns	1,62 ns	7,63 ns
Doses de Calcário	14,18 **	54,42 **	27,47 **	10,05 **
M.P. x D.C.	1,67 ns	0,38 ns	0,66 ns	0,60 ns
C.V. (%)				
Manejo da palha	7,61	8,42	7,65	6,28
Doses de calcário	5,33	3,44	6,69	7,73

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os símbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

6.2 Acidez potencial do solo

Nos Quadros 7, 8 e 9 são apresentados os resultados da acidez potencial do solo (H+Al) nas três amostragens de solo realizadas. Verificou-se que não houve diferença significativa para interação entre os fatores e embora não tenha havido efeito dos sistemas de manejo de palha no solo houve redução da acidez potencial até 20 cm de profundidade nos três sistemas de manejo de palha nas diferentes épocas de amostragens realizadas. Da mesma forma, só que em sistema plantio direto estabelecido e aos 12 meses

após a calagem superficial, Caires et al. (2000), observaram grande ação do calcário na redução da acidez potencial (H +Al), até 10 cm de profundidade.

Para as doses de calcário houve diferenças significativas, em todas as profundidades estudadas, mesmo na profundidade de 20-30 cm. Embora tenha se constatado diferenças entre doses de calcário, na profundidade de 20-30 cm, os valores são muito superiores aos encontrados na camada de 0-5 cm e 5-10 cm, mostrando efeito corretivo da acidez potencial mais intenso na camada superficial, nas três épocas de amostragens (Quadro 7, 8 e 9). Costa (2000) observou redução da acidez potencial com o aumento das doses de calcário na primeira avaliação, realizada 3 meses após a incorporação do corretivo. A partir de seis meses de aplicação, esse efeito foi verificado até a profundidade de 20-40 cm.

Quadro 7. Teores de H+Al no solo em mmolc dm^{-3} , 180 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Maneja da palha	Profundidade (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	30 a	46 a	59 a	72 a
CPCS	30 a	47 a	59 a	72 a
PICI	31 a	48 a	59 a	73 a
Doses de Calcário (DC)				
0	39 a	47 a	70 a	83 a
2	30 b	39 b	60 b	72 b
4	23 c	35 c	47 c	62 c
Valor de F				
Manejo da palha	2,95 ns	1,34 ns	0,67 ns	0,16 ns
Doses de Calcário	726,17 **	290,00 **	403,37 **	346,08 **
M.P. x D.C.	1,48 ns	3,00 ns	0,07 ns	1,20 ns
C.V. (%)				
Manejo da palha	23,21	12,58	11,07	12,31
Doses de calcário	33,45	23,05	13,15	12,65

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 8 Teores de H+Al no solo em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, 360 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo dapalha	Profundidade			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	38 a	47 a	60 a	76 a
CPCS	37 a	47 b	59 b	76 a
PICI	37 a	46 b	58 b	76 a
Doses de Calcário (DC)				
0	49 a	57 a	74 a	89 a
2	37 b	47 b	58 b	77 b
4	26 c	36 c	45 c	63 c
Valor de F				
Manejo de palha	6,88 ns	9,61 ns	5,98 ns	0,34 ns
Doses de Calcário	885,67 **	1935,48 **	3261,76 **	1225,94 **
MP x D.C.	0,11 ns	1,92 ns	0,5233 ns	2,7627 ns
C.V. (%)				
Manejo de palha	10,67	09,11	11,74	11,98
Doses de calcário	35,78	17,79	15,15	16,84

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 9. Teores de H+Al no solo em mmolc dm^{-3} , 180 dias após a aplicação da segunda dose de calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidade			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	43 a	52 a	64 a	79 a
CPCS	40 ab	51 a	65 a	77 a
PICI	39 a	49 a	64 a	78 a
Doses de Calcário (DC)				
0	54 a	56 a	69 a	82 a
2,66	43 b	50 b	63 b	79 b
5,33	25 c	46 b	60 b	74 c
Valor de F				
Manejo da palha	5,24 ns	0,87 ns	1,52 ns	0,36 ns
Doses de Calcário	152,97 **	7,92 **	25,48 **	18,84 **
M.P. x D.C.	0,47 ns	1,07 ns	0,26 ns	0,51 ns
C.V. (%)				
Manejo da palha	15,11	17,35	11,48	13,41
Doses de calcário	19,87	21,73	24,99	14,21

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

6.3 Alumínio trocável

No Quadro 10 estão apresentados os resultados da acidez trocável do solo (Al^{3+}) na primeira amostragem realizada. Verificou-se que não houve diferença significativa para os diferentes sistemas de manejo de palha no solo e para a interação manejo de palha e doses de calcário. Para as doses de calcário houve diferença significativa em todas

as profundidades estudadas, mesmo na profundidade de 20-30 cm. Embora verificou-se diferenças para as doses de calcário na profundidade de 20-30 cm, os valores de acidez trocável são muito superiores aos encontrados nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm.

Nos Quadros 11 e 12 são apresentados os resultados da acidez trocável da segunda e terceira amostragens. Verificou-se que não houve diferença significativa para os sistemas de preparo do solo e interação preparo do solo e doses de calcário. Novamente observou-se que houve diferenças significativas para as doses de calcário, em todas as profundidades estudadas. Os resultados encontrados na segunda e terceira amostragem são muito semelhantes aos da primeira amostragem, com pequenas variações. Estes resultados estão de acordo com dados encontrados por Caires et al. (2000) e Weirich Neto et al. (2000). No trabalho realizado por Moreira et al. (2001), observou-se que nas camadas inferiores do solo com seis anos sob plantio direto, os teores de Al trocável apresentaram-se maiores que os das camadas superficiais e diminuíram com a incorporação do calcário e, no solo com maior tempo de cultivo, os teores não variaram com as doses de corretivos nem com as profundidades. Tem sido observado maior diminuição do Al nas camadas superficiais de solos onde o corretivo foi aplicado na superfície do que de solos onde esse material foi incorporado (Moschler et al. , 1973; Sá, 1995), tendendo essa correção da acidez a se estender às camadas subsuperficiais ao longo do tempo de cultivo (Oliveira & Pavan, 1996; Caires et al., 1998; Caires et al., 1999).

Quadro 10. Teores de alumínio trocável no solo em $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$, 180 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	17 a	19 b	23 a	28 b
CPCS	17 a	21 a	23 a	29 a
PICI	18 a	21 a	24 a	29 a
Doses de Calcário (DC)				
0	23 a	27 a	30 ^a	32 a
2	17 b	21 b	22 b	29 b
4	12 c	14 c	17 c	26 c
Valor de F				
Manejo da palha	0,37 ns	4,30 ns	13,58 ns	2,19 ns
Doses de Calcário	103,88 **	461,69 **	116,13 **	72,36 **
M.P. x D.C.	0,69 ns	2,02 ns	0,20 ns	0,66 ns
C.V. (%)				
Manejo da palha	8,86	4,80	2,07	3,39
Doses de calcário	10,70	5,32	9,01	4,40

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 11. Teores de alumínio trocável no solo em $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$, 360 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	14 a	16 b	20 b	25 b
CPCS	15 a	18 a	21 ab	27 a
PICI	14 a	19 a	21 a	27 a
Doses de Calcário (DC)				
0	20 a	24 a	27 a	29 a
2	14 b	17 b	20 b	27 b
4	9 c	11 c	14 c	23 c
Valor de F				
Manejo da palha	0,04 ns	9,06 ns	7,78 ns	7,30 ns
Doses de Calcário	106,07 **	345,38 **	154,50 **	74,54 **
M.P. x D.C.	0,28 ns	1,01 ns	0,47 ns	0,54 ns
C.V. (%)				
Manejo da palha	8,76	4,16	2,96	3,02
Doses de calcário	12,58	7,17	8,84	4,78

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 12. Teores de alumínio trocável no solo em $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$, 180 dias após a aplicação da segunda dose de calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidade (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	11 a	13 a	19 a	23 a
CPCS	11 a	13 a	19 a	23 a
PICI	10 a	13 a	19 a	22 a
Doses de Calcário (DC)				
0	20 a	23 a	27 a	30 a
2,66	10 b	11 b	17 b	23 b
5,33	3 c	6 c	11 c	14 c
Valor de F				
Manejo da palha	0,85 ns	0,46 ns	0,52 ns	1,57 ns
Doses de Calcário	194,04 **	1267,81 **	2392,54 **	797,94 **
M.P. x D.C.	0,82 ns	0,25 ns	1,11 ns	0,79 ns
C.V. (%)				
Manejo da palha	13,02	4,25	3,56	2,92
Doses de calcário	19,09	6,50	3,05	4,52

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

6.4 Fósforo e potássio no solo

Os teores de fósforo e potássio no solo foram muito dispersos com variação muito grande dentro das repetições no mesmo tratamento. Os coeficientes de variação foram elevados, indicando que o sistema de coleta de amostra utilizado não foi eficiente para fósforo e potássio (Quadro 13, 14 e 15). Estes dados confirmam os resultados encontrados por Salet et al. (1996) ; Nicolodi et al. (2000); Anghinoni & Salet (1998) ; Schindwein & Anghinoni (2000)

A aplicação localizada dos adubos, na linha de semeadura, concentra os nutrientes e como no plantio direto não há revolvimento de solo, que promove a homogeneização dos nutrientes, faz com que a variabilidade dos teores de fósforo e potássio seja maior no sistema plantio direto. A coleta de amostra no sistema plantio direto deve seguir procedimentos diferentes do sistema convencional, principalmente em relação ao número de subamostras, equipamentos utilizados e distribuição dos locais de coleta (Salet et al., 1996 ; Nicolodi et al., 2000; Anghinoni & Salet, 1998). Schlindwein & Anghinoni (2000) estudaram a variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto e observaram grande variabilidade para os teores de fósforo e potássio, alcançando valores de coeficiente de variação de até 48 % e grande amplitude de variação. Segundo os autores, no sistema plantio direto, o número de subamostras necessárias para atender os limites de precisão preconizados (probabilidade de erro alfa de 0,05 e erro em relação à média de 10 % é inferior a 8 para matéria orgânica, pH em água e índice SMP, sendo que para potássio e fósforo o número de subamostra é em média, de 42 e 51, respectivamente.

Quadro 13. Teores de fósforo em mg dm^{-3} e potássio em mmolc dm^{-3} no solo, 180 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

	Profundidades (cm)							
	0-5		5-10		10-20		20-30	
	P	K	P	K	P	K	P	K
Manejo da palha								
SPCS	13 a	3,2 b	9 a	2,4 a	8 a	1,1 b	4 b	0,7 a
CPCS	13 a	3,4 ab	9 a	2,4 a	8 a	1,4 a	5 a	0,7 a
PICI	13 a	3,5 a	9 a	2,5 a	8 a	1,2 b	4 b	0,7 a
Doses de calcário (DC)								
0	17 a	1,0 c	8 b	1,9 b	11a	0,7 c	4 c	0,18 c
2,66	13 b	5,2 a	8 b	2,3 b	8 b	1,2 b	5 b	0,55 b
5,33	8 c	2,7 b	12 a	3,8 a	11 a	1,8 a	6 a	1,51 a
Valor de F								
Manejo da palha	0,00	3,02	0,56	0,47	1,11	38,04	5,81	0,88
Doses de calcário	444,25	786,65	588,32	540,39	111,64	486,75	139,46	1097,99
M.P x D.C.	0,85	0,91	0,26	0,18	0,16	32,96	9,76	0,32
C.V. (%)								
Manejo da palha	33,10	35,31	53,87	34,60	24,09	34,03	19,93	16,24
Doses de calcário	55,67	40,04	45,83	29,05	30,38	26,78	13,43	19,60

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 14. Teores de fósforo em mg dm^{-3} e potássio em mmolc dm^{-3} no solo, 360 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

	Profundidades (cm)							
	0-5		5-10		10-20		20-30	
	P	K	P	K	P	K	P	K
Manejo da palha								
SPCS	9 a	3,0 a	7 a	1,5 a	7 a	0,8 a	5 a	0,5 a
CPCS	9 a	2,9 a	8 a	1,5 a	7 a	0,8 a	5 a	0,5 a
PICI	9 a	3,2 a	8 a	1,5 a	8 a	0,7 a	5 a	0,5 a
Doses de calcário (DC)								
0	17 a	2,9 b	16 a	0,7 c	5 c	0,4 c	4 c	0,1 c
2,66	8 b	2,6 b	7 b	1,2 b	11 ^a	0,8 b	5 b	0,4 b
5,33	13 a	5,5 a	5b	2,7 a	6 b	1,2 a	6 a	1,1 a
Valor de F								
	0,30	1,56	0,70	1,05	3,72	2,02	3,00	0,54
Manejo da palha								
Doses de calcário	200,79	184,88	153,17	278,60	156,62	108,56	21,90	392,66
M.P x D.C.	0,10	0,53	1,23	0,16	0,05	0,10	0,15	0,99
C.V. (%)								
Manejo da palha	54,95	46,77	56,56	26,11	43,77	28,13	23,72	18,42
Doses de calcário	68,77	39,65	60,42	34,03	39,51	26,17	20,20	15,49

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 15. Teores de fósforo em mg dm^{-3} e potássio em $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo, 180 dias após a aplicação da segunda dose de calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

	Profundidades (cm)							
	0-5		5-10			10-20		20-30
	P	K	P	K	P	K	P	K
Manejo da palha								
SPCS	9 a	1,5 a	7 a	1,1 a	5 a	0,8 a	4 a	0,6 b
CPCS	9 a	1,4 a	8 a	1,2 a	6 a	0,8 a	4 a	0,8 a
PICI	9 a	1,5 a	8 a	1,2 a	6 a	0,8 a	4 a	0,6 b
Doses de calcário (DC)								
0	18 a	0,80 c	12 a	0,6 c	3 c	0,4 c	2 c	0,2 c
2,66	9 b	1,4 b	8 c	1,0 b	6 b	0,6 b	4 b	0,7 b
5,33	15 a	2,2 a	10 b	1,9 a	8 a	1,4 a	5 a	1,0 a
Valor de F								
Manejo da palha	0,37	0,83	1,27	3,85	1,12	1,80	0,27	13,00
Doses de calcário	92,36	115,14	51,98	145,46	94,44	266,38	46,47	139,79
M.P x D.C.	0,55	1,18	0,44	1,69	0,60	0,30	0,36	8,26
C.V. (%)								
Manejo da palha	57,61	40,35	57,58	26,43	35,71	35,78	22,90	29,31
Doses de calcário	84,14	35,20	69,86	54,92	25,15	43,59	19,23	18,99

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os símbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

6.5 Cálcio trocável

No Quadro 16 estão apresentados os resultados dos teores de cálcio da primeira amostragem de solo, 180 dias após a aplicação do calcário. Observou-se que para o manejo da palha (MP) e para interação manejo de palha e doses de calcário (MP X DC) não houve diferença significativa nas profundidades estudadas. Os teores de cálcio na camada de 0-5 e 5-10 cm foram maiores do que nas camadas de 10-20 e 20-30 cm, permitindo inferir que o cálcio ficou concentrado na faixa superficial, até 10 cm, independente do manejo de palha

adotado. Mesmo no sistema de preparo do solo convencional (PICI), com incorporação do corretivo, os teores de cálcio foram superiores nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, concordando com os resultados de Weirich Neto et al. (2000). Para as doses de calcário houve efeito significativo em todas as profundidades amostradas. A dose 3 (4 t ha^{-1}) proporcionou resultados superiores, mesmo na profundidade de 20-30 cm, indicando uma provável movimentação do cálcio em profundidade, independente do sistema de preparo e dependente da quantidade de calcário aplicada. Estes resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Weirich Neto et al. (2000).

Os teores de cálcio em profundidade variaram, na dose zero de calcário (Quadro 16) Isto pode ser explicado, provavelmente, devido a aplicação inicial de calcário em área total, antes da aplicação dos tratamentos, para o cultivo da aveia (maio de 1998), com o propósito de elevar a saturação por bases a 30 %.

Quadro 16. Teores de cálcio trocável no solo em $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, 180 dias após a aplicação do calcário, em quatro 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	41 a	21 a	10 a	7 a
CPCS	41 a	20 a	12 a	6 a
PICI	41 a	21 a	14 a	7 a
Doses de Calcário (DC)				
0	12 c	8 c	7 c	2 c
2	51 b	21 b	21 b	6 b
4	60 a	33 a	26 a	12 a
Valor de F				
Manejo da palha	0,40 ns	0,23 ns	1,20 ns	5,26 ns
Doses de Calcário	4359,03 **	1056,25**	2007,70**	459,45**
M.P. x D.C.	0,75ns	0,06ns	0,17ns	3,31ns
C.V. (%)				
Manejo da palha	12,05	12,52	12,77	5,61
Doses de calcário	13,27	16,50	14,42	11,77

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os símbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Na segunda amostragem (Quadro 17), os tratamentos SPCS e o PICI apresentaram o maior teor de cálcio ($33 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$) na profundidade de 0-5 cm e o SPCS e o PICI o menor teor ($5 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$) na profundidade de 20 a 30 cm. Os resultados foram semelhantes, embora menores do que os teores da primeira amostragem. O que provavelmente ocorreu foi uma ação complexante provocada pela liberação de compostos orgânicos provenientes da decomposição da matéria orgânica (Myazawa et al., 1996). Outra hipótese é a absorção pelas plantas, que retiraram cálcio do solo reduzindo seu teor.

Para as doses de calcário houve diferença significativa e os resultados foram semelhantes aos observados na primeira amostragem, com a concentração do cálcio sendo maior na camada superficial, principalmente de 0-10cm.

Quadro 17. Teores de cálcio no solo em $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$, 360 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	33 a	18 ab	12 b	5 a
CPCS	23 b	18 a	13 b	6 a
PICI	33 a	17 b	13 a	5 a
Doses de Calcário (DC)				
0	9 c	6 c	5 c	2 c
2	35 b	20 b	14 b	4 b
4	54 a	27 a	18 a	10 a
		Valor de F		
Manejo da palha	2,03 ns	1,71 ns	1,55 ns	1,16 ns
Doses de Calcário	4995,06 **	858,49 **	601,23 **	160,23 **
M.P. x D.C.	6,37 ns	2,40 ns	1,60 ns	0,61 ns
		C.V. (%)		
Preparo de Solo	25,05	15,01	17,02	11,421
Doses de calcário	33,84	16,96	17,87	19,215

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

No Quadro 18, são apresentados os resultados da terceira e última amostragem. Houve diferença significativa para manejo de palha (Quadro 18). Para doses de calcário, assim como nas duas amostragens anteriores houve efeito significativo. Os teores de cálcio foram semelhantes aos resultados encontrados nas duas primeiras amostragens, mesmo após a aplicação de calcário complementar realizada no dia 20 de setembro de 1999. Ainda

assim, os teores de cálcio foram menores do que os encontrados nas duas amostragens anteriores. Esperava-se que houvesse um acréscimo desses teores, principalmente na aplicação superficial, mas isto não ocorreu, discordando dos dados de Caires et al. (1998) e Sá (1995). O cálcio aplicado não alterou o valor da forma trocável, provavelmente, sendo absorvido pelas plantas. Como a absorção de Ca pelas plantas é bem menor do que a quantidade aplicada, provavelmente o cálcio reagiu com determinados compostos, principalmente produtos resultantes da decomposição da matéria orgânica. Fazendo uma observação mais detalhada verificou-se que, nesta terceira amostragem houve um pequeno aumento dos teores de cálcio na profundidade de 10-20 cm em relação às duas primeiras amostragens, principalmente no sistema de plantio direto com palha superficial. Nessa profundidade, o teor de cálcio foi de 12 $\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ na primeira amostragem, na segunda de 13 e na terceira foi de 18 $\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Quadros 17, 18 e 19).

Analisando-se em conjunto os resultados das três amostragens, verificou-se que houve basicamente três grupos de resultados em relação às profundidades, que são: de 0-5cm sempre superiores, de 5-20 cm intermediários e de 20-30cm os inferiores em todos os casos.

Segundo Caires et al. (2000), o tempo de reação do calcário aplicado na superfície do solo em sistema de plantio direto pode variar em função da dose, das características químicas do solo, do manejo da adubação e calagem, do sistema de rotação de culturas e da reatividade do corretivo. A ação da calagem superficial pode se manifestar em doze meses, na camada de 0-10 cm, entretanto, observa-se que a máxima reação no solo ocorre entre 28-30 meses após sua aplicação. Na camada de 10-20 cm, verificou-se que o efeito da calagem superficial foi mais lento, ocorrendo após 28 meses. Resultados semelhantes

foram relatados por Oliveira e Pavan (1996), que verificaram efeito da calagem superficial por um período de 50 meses. Pöttker e Ben (1998), avaliando duas unidades de solos por 36 meses, concluíram que a aplicação superficial de calcário em sistema de plantio direto altera as características químicas na camada 0-5 cm e, em menor grau, na camada de 5-10 cm.

Quadro 18. Teores de cálcio trocável no solo em mmolc dm^{-3} , 180 dias após a aplicação da segunda dose de calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	32 a	20 b	15 b	5 b
CPCS	31 a	22 a	18 ab	7 a
PICI	32 a	19 b	12 a	6 ab
Doses de Calcário (DC)				
0	16 c	12 c	6 c	4 c
2,66	27 b	19 b	9 b	6 b
5,33	53 a	30 a	28 a	8 a
	Valor de F			
Manejo da palha	0,36 ns	5,88 ns	3,14 ns	1,36 ns
Doses de Calcário	551,23 **	647,64 **	664,93 **	43,85 **
M.P. x D.C.	1,36 ns	28,57 ns	0,92 ns	0,37 ns
	C.V. (%)			
Manejo da palha	33,14	16,15	26,79	17,75
Doses de calcário	28,89	26,29	11,48	18,82

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

6.6 Magnésio trocável

Nos Quadros 19, 20 e 21 são apresentados os resultados dos teores de magnésio no solo nas três épocas de amostragens. O magnésio no solo apresentou comportamento muito semelhante ao cálcio. A maior concentração de magnésio nas camadas

superiores, (0-5 e 5 -10 cm), ficou evidente nas três amostragens de solo. Para manejo de palha no solo, os teores de magnésio encontrados na camada de 0-5 cm na primeira amostragem são superiores aos teores encontrados nas demais amostragens, e os teores da segunda também são superiores aos teores da terceira amostragem. Na camada de 5-10 cm os teores são maiores na primeira amostragem quando comparado com a segunda e terceira, mas quando comparados os teores da segunda para a terceira amostragem há uma inversão, os teores da terceira amostragem são maiores do que os teores da segunda amostragem. Portanto para os teores de magnésio houve efeito da dose complementar de calcário na profundidade de 5-10 cm. A explicação pode ser uma movimentação de magnésio no perfil de solo, principalmente devido a presença de cálcio na superfície e a provável reação do magnésio com os compostos orgânicos, como explica McMahon & Thomas (1976) e Blevins, et al. (1978), que a movimentação de bases no solo verificada em sistema plantio direto pode decorrer, também, da ação dos resíduos vegetais depositados na superfície no solo. Na presença desses resíduos tem-se verificado uma marcada mobilidade de cálcio e magnésio, aplicados na forma de carbonatos, no perfil do solo. A movimentação desses cátions é atribuída à formação de complexos com ligantes orgânicos originados dos resíduos vegetais presentes na superfície do solo. Tais complexos apresentam cargas negativas ou nulas (Ca L^0 , Ca L^- ; MgL^0 , MgL^-) e como o complexo de troca do solo possui predominantemente cargas negativas a retenção dessas moléculas é baixa (Santos, 1997; Pavan e Miyazawa, 1998; Ziglio et al., 1999). Este processo também ocorre para o cálcio, mas neste caso ficou mais evidente para o magnésio. Isto provavelmente pode ser explicado em parte pela característica do solo, devido ao elevado poder tampão do solo.

Independentemente do mecanismo envolvido, inúmeras são as evidências da redução de acidez e do aumento de teores de bases nas camadas subsuperficiais do solo pela aplicação superficial de calcário. A diminuição de alumínio trocável e o aumento do pH do solo, até 40 cm de profundidade, 32 meses após a aplicação de calcário na superfície foi constatada também por Oliveira e Pavan (1996) em Latossolo Vermelho Escuro da região de Ponta Grossa. Na mesma região e unidade de solo, Caires et al. (1999) observaram aumento nos valores de pH e teores de cálcio e magnésio, além da diminuição de alumínio trocável, até a profundidade de 40 cm, 18 meses após a aplicação dos corretivos. Entretanto, há relatos indicando que as alterações nas características do solo, pela aplicação superficial de calcário, se restringem às camadas de 0-5 cm, 36 meses após a aplicação de corretivos na superfície (Pöterker e Ben, 1998) e 0-10 cm, 12 meses após a aplicação de corretivo na superfície (Caires et al., 1998). Portanto os resultados encontrados no experimento corroboram os de vários autores. Sendo assim, fica evidente que há mobilidade de cálcio e magnésio no solo e que a presença da matéria orgânica, pH, tipo de planta cultivada, tipo de solo, adubação nitrogenada e precipitação pluvial são responsáveis por esta movimentação. Mas ainda não se pode afirmar com certeza os mecanismos e reações que realmente ocorrem, para isto deve ser feito um trabalho de caracterização química de cada resíduo orgânico e sua influência no pH do solo e como estes compostos orgânicos complexam os cátions, principalmente cálcio, magnésio potássio e alumínio.

Quadro 19. Teores de magnésio trocável no solo em $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, 180 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	30 b	15 a	14 a	5 a
CPCS	34 a	15 a	14 a	5 a
PICI	30 a	15 a	14 a	5 a
Doses de Calcário (DC)				
0	9 c	7 c	6 c	2 c
2	39 b	15 b	15 b	3 b
4	46 a	24 a	20 a	10 a
Valor de F				
Manejo da palha	152,38 **	0,36 ns	0,05 ns	0,05 ns
Doses de Calcário	8769,42 **	897,05 **	1593,06 **	319,74 **
M.P. x D.C.	0,85 ns	0,15 ns	0,35 ns	0,31 ns
C.V. (%)				
Manejo da palha	11,03	18,12	28,91	08,06
Doses de calcário	22,90	06,67	04,75	15,41

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 20. Teores de magnésio trocável no solo em $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$, 360 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	23 b	12 ab	8 b	4 a
CPCS	24 a	12 a	8 b	4 a
PICI	24 a	12 b	9 a	3 a
Doses de Calcário (DC)				
0	8 c	5 c	4 c	2 b
2	23 b	13 b	9 b	2 b
4	40 a	17 a	12 a	6 a
Valor de F				
Manejo da palha	0,98 ns	1,14 ns	1,82 ns	0,66 ns
Doses de Calcário	2820,78 **	790,13 **	305,05 **	82,75 **
M.P. x D.C.	8,01 ns	1,08 ns	1,52 ns	0,48 ns
C.V. (%)				
Manejo da palha	4,99	5,98	8,77	12,09
Doses de calcário	4,49	6,15	10,13	27,14

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 21. Teores de magnésio trocável em $\text{mmol} \text{ dm}^{-3}$ no solo, 180 dias após a aplicação da segunda dose de calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	20 a	14 a	9 a	5 ab
CPCS	20 a	14 a	10 a	5 a
PICI	20 a	14 a	10 a	4 b
Doses de Calcário (DC)				
0	8 c	5 c	5 c	3 c
2,66	18 b	16 b	7 b	5 b
5,33	34 a	21 a	20 a	7 a
Valor de F				
Manejo da palha	0,05 ns	0,05 ns	0,68 ns	2,13 ns
Doses de Calcário	388,19 **	434,69 **	146,17 **	42,30 **
M.P. x D.C.	0,72 ns	0,12 ns	0,10 ns	0,48 ns
C.V. (%)				
Manejo da palha	11,20	8,47	11,48	15,02
Doses de calcário	11,69	9,37	19,20	21,36

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os símbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

6.7 Saturação por bases

Os resultados de saturação por bases para as três amostragens estão apresentados nos Quadros 22, 23 e 24. Verificou-se que não houve diferenças significativas para os sistemas de manejo de palha e interação dos fatores estudados. Nos três sistemas de manejo de palha e nas três amostragens realizadas a saturação por bases foi superior na camada de 0-5 e 5-10 cm de profundidade, mostrando que o calcário ficou mais concentrado na camada de 0-10 cm, independente de ser incorporado ou não.

Canalli & Roloff (1997) estudaram a influência do preparo do solo (arado de disco a 20 cm, arado de aiveca a 35 cm e arado rotativo a 60 cm de profundidade) e da correção do solo com duas dosagem de calcário (para elevar a saturação de bases a 70% e sem calcário), na implantação do sistema plantio direto, em um latossolo vermelho escuro, com as culturas de soja e milho. Verificaram nos dois primeiros anos após a implantação do sistema plantio direto, para ambas as culturas, que as doses de calcário não apresentaram diferenças estatísticas para os métodos de preparo do solo e incorporação do calcário.

Para as doses de calcário houve diferenças significativas, observando-se o aumento de saturação por bases para 83 % na camada de 0-5 cm na primeira amostragem (Quadro 22). Este resultado de saturação por bases é elevado e confirma a premissa da concentração de bases trocáveis e elevação do pH na camada superficial do solo. Os valores das camadas de 0-5 cm e 5-10 cm apresentaram magnitude relativamente próxima, dentro da mesma dose de calcário, e foram mais elevados que nas demais profundidades avaliadas. Portanto, os resultados dessa avaliação sugerem a coleta de amostras de 0-10 cm e 10-20 cm. Resultados obtidos por Weirich Neto et al. (2000), em avaliações realizadas em Latossolo Vermelho escuro distrófico, do Município de Ponta Grossa, PR, três meses após a aplicação do calcário, indicaram a mesma tendência observada no presente trabalho.

Outro ponto importante que a aplicação superficial de calcário tem levantado é a discussão sobre o método de recomendação de calagem baseado na elevação da saturação por bases do solo. Na literatura têm sido freqüentemente relatados resultados onde os valores de saturação por bases determinados após a calagem foram inferiores aos estimados por este método (Quaggio et al., 1982 a,b; Caires & Rosolem, 1993; Oliveira et al., 1997). Os valores de saturação por bases obtidos após a calagem foram inferiores aos estimados, nas camadas

subsuperficiais do solo (10-20 cm e 20-30 cm), independente do modo de incorporação utilizados (Quadros 22, 23 e 24). Devido a diferença observada entre a saturação por bases obtida e a estimada, Oliveira et al. (1997) sugeriram a recomendação de um índice estimado de 90% de saturação por bases para calagem na cultura do milho. Um dos motivos levantados para explicar tais efeitos foi a granulometria grosseira do calcário (Quaggio, et al. 1982 a). Esta hipótese, entretanto, não se confirma considerando o trabalho do Caires & Rosolem (1993), onde foi utilizado calcário dolomítico “filler” e, mesmo assim, após 120 e 140 dias, os valores de saturação por bases obtidos foram menores que os calculados. Esses autores verificaram que até a saturação por bases de 55 a 60 %, os resultados obtidos encontravam-se mais próximos aos teóricos, mas, desse ponto em diante, havia grande diferença nos resultados, indicando que o poder tampão do solo era maior que o estimado.

Quadro 22. Valores de saturação por bases em (%), 180 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	62 a	46 a	35 a	15 a
CPCS	65 a	46 a	33 a	14 a
PICI	66 a	47 a	35 a	15 a
Doses de Calcário (DC)				
0	37 c	25 c	17 c	10 c
2	74 b	50 b	20 b	15b
4	83 a	64 a	23 a	19 a
Valor de F				
Manejo da palha	0,64 ns	0,30 ns	1,30 ns	0,69 ns
Doses de Calcário	5463,18 **	3120,32 **	1802,51 **	1077,24 **
M.P.x D.C.	0,89 ns	1,91 ns	0,62 ns	1,10 ns
C.V. (%)				
Manejo da palha	11,10	12,11	11,11	16,08
Doses de calcário	11,80	12,61	14,22	17,93

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 23. Valores de saturação por bases no solo em (%), 360 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidade			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	43 a	25 ab	14 b	6 a
CPCS	42 a	26 a	14 b	5 a
PICI	42 a	24 b	15 a	5 a
Doses de Calcário (DC)				
0	13 c	9 c	5 c	2 c
2	44 b	27 b	14 b	4 b
4	71 a	38 a	23 a	10 a
		Valor de F		
Manejo da palha	0,63 ns	3,78 ns	1,21 ns	1,16 ns
Doses de Calcário	2612,71**	572,89 **	684,65 **	288,30 **
M.P. x D.C.	1,46 ns	0,46 ns	1,45 ns	1,52 ns
		C.V. (%)		
Manejo da palha	12,23	14,69	19,42	18,93
Doses de calcário	14,66	18,69	18,47	15,25

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 24. Valores de saturação por bases no solo em (%), 180 dias após a aplicação da segunda dose de calcário, para as 4 profundidades amostradas em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	53 a	38 b	25 a	12 b
CPCS	53 a	39 b	26 a	12 a
PICI	56 a	41 a	26 a	12 b
Doses de Calcário (DC)				
0	31 c	23 c	13 c	8 c
2,66	52 b	42 b	18 b	13 b
5,33	79 a	53 a	27 a	18 a
	Valor de F			
Manejo da palha	0,10 ns	0,19 ns	0,65 ns	1,82 ns
Doses de Calcário	295,66 **	765,81 **	654,35 **	69,30 **
M.P. x D.C.	1,18 ns	0,94 ns	0,88 ns	0,36 ns
	C.V. (%)			
Manejo da palha	11,68	13,06	15,65	12,38
Doses de calcário	18,94	14,82	17,95	16,06

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

6.8 Matéria orgânica no solo

A matéria orgânica é um dos componentes fundamentais para a implantação do sistema plantio direto. A presença de material orgânico e o cultivo sem revolvimento de solo em inúmeros casos é definido como plantio direto, embora saiba-se que sistema plantio direto é muito mais complexo. Como no plantio direto não há incorporação dos restos culturais, há um acúmulo considerável de material orgânico sobre o solo que propicia aumento gradativo do teor de matéria orgânica, principalmente nas camadas

superficiais do solo. A matéria orgânica no plantio direto tem-se mostrado muito importante no comportamento das propriedades químicas do solo, como alteração do alumínio trocável nas camadas superficiais e subsuperficiais, movimentação de cálcio e magnésio no perfil do solo e, em alguns casos, alteração de pH no perfil do solo.

Nos Quadros 25, 26 e 27 estão apresentados os resultados dos teores de matéria orgânica do solo. Verifica-se que apesar de haver diferenças significativas para doses de calcário, ocorre variação pequena nos teores de matéria orgânica nas três amostragens realizadas, independente das profundidades avaliadas, mostrando portanto que apesar do grande acúmulo de material orgânico, o teor de matéria orgânica no solo altera-se numa velocidade muito baixa; há necessidade de vários anos de plantio direto para notar alterações expressivas nos teores de matéria orgânica do solo. Outro fator importante a ser ressaltado nos Quadros 25, 26 e 27 é o expressivo teor de matéria orgânica na profundidade de 20-30cm. O que explica isto é fato de que na área do experimento havia *Brachiaria decumbens* com mais de 5 anos, o que pode ter levado ao acúmulo ao longo destes anos, principalmente devido ao abundante sistema radicular da braquiária. A aplicação de calcário alterou os resultados de matéria orgânica, mas não há um consenso quanto à dose aplicada, pois em alguns casos como na profundidade de 0-5 cm na primeira amostragem a dose de 4 t ha⁻¹ de calcário apresentou o maior teor de matéria orgânica no solo (43 g. dm⁻³), sendo que na profundidade de 5-10 cm, mas na terceira amostragem o maior teor de matéria orgânica foi com a dose zero de calcário (38 g. dm⁻³). Amado et al. (2001) estudaram vários sistemas de culturas em plantio direto e verificaram que as maiores alterações nos estoques de carbono orgânico e nitrogênio total, ocorreram na camada de 0-5 cm e que, nas condições em que foi realizado o experimento, o plantio direto associado ao uso de culturas de cobertura

demonstrou potencial para recuperar o teor de M.O. e sequestrar carbono no solo e contribuir para mitigar o efeito estufa.

Atualmente, os efeitos positivos do calcário aplicado na superfície em semeadura direta sobre a correção da acidez superficial e subsuperficial, tem sido associado ao manejo da cobertura morta e teor de M.O. no solo. Segundo Caires (2000), a permanência de resíduos vegetais na superfície e a ausência de revolvimento do solo reduzem a taxa de decomposição dos ligantes orgânicos por microorganismos, sendo que com a disponibilidade de água, os compostos orgânicos podem ser solubilizados e lixiviados, conforme mecanismo proposto por Miyazawa et al. (1996) e explicado por Caires et al. (1998). No entanto, a estabilidade desses complexos orgânicos pode ser questionada, por não ter sido constatado efeito sobre a acidez no subsolo após 40 meses, em trabalho realizado por Caires et al. (1999). A reação da fração hidrossolúvel de resíduos vegetais no solo é extremamente rápida e seus efeitos sobre a química da solução são drasticamente reduzidos pelo processo de decomposição microbiana (Franchini et al., 1999). Embora os efeitos sejam de curta duração, os restos vegetais podem melhorar a fertilidade de solos ácidos, pelo menos na fase inicial de implantação da próxima cultura em sucessão (Caires, 2000).

Quadro 25. Teores de matéria orgânica no solo em g dm^{-3} , 180 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	39 a	37 a	32 a	31 a
CPCS	39 a	36 a	32 a	35 a
PICI	39 a	36 a	32 a	31 a
Doses de Calcário (DC)				
0	34 c	33 c	29 c	29 a
2	40 b	36 b	31 b	36 a
4	43 a	40 a	35 a	33 a
Valor de F				
Manejo da palha	0,66 ns	3,58 ns	0,14 ns	0,99 ns
Doses de Calcário	167,85 **	70,45 **	73,19 **	1,77 **
M.P. x D.C.	0,60 ns	0,24 ns	0,08 ns	0,88 ns
C.V. (%)				
Manejo da palha	11,56	11,48	12,14	14,78
Doses de calcário	12,99	13,62	14,11	27,52

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 26. Teores de matéria orgânica no solo em g dm^{-3} , 360 dias após a aplicação do calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	39 a	37 a	32 a	31 ab
CPCS	36 b	33 c	32 a	30 b
PICI	35 b	34 b	33 a	32 a
Doses de Calcário (DC)				
0	36 b	34 b	30 c	30 b
2	37 ab	35 ab	32 b	31 a
4	38 a	35 a	34 a	32 a
Valor de F				
Manejo da palha	25,42 *	38,57 *	1,39 ns	8,48 ns
Doses de Calcário	4,30 **	3,69 **	81,43 **	4,95 **
M.P. x D.C.	1,67 ns	2,21 ns	0,58 ns	2,28 ns
C.V. (%)				
Manejo da palha	12,21	12,00	11,83	12,13
Doses de calcário	14,56	14,18	12,84	15,15

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 27. Teores de matéria orgânica no solo em g dm^{-3} , 180 dias após a aplicação da segunda dose de calcário, para as 4 profundidades amostradas, em função do manejo de palha e de doses de calcário.

Manejo da palha	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
SPCS	40 a	40 a	36 a	34 a
CPCS	37 a	36 b	32 b	31 b
PICI	35 a	34 b	32 b	31 ab
Doses de Calcário (DC)				
0	37 a	38 a	33 a	32 a
2,66	39 a	37 ab	34 a	31 a
5,33	36 a	35 b	33 a	32 a
Valor de F				
Manejo da palha	1,11 ns	2,13 ns	2,68 ns	1,93 ns
Doses de Calcário	0,43 **	2,79 **	0,43 **	0,10 **
M.P. x D.C.	0,40 ns	1,96 ns	0,46 ns	0,11 ns
C.V. (%)				
Manejo da palha	13,10	10,65	7,64	3,48
Doses de calcário	16,35	9,94	11,37	10,65

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os símbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

6.9 Avaliação da produção e dos componentes de produção

6.9.1. Produção de grãos de milho e massa de 100 grãos

Os resultados de produção de grãos de milho e massa de 100 grãos do primeiro ano (98/99) estão apresentados no Quadro 28. A produção de milho respondeu positivamente à aplicação de calcário nos dois anos do experimento (Quadro 28 e 29). A maior produção de milho foi obtida com a aplicação de 4 t ha^{-1} de calcário (5465 kg ha^{-1}) e a

menor (3591 kg ha^{-1}) com a dose zero de calcário (Quadro 28). Os resultados da produção estão de acordo com os componentes da análise de solo, ou seja, a correção da acidez trocável, acidez potencial, o aumento no pH, cálcio e magnésio resultaram em maior produção de grãos de milho.

A interação entre manejo de palha e doses de calcário não foi significativa nos dois anos de cultivo. Quanto ao manejo da palha observou-se efeito significativo na produção de milho no segundo ano (Quadro 28). O PICI apresentou a maior produção de grãos (5346 kg^{-1}) e o CPCS o menor rendimento (4031 kg^{-1}) (Quadro 29). Moschler et al. (1973) encontraram resultados diferentes trabalhando em solos com pH de 5,3 (área sob preparo convencional) e de 4,8 (área sob plantio direto), ambos determinados na camada de 0-10 cm. Na média de oito anos, o aumento no rendimento de grãos de milho foi de 31,3%, no SPD, e de apenas 13,5%, no sistema convencional, demonstrando a viabilidade de aplicação do calcário na superfície do solo sob SPD. Blevins et al. (1978) também reportaram aumentos no rendimentos de grãos de milho pela aplicação de calcário na superfície de solos com pH inicial de 5,6 e de 5,1 e concluíram ser esse método eficiente para neutralizar a acidez do solo causada pela fertilização nitrogenada do milho cultivado no SPD. No entanto, os autores alertaram que, se o solo apresentar pH muito baixo, a incorporação do calcário pode ser mais recomendável.

A análise conjunta dos resultados evidenciou que a menor produtividade de grãos de milho ocorreu no primeiro ano de cultivo (Quadro 28 e 29). Um dos fatores que justifica esta diferença foi um longo período de déficit hídrico durante o período reprodutivo do milho, afetando a produtividade. Outro fator importante que pode ter afetado a produção, foi o longo tempo de pousio da área antes da instalação do experimento.

Quadro 28. Produção e massa de 100 grãos de milho, cultivado no ano agrícola de 98/99.

Tratamentos	Produção (kg ha ⁻¹)	Massa de 100 grãos (g)
Preparo do Solo (PS)		
SPCS	4470 a	30,33 a
CPCS	4622 a	30,16 a
PICI	4397 a	30,00 a
Doses de Calcário (DC)		
0	3591 c	28,50 c
2	4434 b	30,50 b
4	5465 a	31,50 a
		Valor de F
Manejo da palha	0,88 ns	0,40 ns
Doses de Calcário	132,00 **	33,60 **
OS x D.C.	0,23 ns	1,30 ns
		C.V. (%)
Manejo da palha	15,38	11,72
Doses de calcário	16,29	13,02

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os símbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 29. Produção e massa de 100 grãos de milho, cultivado no ano agrícola de 99/00.

Tratamentos	Produção (kg há ⁻¹)	Massa de 100 grãos (g)
Preparo do Solo (PS)		
SPCS	4826ab	29,25 a
CPCS	4031 b	28,39 a
PICI	5346 a	27,69 a
Doses de Calcário (DC)		
0	4105 b	28,30 a
2	5138 a	29,35 a
4	4961ab	27,68 a
		Valor de F
Manejo da palha	5,67 **	26,03 ns
Doses de Calcário	3,21 **	2,34 **
PS x D.C.	0,83 ns	0,62 ns
		C.V. (%)
Manejo da palha	11,74	11,07
Doses de calcário	12,54	10,69

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os símbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

6.9.2. Componentes de produção

Além das características químicas do solo, produção de grãos e massa de 100 grãos, foram avaliados alguns componentes de produção, com a finalidade de averiguar se as alterações provocadas no solo pela calagem, foi compatível com as mudanças estruturais da planta.

Nos Quadros 30 e 31 são apresentados os componentes de produção avaliados e os resultados obtidos para cada tratamento, bem como os valores obtidos de F e os coeficientes de variação encontrados. Sobre a análise do sistema de manejo da palha, os tratamentos não diferiram, havendo equivalência entre os resultados nos dois anos de avaliação (Quadros 30 e

31). Para as doses de calcário verificou-se diferenças estatísticas para altura de planta, massa da espiga sem palha e diâmetro da espiga sem palha, nos dois anos de avaliação. Esses resultados estão de acordo com os dados observados para produção, ou seja os maiores valores são observados com as maiores doses de calcário (Quadros 30 e 31). Provavelmente as maiores doses de calcário propiciaram um maior enraizamento de plantas, o que lhe confere maior aptidão para absorção de nutrientes e água e resistência a estresses, possibilitando um maior crescimento em altura, massa da espiga e diâmetro da espiga sem palha.

Quadro 30. Análise dos componentes de produção: diâmetro do colmo, altura de plantas, massa da espiga sem palha, comprimento da espiga sem palha, número de grãos por fileiras e número de fileiras de grão na espiga. Ano Agrícola (1998/1999).

Tratamentos	Diâmetro colmo (mm)	Altura planta (m)	Peso da espiga sem palha (g)	Comprimento de espiga sem palha (cm)	Diâmetro da espiga sem palha (mm)	Número de grãos por fileira	Número de fileiras na espiga
Preparo do solo							
SPCS	14	1,79	1800	22	40	38	13
CPCS	13	1,69	1775	21	41	37	13
PICI	14	1,72	1789	23	39	38	13
Doses de calcário							
0	15	1,60 b	1815 c	24	42 b	35	13
2	15	1,74 a	1837 b	25	45 a	36	13
4	15	1,70 a	1910 a	26	43 a	36	13
Valor de F							
Manejo da palha	6,00ns	0,68ns	2,30ns	0,12ns	4,50ns	6,49ns	0,99ns
Doses de calcário	0,78ns	2,01**	1,97**	2,56ns	0,17**	2,04ns	1,47ns
PS x DC	1,72ns	1,20ns	0,26ns	0,60ns	0,14ns	1,31ns	0,94ns
C.V. (%)							
Manejo da palha	8,56	10,11	8,25	13,22	10,56	8,42	11,37
Doses de calcário	11,21	7,42	12,21	10,45	9,31	6,32	12,25
PS x DC	9,12	6,56	11,16	8,70	7,53	7,45	10,71

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 31. Análise dos componentes de produção: diâmetro do colmo, altura de plantas, massa da espiga sem palha, comprimento da espiga sem palha, número de grãos por fileiras e número de fileiras de grão na espiga. Ano agrícola (1999/2000)

Tratamento	Diâmetro do colmo (mm)	Altura planta (m)	Peso da espiga sem palha (g)	Comprimento de espiga sem palha (cm)	Diâmetro da espiga sem palha (mm)	Número de grão por fileira	Número de fileiras na espiga
Preparo do solo							
SPCS	15	1,80	1820	23	41	39	14
CPCS	14	1,73	1800	22	43	38	13
PICI	16	1,75	1799	24	40	40	14
Doses de calcário							
0	16	1,65 b	1830 b	25	38 c	41	12
2	15	1,79 a	1874 ab	26	40 b	40	13
4	16	7,78 a	1920 a	27	43 a	42	13
Valor de F							
Manejo da palha	4,00ns	0,88ns	3,30ns	0,22ns	2,50ns	2,49ns	0,59ns
Doses de calcário	0,34ns	4,01**	0,97**	5,56ns	0,27**	5,04ns	3,47ns
PS x DC	3,22ns	2,20ns	3,26ns	0,42ns	0,94	0,31ns	2,94ns
C.V. (%)							
Manejo da palha	7,56	9,11	6,25	14,22	9,56	7,42	12,37
Doses de calcário	12,21	8,42	10,21	11,45	10,31	8,32	10,25
PS x DC	13,12	7,56	9,16	7,70	8,53	9,45	9,71

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

6.10.Efeito da calagem nos teores foliares de nutrientes do milho

Os teores dos nutrientes, avaliados através da análise do tecido foliar do milho nos cultivos realizados no ano agrícola de 1998/99 e 1999/00, estão apresentados nos (Quadros 32 e 33).

Os teores de nitrogênio não foram alterados pelo preparo de solo. A interação entre manejo de palha e doses de calcário não foi significativa. Mas para doses de calcário houve efeito significativo, sendo que os maiores teores de nitrogênio foram observados com a aplicação de 4 t ha^{-1} de calcário (Quadro 32). A aplicação do calcário no solo auxilia no desenvolvimento do sistema radicular, mesmo quando feita superficialmente, aumentando a área de exploração e propiciando o aumento na absorção de nitrogênio (Sá, 1993; Santos et al, 1996).

No segundo ano (Quadro 32) não observou-se efeito da calagem sobre os teores de nitrogênio na folha. Na ausência da calagem o teor de nitrogênio foi 24 g kg^{-1} e com a aplicação acumulada de $5,33 \text{ t ha}^{-1}$, foi de 25 g kg^{-1} (Quadro 32). Nos dois anos de avaliação os teores de nitrogênio ficaram abaixo do teor médio para a cultura, segundo Rajj et al. (1996).

Os teores de fósforo e o potássio na folha de milho não foram alterados pelos tratamentos aplicados, nos dois anos de avaliação. O teor de potássio no primeiro ano ficou abaixo do teor médio em todos os tratamentos, já no segundo ano houve aumento generalizado dos teores de potássio, com os resultados acima do teor médio, segundo Rajj et al. 1996 (Quadro 31 e 32). Moreira et al. (2001), verificaram que os teores de nutrientes nas folhas de soja foram pouco alterados com as doses de corretivos, não tendo a concentração de N,P e K variado com a calagem em nenhuma das amostragens. Estudos de Caires et al. (1998) mostraram que a aplicação de calcário na superfície não afetou os teores de N e K em folhas de soja. Centurion (1988) também observou teores de N semelhantes em plantas de milho, sob diferentes sistemas de cultivo, mas encontrou maiores teores de P em

folhas de milho cultivadas sob sistema de semeadura direta do que nas cultivadas sob sistema convencional

A aplicação das diferentes doses de calcário no solo alterou significativamente os teores de cálcio e magnésio no solo, mas na planta não houve efeito significativo nos dois anos avaliados (Quadro 31 e 32). Ocorreu uma diferença expressiva entre os teores de cálcio do primeiro para o segundo ano, sendo que, o maior teor de cálcio na folha no primeiro ano foi no SPCS (3 g kg^{-1}) e o menor teor foi (2 g kg^{-1}) na dose zero de calcário, já no segundo ano o maior teor foi (7 g kg^{-1}) no SPCS, PICI, dose zero e $2,66 \text{ t ha}^{-1}$, e o menor foi (6 g kg^{-1}). Isto também pode ser observado para o magnésio, mas com variação menor (Quadro 31 e 32). Caires et al. (1998) não observaram aumento dos teores de Ca em folhas de soja, em função da calagem superficial. Por outro lado, em estudo de Caires et al. (1999), os teores de Ca em folhas de soja aumentaram de forma quadrática com doses de calcário aplicadas na superfície. Os autores relataram ainda que, houve maior concentração de Ca em plantas de milho cultivadas sob sistema convencional do que nas plantas cultivadas sob sistema de semeadura direta, enquanto Quaggio et al. (1998) constataram que a calagem fez com que o teor de Ca aumentasse em folhas de soja cultivadas sob sistema convencional. No trabalho de Moreira et al. (2001) houve efeito das doses de calcário e do tempo de cultivo nos teores de Mg nas folhas de soja apenas na primeira amostragem realizada. Os autores verificaram também que no solo com seis anos sob sistema de semeadura direta, a incorporação do calcário resultou no maior teor de Mg nas folhas de soja. No solo com nove anos de cultivo, a dose integral, de forma incorporada, possibilitou maior teor do que $2/3$ da mesma na superfície. Por outro lado em todos os tempos de cultivo, a aplicação superficial não modificou os teores em relação à testemunha, mas Caires et al. (1999) observaram aumentos

dos teores de Mg nas folhas de soja e trigo, após a aplicação de calcário superficialmente.

Ainda no trabalho de Moreira et al. (2001) foram encontrados maiores teores de Ca e Mg nas plantas de milho cultivadas sob sistema de semeadura convencional do que no sistema de plantio direto, atribuindo a este fato à alta absorção de potássio pelas plantas sob sistema de plantio direto. No sistema convencional, o aumento da concentração de Mg devido à calagem é comum (Bell, 1996, Oliveira et al., 1997; Quaggio et al., 1998).

Quadro 32. Teores foliares de macronutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), em g kg^{-1} , em amostras retiradas no período de florescimento do milho, cultivado no ano agrícola de 98/99.

Tratamentos Preparo do Solo (PS)	Teores de Macronutrientes - 1º ano				
	N	P	K	Ca	Mg
SPCS	22 a	2 a	15.9 a	2a	2 a
CPCS	21 a	2 a	14.4 b	3 a	2 a
PICI	22 a	2 a	14.4 b	3 a	2 a
Doses de Calcário (DC)					
0	19 b	2 a	15.3 a	2 a	2 a
2	23 a	2 a	14.8 a	3 a	2 a
4	24 a	2 a	14.5 a	3 a	2 a
	Valor de F				
Manejo da palha	0,33 ns	0,46 ns	2,92 ns	1,69 ns	9,80 ns
Doses de Calcário	20,63 ns	0,92 ns	0,87 ns	2,58 ns	3,30 ns
PS x D.C.	0,56 ns	3,34 ns	2,51 ns	0,20 ns	1,02 ns
	C.V. (%)				
Manejo da palha	8,29	21,63	6,78	20,85	14,08
Doses de calcário	10,21	20,14	9,95	22,59	31,49

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

Quadro 33. Teores foliares de macronutrientes, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), em g kg⁻¹, em amostras retiradas no período de florescimento do milho, cultivado no ano agrícola de 99/00.

Tratamentos Preparo do Solo (PS)	Teores de Macronutrientes 2º ano				
	N	P	K	Ca	Mg
SPCS	25 a	2 a	19.3 a	6 a	3 a
CPCS	24 a	2 a	20.0 a	7 a	3 a
PICI	24 a	2 a	19.5 a	7 a	3 a
Doses de Calcário (DC)					
0	24 a	2 a	19.5 a	7 a	3 a
2	25 a	2 a	19.8 a	7 a	2 a
4	25 a	2 a	19.5 a	7 a	3 a
Valor de F					
Manejo da palha	1,42 ns	1,25 ns	0,25 ns	0,74 ns	0,04 ns
Doses de Calcário	0,44 ns	1,00 ns	0,26 ns	0,21 ns	1,05 ns
PS x D.C.	0,22 ns	0,14 ns	0,47 ns	0,15 ns	1,32 ns
C.V. (%)					
Preparo de Solo	4,12	15,64	8,00	17,36	31,97
Manejo da palha	9,35	22,35	5,96	24,31	21,71

1-Médias seguidas pela mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % de probabilidade

2- Os simbolos * e ** indicam resultado significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente, e ns -não significativo

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo de culturas de inverno ou culturas utilizadas para promover a formação de camada de palha no solo para a cultura de verão é, sem dúvida um dos pontos mais discutidos entre pesquisadores e agricultores que utilizam o sistema plantio direto. Nas condições tropicais, a manutenção da palha na superfície do solo, por um longo período é extremamente delicado (assunto abordado na revisão de literatura). São vários os trabalhos de pesquisa e trabalhos de campo em nível regional para definir quais são as culturas adequadas para serem utilizadas na formação de palha. E hoje, tem-se recomendado as culturas de milheto, aveia, sorgo e até mesmo leguminosas, nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do país.

As plantas que vêm ganhando espaço neste sistema e que foram utilizadas no experimento, são as braquiárias. As vantagens destas culturas são: a grande capacidade de produção de massa seca da parte aérea e sistema radicular, cobertura do solo, biologia do solo, agressividade na formação, custo relativamente baixo de sementes, melhoria nas propriedades físicas do solo e controle de plantas daninhas. Outra vantagem indireta é a receita que estas culturas podem gerar para o sistema. A cultura da braquiária, semeada no

final de março a início de abril, após a cultura da soja ou milho, na região Sudeste e Centro-Oeste, pode produzir até 4 a 5 @/ha de carne (R\$ 180,00 a 225,00/ha). O período de pastejo nestas áreas aconteceria nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, período este que, a oferta de matéria seca das pastagens é muito baixa. No mês de outubro retiram-se os animais e após uns 15 a 20 dias realiza-se a dessecação para possibilitar o plantio da nova cultura de verão, sobre a palha da braquiária.

8. CONCLUSÕES

- Os manejos das palhadas avaliados, nos dois anos de experimento, não alteraram os atributos químicos do solo, a produção, componentes de produção e teores de macronutrientes no milho;
- As doses de calcário influenciaram as características químicas do solo (pH, H+Al, Al, Ca, Mg, V% e M.O. principalmente na camada de 0-10 cm de profundidade;
- A cultura do milho respondeu positivamente à aplicação de calcário, independentemente do modo de aplicação e do manejo da palhada;
- O calcário aplicado na superfície ou incorporado ao solo apresentou eficiência na correção da acidez de camadas superficiais e subsuperficiais, aumentando a produção de grãos de milho;

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÓMOLI, J.; MACÊDO, J.; AZEVEDO, L.G. de; MADEIRA NETTO, J. Caracterização da região do Cerrado. In: *Solos dos Cerrados: tecnologia e estratégias de manejo*. GOEDERT, W.J. (ed) Nobel: São Paulo: EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1985. p.33-74.
- ALCARDE, J. C. Características do corretivos da acidez do solo. In: Simpósio sobre aplicação de calcário na agricultura, 1, 1986, Ipanema: Fundação Cargil, 1986. P1-19.
- ALCARDE, J.C.; PAULINO, V.T.; DERNARDIN, J.S. Avaliação da reatividade de corretivos de acidez do solo. *Rev. Bras Ci. Solo* v.13, p 387-92. 1989.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C. ; ELTZ, F.L.P.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.25, p. 189-197. 2001.
- ANGHINONI, I. Épocas e modos de aplicação de corretivos nos solos. In: *CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO*, 2, 1989, Santa Maria. KAMINSKI, J.; VOLKWEISS, S. J.; BECKER, F. C. (coords.). Anais...Santa Maria: UFSM, 1989. P. 130-50.

- ANGINONI, I.; SALET, R.L. Amostragem de solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema de plantio direto. In: Neuerngerg, N.J., ed.: Conceitos e fundamentos do sistema de plantio direto. Lages, SC: SOCIDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – Núcleo Regional Sul, 1999. P.27-52.
- ASGHAR, M. & KANEHIRO, Y. Effects of sugar-cane trash and pine apple residue on soil pH, redox potential, extractable Al, Fe and MN. Trop. Agric. Trinidad, V. 57, nº3, p. 245-258, 1980.
- BARBER, S. A. Liming materials and practice. In: PEARSON, R. W. & ADAMS, F., ed. Soil acidity and liming. Madison, American Society of Agronomy, 1967. P. 125-160.
- BARBER, S. A. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. New York, Jonh Wiley, 1984. 398 p.
- BARROS, U.V.; FIGUEIREDO, J.P.; SANTINATO, R. e SILVA, O.A. Estudo comparativo do calcário dolomítico e do calcário calcinado no plantio do cafeeiro em solo Lva cerrado. XII Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, IBC, p. 105-106, 1995.
- BATAGLIA, O. C., CAMARGO, C. E. de O., OLIVEIRA, O. F. de NAGAI, V.; RAMOS, V. J. Resposta à calagem de três cultivares de trigo com tolerância diferencial ao alumínio. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.9, p. 139-47. 1985.
- BELL, P.F. Predicting liming needs of soybean using soil pH, aluminum, and manganese soil tests. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 27: 2749-2764, 1996
- BELLINGIERI, P. A. Avaliação em laboratório da eficiência de diferentes frações granulométricas de calcário agrícolas, Piracicaba, ESALQ/USP, 1983, 99P. (Tese de Doutorado)

- BERTOL, I. ; CIPRANDI, O. ; KURTZ, C. ; BAPTISTA, A. S. Persistência dos resíduos culturais de aveia e milho sobre a superfície do solo em semeadura direta. *Rev. Bras. Ci. Solo*. V.22 N.4, p.705-712. Viçosa-MG. 1998.
- BERTOL, I. ; COGO, N.P. ; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. *Rev. Bras. Ci. Solo*. V.21 N.3, p.409-418. Viçosa-MG. 1997.
- BLACK, C.A. Soil fertility evaluation and control. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 1993. 746p.
- BLEVINS, R. L.; GROVE, J. H.; KITBUR, B. K. Nutrition uptake of corn using moldboard plow or no-tillage soil management. *Commun. Soil Sci. And Plant Anal*, v. 17, p.401-417, 1986.
- BLEVINS, R. L.; MURDOCK, L. W.; THOMAS, G. W. Effect of lime application on no-tillage and conventionally tilled corn. *Agronomy Journal*, v.70, p. 322-26, 1978.
- BOHN, H.L.; McNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A., Soil chemistry. New York: John Wiley & Sons, 1979. 329 p.
- CAIRES, E. F. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: Experiências no Estado do Paraná. In: FERTIBIO 2000.Santa Maria, 2000. *Anais...* Santa Maria SBCS/UFSM: 2000b. 24P (CD Room).
- CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A. & FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 24:161-169, 2000a.

- CAIRES, E. F.; CHUERI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO. 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. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.22, 27-34, 1998.
- CAIRES, E. R.; ROSOLEM, C. A. Calagem em genótipos de amendoim *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.17, p.193-202, 1993.
- 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 *Rev. Bras. Ci. Solo*, v. 23, p. 315-27, 1999.
- CAMARGO, A O.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e desenvolvimento das plantas. Piracicaba, 1997. 132p.
- CANALLI, L.B. , ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um Latossolo Vermelho-escuro sob plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.21:99-104, 1997.
- CARVALHO, A . R . ; SILVA, S . M. T Cultura do trigo - ocorrência e controle de pragas e doenças. In: IAPAR (ed). Plantio direto no estado do Paraná. Circ. IAPAR. Londrina, 1981. p. 145-150.
- CARVALHO, W.A.; ESPINDOLA, C.R. & PACCOLA, A.A. Levantamento de solos da Fazenda Lajeado - Estação Experimental “ Presidente Médici”. Botucatu, 1983. 95 p. (Boletim científico, 1)
- CARVER, B. F.; OWNBY, J. D. Acid soil tolerance in wheat. *Adv. Agron.*,1995. v.54, p. 117-73.

- CASTRO, O.M. & DE MARIA, I.C. Plantio direto e manejo do solo. In: simpósio de Agricultura Ecológica, 1. Instituto Agronômico, Campinas, 187-220, 1993.
- CENTURION, J. F. Efeito de sistemas de preparo nas características químicas e físicas de um solo argiloso sob cerrado e na cultura de milho implantada. Piracicaba: 1988. 125 p. Tese(Doutorado em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas).Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- COSTA, A. Doses e modos de aplicação de calcário na implantação de sucessão soja/trigo em sistema plantio direto. Botucatu, 2000. 146p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.
- COVENTRY, D.R., HIRTH, J.R. & REEVES, T.G. Interactions of tillage and lime in wheat-subterranean clover rotation on acid sandy clay loam in southeastern Australia. *Soil Til. Res.*, 25: 53-65, 1992.
- CRONAN, C.S., GIRGAL, D.F. Use of calcium/aluminum ratios as indicators of stress in forest ecosystems. *J. Environ. Qual.* v.28, p 209-26, 1995.
- DAVIS, F. L. Effects of finesses of agricultural lime upon crop response. *Agron. J.*, Madison, 43:251-255, 1951.
- DEMATTÊ, J.L.I. Characteristics of brazilian soils related of higher plants. In: RUSSEL, R.S., IGUE, K., METHA, Y.R. ed. *The soil/root system in relation brazilian Agriculture*. Londrina. IAPAR, 1981. p.21-41.
- DOLLING, P.J. Effect of legume - cereal rotations on soil acidification in western australian soils. In: International Symposium on plant- soil interactions at low pH, 4, Belo Horizonte. 1995.

- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, 1999. 412p.
- ESWARAN, H.; EICH, P.; BEINROTH, F. Global distribution of soils with acidity. In: PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH: SUSTAINABLE AGRICULTURE AND FORESTRY PRODUCTION, 1996, Belo Horizonte. MONIZ A.C., FURLANI A.M.C., SCHAFFET, R.E., FAGERIA, N.K., ROSOLEM, C.A., CANTARELLA, H. (ed) PROCEEDINGS... Viçosa/Campinas: Brazilian soil Science Society, 1997. p.159-d64.
- FRANCHINI, J.C., MALAVOLTA, E., MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.23, p.533-42, 1999.
- GONZALES-ERICO, E., KAMPRATH, E. J.; NADERMAN, G.C. & SOARES, W.V. Efect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:1155-1158, 1979.
- HOYT, P.B.; TURNER, R.C. Effects of organic materials added to very acid soils on pH, aluminium, exchangeable NH_4 and crop yields. *Soil Science*. V. 119, n.3 p.227-237, 1975.
- HUE, N.V. Correcting soil acidity of a highly weathered ultisol with chichen manure and sewage sludge. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.23, n.3&4, p.241-264, 1992.
- HUE, N.V.; AMIEN, I. Aluminium detoxification with green manures. *Commun. In Soil Sci. Plant Anal.*, v.20, n.15&16, p. 1499-1511, 1989.
- KLEPPER, B. Rott-shoot relationships. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KADAFKI, V. (ed) *Plant roots: the hidden half*. New York: Marcel Decker, 1991. P. 265-86.

- KOCH, D. W. & ESTES, G. O. Liming rate and method in relation to forage establishment – crop and soil chemical responses. *Aron. J.*, 78:567-571, 1986.
- KOCHHANN, R.A. & SELLES, F. O solo e sistema de manejo conservacionista. In: FERNANDES, J.M.; FERNANDEZ, M.R.; KOCHHANN, R.A.; SELLES, F. & ZENTNER, R.P. Manual de manejo conservacionista do solo para os Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 1991. p.43-52 (Documento, 1)
- LOPES, A. Solos sob “*cerrado*”. Características, propriedades e manejo. Piracicaba, POTAFOS, 1983. 162 p.
- McMAHON, M.A E THOMAS, G. W. Anion leaching in two kentuchy soils under coventional tillage and a killede-sod mulch. *Agron. J.*, Madison, v.68, p. 437-442, 1976.
- MALAVOLTA, E. ; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba. 1997. 201p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Principlies of plant nutrition. Worblaufen-Ber/ Switzerland, International Potash Institute, 1982. 3 ed. 655p.
- MEYER, T.A & VOLK, G.W. Effect of particle size of limestones em soil reaction exchageable cations and plant growth. *Soil Sci.*, Baltimore, 78:67-52, 1952.
- MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A. & BOHNEN, H. Recomendações de adubo e calcário para os solos e culturas do Rio Grande do sul. 2.ed. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do sul, 1971.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo: *Rev. Bras. Ci. Solo*, 17: 411-416, 1993.

- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. ; SANTOS, J.C.F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW Ph, 4, 1996, Belo Horizonte. *Abstracts...* Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CPAC/EMBRAPA, 1996. P.8.
- MONTOYA, L. J. Aspectos de economicidade do manejo do solo em plantio direto. In: F. De pesquisa IAPAR nº 57. Londrina, 1984. P. 47-48.
- MOREIRA, S.G. ; KIEHL, J.C. ; PROCHNOW, L.I. ; PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.25: p.71-80, 2001.
- MOSCHLER, W.W.; MARTENS, D.C.; RICH, C.I. & SHEAR, G.M. Comparative lime effectes on continuous no-tillage and conventionally tilled corn. *Agron. J.*, 65:781-783, 1973.
- MUCHOVEJ, R. M. C., BORGES, A. C., NOVAES, R. F. Mineral nutrition composition of soybean grown in soil acid as affected by rate and Ca:Mg ratio of liming material. *Revista Ceres*, v.40, p. 162-75, 1993.
- MUZILLI, O. A fertilidade do solo no sistema plantio direto: bases para o manejo sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1. Ponta Grossa. *Anais...*Ponta Grossa: Associação de Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000, p 1-16.
- MUZILLI, O. Influência do plantio direto comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*. V.7, p. 95-102, 1983.
- MUZILLI, O. Princípio e perspectivas de expansão. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Londrina: IAPAR, 1981. p.11-7 (Circular IAPAR,23).

- MUZILLI, O. Fertilidade do solo em plantio direto. In: FANCELLI, P.L.; TORRADO, P.V. & MACHADO, J.ed. Atualização em plantio direto. Campinas, Fundação Cargill, 147-158, 1985.
- NATALE, W. & COUTINHO, E. L. M. Avaliação da eficiência agrônômica de frações granulométricas de um calcário dolomítico. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 18:55-62, 1994.
- NICOLODI, M. ; SALET, R.L. ; BISSO, FP. Existe repetibilidade entre as amostras compostas, coletadas com trado, no sistema de plantio direto? In: FERTIBIO 2000. Anais... Santa Maria SBCS/UFMS. 2000. 3P. (CD rom).
- NOVAES, R.F; NEVES, J.C.L.; SEDYAMA, T. Deficiência de manganês em plantas de soja cultivadas em solo de cerrado. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.13, p. 199-204, 1989.
- OLIVEIRA, E. L.; PARRA, M. S.; COSTA, A. Resposta da cultura de milho, em um latossolo vermelho escuro álico, à calagem *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.21, p.65-70, 1997.
- OLIVEIRA, E.L. & PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. *Soil Til. Res.*, v.38, p.47-57, 1996.
- OLMOS, I. L. J., CAMARGO, F.S. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil sua caracterização e distribuição. *Ciência e Cultura*, v.28, n.20, p.171-80, 1976.
- PATRICK, JR. ; W. H. & WYATT, R. Soil nitrogen loss as a result of alternate submergence and drying. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* V. 28, p. 647-653, 1964.
- PAVAN, M. A.; MIYASAWA, M. Mobilização de calcário no solo através de resíduo de aveia. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE AVEIA, 18. Londrina,PR, 1998. Palestras. Londrina: IAPAR, 1998. p 72-79.

- PÍPOLO, E. P. Avaliação de linhagens de soja quanto a tolerância ao alumínio tóxico e eficiência na utilização de fósforo. In: RESULTADOS DE PESQUISA DA EMBRAPA SOJA 1997. Londrina, 1998. P.24-5. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 118).
- PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema de plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo*. v.22, p. 675-84, 1998.
- QUAGGIO, J. A ; GALLO, P.B. ; FURLANI, A. M. C. ; MASCARENHAS, H. A.A. Isoquantas de produtividade de soja e sorgo para níveis de calagem e molibdênio. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 22: 237-344, 1998.
- QUAGGIO, J. A. GALLO, P. B. & MASCARENHAS, H. A. A. Agronomic efficiency of limestones with different acid-neutralizing capacity, under field condition. *Plant Soil Interactions at low pH*, Netherlands, 491-146, 1995.
- 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. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.6, p.113-118, 1982 b.
- QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.6, p.189-194, 1982 a.
- RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A. Método de Análise de Solo para Fins de Fertilidade. Campinas. IAC, 1983. 39p. (IAC, Boletim Técnico, 81).
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico 100)

- RECHCIGL, J.E.; WOLF, D.D.; RENEAU Jr.; R.B. & KROONTJE, W. Influence of surface liming on the yeild and nutrient concentration of alfalfa established using no-tillage techniques. *Agron. J.*, 77:956-959, 1985.
- REICHARDT, K. *Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas*. Piracicaba: USP/ESALQ. Depto. Física e Meteorologia, 1996, 2 ed. 505p.
- RHEINHEMER, D. dos S.; SANTOS, E. J. da S.; KAMISKI, J.; XAVIER, F. M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. *Ciência Rural*. Santa Maria: V. 30, n.2, p. 263-68, 2000.
- RITCHEY, K. D.; SILVA, J.E.; SOUZA, K.M.G. Lixiviação de cálcio e magnésio em solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15, Campinas, 1983. *Anais...*Campinas: SBCS, 1983. p 109-125.
- ROS, C.O. & AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.20: p.131-138, 1996.
- 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.
- SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema de plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E. & CARVALHO, J. G., (eds). Inter-relação fertilidade, biologica do solo e nutrição de plantas. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. P. 267-319.

- SÁ, J.C. DE M, PETRERE, C. Desenvolvimento radicular da cultura do milho em solos sob plantio direto da região dos Campos Gerais e do Planalto Gaúcho. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro, PR. *Anais...* Castro: Fundação ABC para Assistência e Divulgação Agropecuária, 1995. P. 172-204.
- SÁ, J.C.M. Manejo de fertilidade do solo no plantio direto. Ponta Grossa, Fundação ABC, 1993. 96 p.
- SALET, R. L. *Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto*. Porto Alegre, 1994. 110p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SALET, R.L.; KRAY, C.H.; FORNART, T.G.; CONTE, E.; KOCHHANN, R.A. ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal e amostragem de solo no sistema plantio direto. In: REUNIÃO SULBRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1.; 1996, Lages. Resumos. Lages NRS/SBCS, 1996. P.72-74.
- SANCHES, P.A. ; BANOV, D.E.; FILLACHICA, J.H.; NICHOLAIDES, J.J. Amazon basin solis: management for continuous crop produciton. *Science*, Washington, v.216, p.821-824, 1982.
- SANCHES, P.A. & SALINAS, J.A. Suelos ácidos. Sociedade Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1983. Bogotá, Colômbia, 93p.
- SANTOS, E.J.S.; XAVIER, F.M.; RHEINHEIMER, D.S. Aplicação de calcário em superfície e incorporado em campo nativo. In: Congresso Latino Americano de Ciência do solo, 13, Águas de Lindóia, 1996. Resumos Expandidos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. (CD-ROM)

- SANTOS, J. C. F. *Mobilização de cálcio e alumínio em solos ácidos por compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais*. Piracicaba: 1997. 72p. Tese (Doutorado em Ciências/Energia Nuclear na Agricultura). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- SCHICK, J. ; BERTOL, I. ; BATISTELA, O. ; BALBINOT JÚNIOR, A. A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico Alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo; I . Perdas de solo e água. *Rev. Bras. Ci. Solo*. V.24 n.2. , p.427-436. Viçosa-MG. 2000.
- SEGANFREDO, M. L. ; ELTZ, F. L. F. ; BRUM, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo*. V.21 n.2. , p.287-291. Viçosa-MG. 1997.
- SCHLINDWEIN, J.A. & ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal de atributos químicos e amostragem do solo no sistema plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo*. V.24 n.1. , p.85-91. Viçosa-MG. 2000.
- SHEAR, G.M. & MOSCHLER, W.W. Continuous corn by the no-tillage and continuous tillage methods: a six-year comparison. *Agron. J.*, Matison, 58(1): 147-148, 1969.
- SHUMAN, L.M.; MacCRACKEN, D.V. Tillage, and poultry litter effects on plant concentrations of zinc, manganese and copper. *Journal of Plant Nutrition*, v.22, n.3, p. 609-20.
- SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo de solo no seu nível de fertilidade. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 9 (3):249-254, 1985.

- SOUZA E. A. & NEPTUNE, A. M. L. Efeitos da granulometria de calcário dolomítico sobre as propriedades químicas de um latossolo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 3:120-125, 1979.
- SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência no cerrado. In: *FERTIBIO* 2000. Anais...Santa Maria SBCS/UFSM..2000. 10p. (CD rom).
- SOUZA, L.F. de. Máquinas para as distribuição e incorporação de calcário. In: *CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO*, 2, 1989, Santa Maria. KSMINDKI, J.; VOLKWEISS, S. J.; BECKER, F. C. (coords). Anais... Santa Marina: UFSM, 1989. P.200-24.
- SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J.; LEITE, S.A.S. & CHELLI, R. A. Influência dos manejos convencional, plantio direto e uso do adubo verde no inverno, sobre a acidez ativa e potencial do solo. In: Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, 13, Águas de Londóia, 1996. Resumos expandidos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. (CD-ROM)
- SWARUP, A . Influence of organic matter and flooding on the chemical and eletrochemical properties of sodic soil and rice growth. *Plant and Soil*, v. 106, p. 135-141, 1988.
- TAKKAR, P.N. Effect of organic matter on soil iron and manganese. *Soil. Sci.*, v. 108, p. 108-112, 1969.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C. Escolha do corretivo da acidez do solo. In: *CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO*, 2, 1989, Santa Maria. KAMINSKI, J.; VOLKWEISS, S. J.; BECKER, F. C. (coords.). *Anais...* Santa Maria: UFSM, 1989. p. 108-29.

- TISDALE, S. L. & NELSON, W. L. Soil Fertility and Fertilizers. Third ed., 1985, 694p.
Macmillan Publishing Com. Inc., New York.
- TORRES, E.; SARAIVA, O.F.; GALERANI, P.R. Manejo do solo para culturas da soja.
Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1993. 71p. (EMBRAPA-CNPSO. Circular Técnica, 12).
- UEXKÜLL H.R. von, MUTERT, E. Global extent, development and economic impact of acid soils. *Plant and Soil*, 17(1), p.5-19, 1995.
- VEDOATO, R. A. Princípios básicos de plantio direto. In: . In: FANCELLI, P.L.; TORRADO, P.V. & MACHADO, J.ed. Atualização em plantio direto. Campinas, Fundação Cargill, 147-158, 1985.
- VERLENGIA, L. & GARGANTINI, H. Estudo sobre a eficiência de diferentes frações granulométricas de calcário no solo. *Bragantia*, Campinas, 31:119-128,1972.
- WAMBEKE, A. van. Formation, distribution and consequence of acid soils in agricultural development. In: WRICHT, M.J., FERRARI, S.A. *Plant adaptation to mineral stress in problem soil*. Cornell Univ. Agri. Exp. Stn., Ithaca, NY., 1976. P.15-20.
- WATANABE, F. S. ; OLSEN, S. R. & NOGGLE, J. C. Ionic balance and growth of plants. *Versl. Landbonwk. Onderez.* 68.15, 68p., 1963.
- WEIRICH NETO, P.H. ; CAIRES, E. F. ; JUSTINO, A. ; DIAS, J. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. *Ciência Rural*, v. 30, n.2, 2000. Santa Maria-RS.
- WOLF, D.D. , STARNER, D.E. & Di PAOLA, L.G. No-till alfafa production: Limestone amendment for acid soil. *J. Prod. Agri.*, 7: 490-494, 1994.
- ZIGLIO, C.M.; MIYAZAWA, M. & PAVAN. Formas orgânicas e inorgânicas de mobilização do cálcio no solo. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, v.42, p.257-62, 1999.

ZOBEL, R. W.; KOCHIAN, L. V.; TOULEMONDE, T. G. Plant root systems. In: REETZ,

J. R.; H. F. Proceedings of the roots plants nutrition coferece. Urbana: USDA/ARS,

1992. P. 30-40.