

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

**EFEITO DE RESÍDUOS VEGETAIS DE MILHETO
(*Pennisetum americanum*) E DA CALAGEM EM ALGUMAS
PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM NITOSSOLO VERMELHO EM
SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA**

CRISTIANO CONEGLIAN

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Agricultura.

BOTUCATU-SP
Agosto – 2002

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

**EFEITO DE RESÍDUOS VEGETAIS DE MILHETO
(*Pennisetum americanum*) E DA CALAGEM EM ALGUMAS
PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM NITOSSOLO VERMELHO EM
SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA**

CRISTIANO CONEGLIAN

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof^a. Dr.^a. Maria Helena Moraes

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Agricultura.

BOTUCATU-SP
Agosto – 2002

BIOGRAFIA DO AUTOR

Cristiano Coneglian, nascido aos 13 de dezembro do ano de 1963, na cidade de Agudos, Estado de São Paulo, iniciou suas atividades nas Ciências Agrárias no ano de 1983, ao ingressar na Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, Campus de Botucatu.

Como discente, foi bolsista pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, desenvolvendo pesquisas na área de Fitotecnia, no Departamento de Ciências do Solo. Ainda durante o período de graduação, realizou diversos estágios objetivando uma formação abrangente e dirigida à extensão rural.

Como profissional, iniciou suas atividades como gerente de filial de empresa agrícola em 1987, ficando responsável pela administração de fazenda em Lunardelli, interior do Estado do Paraná, lidando diretamente com as principais culturas em seus aspectos práticos. Posteriormente, atuou como coordenador da área agrícola, sediado em Cafelândia, Estado de São Paulo, permanecendo na empresa até 1990. Após este período, tornou-se instrutor de informática, atuando em escolas da cidade de Lençóis Paulista.

Em 1997, tornou-se engenheiro agrônomo da Casa da Agricultura de Lençóis Paulista, através de convênio com a Prefeitura Municipal e Secretaria Estadual da Agricultura e Abastecimento, e, após ter sido aprovado em Concurso Público Municipal, deu continuidade ao trabalho na coordenação de ações voltadas à gestão ambiental, sendo responsável técnico por diversos projetos de cunho econômico, ambiental e social do município.

Aos meus pais:

Edo Jesus Coneglian

Nancy Scimini Coneglian

OFEREÇO

À minha esposa:

Regina Márcia Marciquevik Coneglian

Ao meu filho:

João Pedro Marciquevik Coneglian

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar presente em todos os momentos de minha vida.

Aos meus pais, pelo amor e apoio incondicional em todas as fases de minha vida.

A minha esposa, pelo seu amor, carinho e compreensão, e ao meu filho, por sua alegria de viver, motivos de minha felicidade.

Aos colegas de trabalho, por compreenderem e procurarem compensar minha ausência nos momentos de dedicação ao mestrado.

Aos colegas de estudo, pela amizade e colaboração.

Aos amigos José Alberto Martins e Leandro Grava de Godoy, pela valiosa contribuição profissional.

Aos professores da Faculdade de Ciências Agronômicas, pela amizade e profissionalismo, desde os tempos de graduação.

A Seção de Pós-graduação, pelo carinho no atendimento e dedicação no acompanhamento de minhas atividades.

A todos funcionários da Faculdade de Ciências Agronômicas, pelo empenho na prestação dos serviços.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	VIII
LISTA DE FIGURAS	X
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	8
2.1 Semeadura direta emergencial.....	8
2.2 Matéria orgânica em sistema de semeadura direta	10
2.3 Porosidade, densidade do solo, infiltração e retenção de água em sistema de semeadura direta	13
2.4 Calagem e adubação superficial em sistema de semeadura direta	20
2.5 Estabilidade de agregados	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1 Localização da área experimental e caracterização do local	30
3.2 Delineamento experimental, tratamentos empregados e análise estatística	31
3.3 Caracterização física e química inicial e tratamentos.....	35
3.4 Instalação e condução do experimento	39
3.5 Cultivar de milho	42
3.6 Cultivar de soja.....	43

3.7	Cultivar de milho	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	Histórico das culturas	46
4.2	Densidade do solo.....	48
4.3	Classe e estabilidade de agregados.....	53
4.4	Macro e microporosidade	57
4.5	Matéria Orgânica	63
4.6	Alterações e influências nas características químicas	65
4.6.1	pH do solo e teores de H + Al	65
4.6.2	Cálcio e magnésio.....	69
4.6.3	Fósforo e Potássio.....	72
4.6.4	Soma de bases e saturação por bases.....	76
4.7	Considerações finais	76
5	CONCLUSÕES	79
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1 Temperatura mínima, máxima e média, em graus Celsius, do período de 1999 a 2001. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.	32
2 Precipitação pluvial mensal, em milímetros, do período de 1999 a 2001. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.	34
3 Teores iniciais de areia, silte e argila, e densidades do solo e de partículas, nas quatro camadas. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.	37
4 Diâmetro Médio Ponderado – DMP, microporosidade, macroporosidade e porosidade total inicial, nas quatro camadas. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.....	38
5 Características químicas iniciais do solo, nas profundidades de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.....	39
6 Produção de matéria seca e teores de macronutrientes na parte aérea do milho e soja, em sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2001.	47
7 Extração estimada de macronutrientes pela parte aérea do milho e soja, em sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2001.....	47
8 Densidade do solo em diversas profundidades, em função dos tratamentos, após vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2001.	49

9	Diâmetro médio ponderado e agregados > 2 mm no solo em diversas profundidades, em função dos tratamentos, após vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2001.	54
10	Macroporosidade e microporosidade do solo em diversas profundidades, em função dos tratamentos, após vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2001.	58
11	Teores de matéria orgânica no solo em diversas profundidades, em função dos tratamentos, após vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2001.	64
12	Valores de pH e teores de H+Al no solo em diversas profundidades, em função dos tratamentos, após vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2001.	66
13	Teores de cálcio e magnésio no solo em diversas profundidades, em função dos tratamentos, após vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2001.	70
14	Teores de fósforo e potássio no solo em diversas profundidades, em função dos tratamentos, após vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2001.	73

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Temperatura média mensal (°C) do período de 1999 a 2001. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.	33
2 Precipitação pluvial mensal (mm) do período de 1999 a 2001. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.	35
3 Área experimental em 2000, durante o cultivo da soja. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.	35
4 Materiais utilizados na coleta de amostras de solo da área experimental, em 2000. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.	36
5 Densidade do solo em diferentes profundidades (médias), aos vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta, para caracterização inicial (INI) e tratamentos sem vegetação sem calcário (SV), sem vegetação com calcário (SVC), milho sem calcário (M) e milho com calcário (MC).	51
6 Diâmetro médio ponderado (DMP) e agregados > 2 mm em diferentes profundidades (médias), aos vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta, para caracterização inicial (INI) tratamentos sem vegetação sem calcário (SV), sem vegetação com calcário (SVC), milho sem calcário (M) e milho com calcário (MC).	55
7 Microporosidade e Macroporosidade em diferentes profundidades (médias), aos vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta, para	

- caracterização inicial (INI), tratamentos sem vegetação sem calcário (SV), sem vegetação com calcário (SVC), milho sem calcário (M) e milho com calcário (MC).....59
- 8 Teores de matéria orgânica em diferentes profundidades (médias), aos vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta, para caracterização inicial (INI), tratamentos sem vegetação sem calcário (SV), sem vegetação com calcário (SVC), milho sem calcário (M) e milho com calcário (MC).65
- 9 Efeito da aplicação de calcário sobre os valores de pH e teores de H⁺Al em diferentes profundidades (médias), aos vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta, para caracterização inicial (INI), tratamentos sem vegetação sem calcário (SV), sem vegetação com calcário (SVC), milho sem calcário (M) e milho com calcário (MC).67
- 10 Efeito da aplicação superficial de calcário sobre os teores de cálcio e magnésio, em diferentes profundidades (médias), aos vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta, para caracterização inicial (INI), tratamentos sem vegetação sem calcário (SV), sem vegetação com calcário (SVC), milho sem calcário (M) e milho com calcário (MC).71
- 11 Teores de fósforo e potássio em diferentes profundidades (médias), aos vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta, para caracterização inicial (INI), tratamentos sem vegetação sem calcário (SV), sem vegetação com calcário (SVC), milho sem calcário (M) e milho com calcário (MC).75

RESUMO

As alterações nas características físicas no perfil de um NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, em função da presença da cobertura vegetal de milheto (*Pennisetum americanum*) com e sem calagem superficial, na implantação do sistema de semeadura direta, foram estudadas em experimento conduzido nos anos agrícolas de 1999/2000 e 2000/2001, na Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu/UNESP. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas de 6 m x 10 m foram constituídas de milheto (*Pennisetum americanum*) e sem milheto como vegetação de cobertura, com uma única aplicação superficial inicial de 3,1 t ha⁻¹ de calcário na metade de cada parcela, visando saturação por bases (V%) de 70%, após dessecação do milheto. A semeadura direta da soja cv. IAC-19, no primeiro ano agrícola como cultura de safrinha, e do milho cv. AG 9010, no segundo, ocorreram no verão. Os tratamentos foram analisados para os atributos físicos e químicos do solo após a rolagem do milho, no período de inverno do ano de 2001, aos vinte e quatro meses após a instalação do experimento, para as camadas de 0-

0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Nas análises físicas determinaram-se os dados de densidade do solo, estabilidade dos agregados, agregados > 2 mm, macro e microporosidade, e nas análises químicas os macronutrientes, matéria orgânica, pH do solo, H+Al, soma de bases e saturação por bases. As propriedades físicas estudadas não sofreram influência dos resíduos vegetais e da calagem superficial, exceto quando considerada a influência radicular das culturas na distribuição da porosidade, nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. O diâmetro médio ponderado, na camada superficial do solo, do tratamento com milheto, apresentou tendência de alteração devido à ação da semeadora, apresentando valores médios inferiores aos obtidos na amostragem inicial e tratamento sem milheto. A calagem superficial alterou os valores de pH e os teores de cálcio, magnésio e H+Al nos cinco primeiros centímetros de solo, não exercendo influência significativa nas camadas inferiores. Os resultados obtidos indicam alto risco na implantação de sistemas de semeadura direta sem prévio tratamento físico e químico do solo, mesmo em solos de boa fertilidade.

EFFECT OF MILLET RESIDUES (*Pennisetum americanum*) AND LIMING IN SOME PHYSICAL PROPERTIES OF A “NITOSSOLO VERMELHO” IN NO-TILLAGE SYSTEM. Botucatu, 2002. 90p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CRISTIANO CONEGLIAN

Adviser: MARIA HELENA MORAES

SUMMARY

The physical alterations of a “NITOSSOLO VERMELHO Distroférico” due to the presence of millet, with and without surface liming, in the implantation of direct sowing, were studied in the crop years 1999/2000 and 2000/2001 at Lageado Experimental Farm in the College of Agricultural Science, Botucatu Campus/UNESP (State University of São Paulo). Plots measuring 6 m x 10 m, with and without millet, taken at random and subdivided, with four repetitions, were used. The pieces of land, with only one initial superficial application – limed with 3.1 t ha⁻¹ in the first half of every piece of land, aiming 70% base saturation (V%), after the desiccation of the millet. The direct sowing of the soybean grains cv. IAC-19 in the first crop year as an out-of-season culture, and of corn cv. AG 9010, in the second year, were made in summer. The treatments were analyzed in order to determine physical and chemical characteristics after the corn management in the winter of 2001, twenty-four months after the beginning of the experiment, at the following layers: 0-05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. The physical examinations determined soil density,

aggregates stability, aggregates > 2 mm, macro and microporosity, whereas the chemical analysis determined the macronutrients, organic matter, soil pH, H+Al, base sum and base saturation. The studied physical properties didn't suffer influence of the vegetable residues and surface liming, except when considered the influence of the crop roots in the distribution of the porosity in the layers of 0,10-0,20 and 0,20-0,40 m. The mean weight diameter of the outer layer of soil treated with millet showed some alterations due to the sowing machine, presenting mean values inferior to the original sampling and treatment without millet. The surface liming altered pH values and calcium, magnesium and H+Al contents in the first 0,05 m of soil depth, but that did not happen to the deeper layers. Results indicate that there is a high risk in the implantation of no-tillage system without previous chemical and physical treatment of the soil, even in fertile land.

Keywords: Density, porosity, aggregate stability, calcium, corn.

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade da agricultura, através da adoção de práticas conservacionistas que minimizem a degradação dos solos e reduzam suas perdas, tem atraído cada vez mais os profissionais da área agrícola, principalmente pelas recentes experiências, bem sucedidas, na prática da semeadura direta.

Essa prática, também chamada de plantio direto, é a que tem apresentado maior receptividade e maiores índices de aceitação entre os pequenos agricultores. Tem em sua essência o equilíbrio do ecossistema, já que possibilita a auto-sustentação em termos econômicos e sociais, pela adoção de sistemas de produção que promovam o revolvimento mínimo do solo e a permanência dos resíduos culturais sobre a superfície, fatores importantes para a redução dos efeitos impactantes dos agentes de degradação. Seu marco de desenvolvimento teve início em meados da década de 80, quando foi lançado o primeiro protótipo de semeadora-adubadora de plantio direto e tração animal "Gralha Azul" (Ribeiro & Miranda, 2000), pela área de engenharia agrícola do IAPAR (Sade,

2001). No entanto, a adoção do uso de novas tecnologias pressupõe o estabelecimento de novas metodologias, nem sempre de conhecimento do pequeno agricultor.

Assim, em virtude das diferenças observadas entre os sistemas de cultivo, conclui-se que para o manejo efetivo do solo em plantio direto, na maioria dos casos, não poderão ser utilizadas as mesmas estratégias ou medidas adotadas no sistema convencional. As melhores condições de umidade por períodos mais longos, menor superfície de contato solo-nutrientes, menor variação térmica, maior influência da matéria orgânica, maior atividade biológica e maior capilaridade são alguns dos benefícios trazidos pelo sistema de semeadura direta, que devem ser compreendidos e explorados dentro da realidade de cada região.

A passagem direta do sistema de preparo convencional para o sistema de semeadura direta pode comprometer as facilidades de correção física do perfil do solo. Uma das possíveis justificativas para esta migração direta é o fato das culturas, muitas vezes, não responderem com maiores produtividades à calagem ou adubações nos solos com boa fertilidade. Acredita-se, também, que é na diversidade de fatores e condições existentes nas regiões brasileiras, em todos os seus aspectos, que se pode encontrar respostas para o sucesso de muitos agricultores familiares.

Como são muitos os pequenos agricultores que migram diretamente do sistema de preparo convencional para o sistema de semeadura direta, sem as devidas correções sugeridas, e pretendendo não mais gastarem tempo e energia no preparo convencional do solo, é de se estranhar a existência de poucos trabalhos desenvolvidos nestas condições.

Assim, o objetivo do trabalho foi de contribuir para a disponibilização de novas informações sobre a tecnologia de plantio direto, através da avaliação da influência

da palhada do milho e da calagem superficial, em algumas propriedades físicas do solo ao longo do perfil, em sistema de semeadura direta, implantado sem prévio condicionamento do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Semeadura direta emergencial

Segundo Cardoso (1998), é da maior importância que se corrijam previamente os principais fatores que limitam a produção. Tanto o solo como o subsolo devem ser corrigidos de modo a neutralizar o alumínio tóxico e a elevar a disponibilidade de cálcio em toda a massa na qual se desenvolverão as raízes.

A semeadura direta emergencial é aquela feita sobre áreas já preparadas de maneira convencional, mas que tenham tido atrasos no plantio, permitindo a germinação de novas sementeiras de ervas daninhas. As operações de repasse de grade e niveladora são, então, substituídas pela aplicação de herbicidas. As principais vantagens da semeadura direta emergencial são redução do custo de produção e dos impactos negativos, tanto no solo como no meio ambiente, além do aumento da produtividade dos trabalhos (COOAGRI, 1997).

A redução do custo de produção é justificada pelo fato das ervas estarem em estágio inicial de crescimento, com a maioria das sementes presentes no solo já germinadas. Com a eliminação anterior das ervas, e a nova germinação e reinfestação dificultadas, tem-se a possibilidade de condução de cultivos sem ou com pouco uso de herbicidas. A semeadura direta permite que se trabalhe em situações onde no plantio convencional seria inadequado; a semeadura direta na palha requer apenas algumas horas de sol para permitir tanto a aplicação de dessecantes como o plantio sobre o mato dessecado. A redução no impacto negativo se dá devido à eliminação de preparos com o solo molhado, momento em que são mais prejudiciais (COOAGRI, 1997).

Em muitos casos, esta semeadura emergencial está relacionada à implantação do sistema de semeadura direta na propriedade, quando o agricultor passa de um sistema para o outro, sem a devida adequação dos atributos químicos do solo. Esta condição tem sido pouco estudada, uma vez que a correção do solo, antes da implantação do sistema de semeadura direta, é divulgada como fator de sucesso da prática.

Os resultados de pesquisa, feita em Latossolo Roxo, indicam que no sistema de monocultivo em Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo, a evolução do sistema de semeadura na palha (plantio direto temporário) para a semeadura direta permanente pode não ser vantajosa, considerando-se apenas a produção de grãos. A sucessão soja-milho "safrinha", visando a economia de tempo, provoca a compactação do solo devido às operações agrícolas feitas com o solo muito úmido (Duarte et al., 1999).

2.2 Matéria orgânica em sistema de semeadura direta

A matéria orgânica encontrada no solo tem fundamental influência nas propriedades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas, podendo ser encontrada em diferentes estágios de decomposição. Um manejo padronizado de solo tende a resultar em estabilidade do nível de matéria orgânica. Caso contrário, alterações no tipo de manejo do solo alteram o equilíbrio para pouco acima ou pouco abaixo do anterior (Kiehl, 1979).

O incremento da matéria orgânica no perfil do solo contribui para a melhoria das características físico-químicas do solo, pois esta e os minerais de argila são os agentes que mais contribuem para a agregação (Kiehl, 1985), além da influência dos sesquióxidos de ferro e alumínio como agentes cimentantes das partículas. A formação de complexos em favor da estruturação é resultado da interação entre colóides orgânicos e inorgânicos do solo, e, quanto menor o teor de argila, maior é a necessidade de matéria orgânica para se ter o efeito agregante das partículas do solo (Kiehl, 1979).

A passagem de uma condição natural para a de cultivo implica em alterações físicas e químicas no perfil do solo, basicamente regidas pelo sistema e nível de manejo. Entende-se por sistemas de manejo as práticas agrícolas, como irrigação, semeadura direta e rotação de culturas, enquanto níveis de manejo às condições tecnológicas utilizadas (Tognon et al., 1997).

A adoção de sistemas de manejo com menor revolvimento tem proporcionado acúmulo de materiais orgânicos, e uma alteração gradativa positiva na maioria dos atributos do solo. Portanto, a recuperação da estabilidade estrutural das áreas degradadas deve estar associada a um sistema adequado de rotação de culturas, que proporcione

continuamente uma cobertura na superfície, por resíduos culturais e/ou por plantas em fase vegetativa (Ros et al., 1997).

Tognon et al. (1997), trabalhando com diversos Latossolos Roxos de textura argilosa, na região de Guaíra, Estado de São Paulo, submetidos aos mais variados sistemas de manejo e cultivo, não encontraram diferenças significativas de teores de matéria orgânica nos tratamentos. Dentre os sistemas de manejo, encontravam-se semeadura direta e preparo convencional, irrigados ou não, além de áreas testemunhas com cerrado e mata (floresta subtropical).

O acompanhamento da decomposição da matéria orgânica, nos solos anteriormente citados, apenas permitiu a Tognon et al. (1997) concluir que houve uma maior redução generalizada nos teores na área onde a vegetação original era a floresta subtropical, em comparação com as áreas de cerrado. As altas temperaturas da região e a irrigação foram consideradas os principais fatores de oxidação da matéria orgânica. Greenland e Nye (1959), citado por Tognon et al. (1997), observaram que a constante decomposição da matéria orgânica em floresta é de 52 g Kg^{-1} em ambiente údico, e de 13 g Kg^{-1} em região de cerrado. Nenhum dos tratamentos acompanhados por Tognon et al. (1997) foi capaz de incrementar o teor de matéria orgânica do solo, além daquele obtido nas áreas de mata preservada, exceto para um dos tratamentos sob irrigação, entre 0,30-0,50 m de profundidade. Sendo assim, não houve a constatação de incrementos no teor de matéria orgânica conforme observado por outros pesquisadores.

A não diferenciação do teor da matéria orgânica entre tratamentos também foi observada por Eltz et al. (1989), em um Latossolo Bruno álico, textura argila, devido ao clima frio da região de Guarapuava, Estado do Paraná, onde se encontrava instalado

o experimento. Neste caso, os teores de matéria orgânica mantinham-se elevados em todos os tratamentos após seis anos e meio de experimentação, e apenas o primeiro centímetro do tratamento conduzido com semeadura direta apresentou diferença significativa, devido ao não revolvimento do solo.

No entanto, muitos autores têm constatado o incremento da matéria orgânica em sistemas de menor revolvimento do solo, de média a longa duração (Muzilli, 1983; Merten & Mielniczuk, 1991; Campos et al., 1995; Ros et al., 1997; Castro Filho, 1998; Cosentino et al., 1998; Silva et al., 2000), principalmente na camada superficial em sistema de semeadura direta.

Em um ensaio de campo, realizado em um solo Argiudol Típico cultivado com milho, em Cordoba, Argentina, foi estudado o efeito de três sistemas de cultivo: semeadura direta, cultivo mínimo e preparo convencional, no carbono orgânico, carbono da biomassa microbiana, estabilidade estrutural, densidade dos agregados e porcentagem dos macroagregados maiores que 2 mm. O estudo revela que os parâmetros físicos do solo estão claramente relacionados com a fração do carbono em superfície, fato também observado por Sá et al. (2000); em camadas mais profundas, o efeito destes componentes não ficou esclarecido (Cosentino et al., 1998). Os autores encontraram variações significativas na estabilidade de agregados em água, expressas através da variação no diâmetro médio ponderado (DeltaMWD) entre os sistemas de cultivo ($P < 0,0001$). Analisando cada amostra em profundidade, separadamente, ambas as camadas mostraram valores de DeltaMWD menores no sistema de semeadura direta, o que demonstra uma maior estabilidade estrutural. O cultivo convencional apresentou a maior DeltaMWD, e o cultivo reduzido valores intermediários.

No entanto, tão ou mais importante que a presença de matéria orgânica no sistema de semeadura direta é a reciclagem de nutrientes promovida pelas coberturas vegetais. A manutenção e/ou adição de matéria orgânica no solo, através das plantas de cobertura e resíduos orgânicos, tendem a promover com o tempo, dentre outros benefícios, maior capacidade de armazenamento de água, formação de complexos orgânico-minerais, redução das perdas de nutrientes através da reciclagem, aumento da CTC e melhoria do desenvolvimento e rendimento final das culturas (Amado, 2000; Calegari, 2000; Chueiri & Vasconcellos, 2000).

2.3 Porosidade, densidade do solo, infiltração e retenção de água em sistema de semeadura direta

O espaço poroso é de importância fundamental para a movimentação do ar e água no solo, refletindo diretamente no crescimento radicular de diversas culturas. O sistema de preparo do solo provoca alterações significativas neste parâmetro, onde exercem influência o tipo de solo, o clima, a umidade e os diferentes tipos de implementos utilizados (Eltz et al., 1989).

É frequente os autores detectarem ou citarem a camada conhecida como “pé-de-arado” ou “pé-de-grade” (Castro et al., 1987; Castro, 1989; Eltz et al., 1989; Pagliai et al., 1998; DeMaria et al., 1999; Stone & Silveira, 1999; Silva et al., 2000; Beutler et al., 2001), geralmente instalada no perfil do solo, na camada subsuperficial de 0,10-0,20 m. Em se tratando de semeadura direta, a referida compactação do solo é considerada como

herança do sistema convencional, podendo resultar em uma porosidade imprópria para a difusão de ar e água no solo, como observado por Eltz et al. (1989), Merten & Mielniczuk (1991) e Silva et al. (2000). Também o tráfego de máquinas agrícolas reduz a porosidade de aeração, atingindo valores além do crítico, como os observados por Tormena et al. (1998).

Mudanças na macroporosidade podem resultar em um grande impacto na capacidade produtiva de um solo. É geralmente aceito que a macroporosidade abaixo de 10% (porosidade de aeração inferior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) limita a produtividade pela redução do crescimento radicular, interceptação dos nutrientes pelas raízes, drenagem e aeração do solo. Geralmente a porosidade total do solo e a distribuição por tamanho de poros são afetadas negativamente pela intensidade de uso da terra, vista durante os anos de cultivo. O declínio da porosidade total é resultado de uma redução de tamanho de poros (Amezquita et al., 1998).

Segundo Kiehl (1979), o solo ideal é aquele que apresenta 50% de macroporosidade e 50% de microporosidade. Considerando, porém, que as raízes podem se desenvolver com porosidade de aeração acima de 10%, com um ótimo situado entre 20 e 30%, e que o conteúdo de água armazenada deve ser em maiores quantidades que a de ar, o solo ideal passa a ser o que apresenta um terço de macroporos para dois terços de microporos, permitindo suficiente aeração, permeabilidade e capacidade de retenção de água.

Ainda segundo Kiehl (1979), na agricultura é a porosidade quem regula as relações entre as fases sólida, líquida e gasosa dos solos. Sendo assim, não só é de fundamental importância sua quantidade, mas também a distribuição da micro e macroporosidade no papel de armazenamento e movimento da água e do ar do solo.

Contudo, a formação de camadas mais compactadas em superfície ou subsuperfície no plantio direto pode não ser prejudicial para a produtividade das culturas, pois

os solos manejados neste sistema adquirem condições físicas diferentes dos demais. Também esta técnica pode diminuir a densidade ao longo dos anos, visto o acúmulo de resíduos superficiais favorecer a reestruturação do solo (Ros et al., 1997).

Apesar de o sistema de plantio direto apresentar, em muitos casos, maior densidade do solo na camada superficial e menor macroporosidade, a infiltração de água é comumente maior, pois é favorecida pela diminuição do selamento dos poros superficiais pela ação protetora da palha, e pelo aumento da tortuosidade do fluxo superficial (Eltz et al., 1989; Stone & Silveira, 1999), consequência do não revolvimento periódico do solo.

Castro et. al. (1987) não verificaram diferenças significativas na porosidade do solo entre os sistemas de cultivo adotados, para um Latossolo Vermelho textura média, mas puderam observar redução na macroporosidade e aumento na microporosidade no sistema de plantio direto, na camada de 0,05-0,10 m, confirmando que este sistema leva a uma alteração na distribuição de poros nas camadas mais superficiais. Para o Latossolo Vermelho textura argilosa, os autores puderam apenas observar menor macroporosidade nas camadas superficiais, quando comparado ao tratamento com cultivo convencional.

O fato dos poros permanecerem estáveis ou não em solos que sofreram mobilização, depende das condições da estabilidade estrutural de cada solo (Ros et al., 1997). Já a densidade do solo depende da natureza, das dimensões e da forma como se acham dispostas as partículas do solo (Kiehl, 1979).

Do ponto de vista físico, em geral os solos cultivados no sistema de semeadura direta sofrem uma compactação devido ao tráfego de máquinas e implementos em sua superfície, apresentando maior densidade na camada superior, principalmente em solos argilosos. No entanto, apesar desta maior densidade do solo na camada superficial e menor

macroporosidade, a diminuição do selamento superficial dos poros permite uma maior infiltração de água (Eltz et al., 1989). Também pode-se observar uma maior resistência do solo à penetração neste sistema, independente da profundidade (Beutler et al., 2001).

Dois levantamentos realizados por DeMaria et al. (1999) no Vale do Paranapanema, nos anos de 1997 e 1998, visando a caracterização de lavouras de milho “safrinha” para resistência do solo à penetração, dentre outros, mostraram que 60% das lavouras encontravam-se com algum problema de compactação, principalmente devido à presença de pé-de-grade. Em algumas lavouras que permaneceram no plantio direto, houve aumento da compactação do solo de um ano para outro.

Os resultados da pesquisa realizada por Tormena et al. (1998) indicam que a remoção ou não de camadas compactadas, resultantes de manejos anteriores, pode determinar o grau de compactação na superfície do solo e impor limitações em sua produtividade sob sistema de mínima mobilização do solo. Os autores encontraram na camada de 0-0,05 m, para o primeiro ano de efeito do tráfego da colhedora, uma redução de 24 a 91% do volume de poros totais e da porosidade de aeração, respectivamente, independente do preparo inicial do solo; a microporosidade teve um acréscimo médio de 10%. Também foram encontrados efeitos do tráfego nas camadas mais profundas, sendo que nas camadas inferiores a 0,20 m, as alterações estavam relacionadas com o tipo de preparo inicial. Os autores atribuíram este fato ao efeito de confinamento do perfil por camadas compactadas em subsuperfície. Para Tormena (1998), não houve efeito da calagem sobre densidade de partículas, densidade do solo e porosidade total, microporosidade e porosidade de aeração.

O valor da densidade em que o crescimento radicular é afetado é diferente em cada solo. Segundo Rosolem et al. (1999), em latossolos com maior teor de

argila (48%) o crescimento radicular do milho foi significativamente diminuído nas densidades de $1,36 \text{ Kg dm}^{-3}$ ou maiores, enquanto que em solos com menores teores de argila (22%), a densidade de $1,27 \text{ Kg dm}^{-3}$ foi a que permitiu o melhor desenvolvimento das raízes.

Duarte et al. (1999) destacam que um dos fatores críticos da sucessão soja-milho “safrinha” é a realização de operações agrícolas em solos demasiadamente úmidos, visando economia de tempo. A resistência do Latossolo Roxo foi maior em sistema de semeadura direta a partir de 0,05 m de profundidade, quando comparado a lavouras escarificadas no verão e com semeadura direta no outono-inverno. Os autores alertam para a possibilidade da migração do sistema de semeadura direta temporária para a semeadura direta permanente, considerando-se apenas a produção de grãos, não ser vantajosa para a região de Pedrinhas, no Vale do Paranapanema, pois as alterações físicas do solo estudado resultaram em queda na produtividade das lavouras de milho.

Castro et al. (1987), estudando os efeitos da semeadura direta e preparo convencional nos parâmetros físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa, após três anos de cultivo de grãos, encontraram uma maior homogeneidade da densidade do solo sob semeadura direta. Comparando os dois sistemas de preparo, observaram que a semeadura direta levou a um aumento significativo na densidade do solo da camada superficial, por não sofrer o revolvimento periódico típico do preparo convencional, onde a camada mais adensada encontrava-se a 0,10-0,20 m de profundidade.

No entanto, Ros et al. (1997) verificaram que a densidade de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico textura argilosa, cultivado em sistema de semeadura direta por cinco anos, não diferia da encontrada no solo do campo nativo. Isso significa que

ocorreu uma redução dos valores de densidade nos tratamentos com maior mobilização do solo, e não necessariamente uma compactação do solo sob semeadura direta.

Para um Latossolo Roxo, os três primeiros anos agrícolas em sistema de semeadura direta provocaram uma diminuição da porosidade e do potencial de desenvolvimento radicular da camada superficial do solo, e somente a partir do quinto ano agrícola é que esses parâmetros começaram a crescer (Corsini & Ferraudo, 1999). Os autores observaram, então, que a recuperação da estrutura na camada superficial e na linha da cultura, para aquele solo cultivado em sistema de semeadura direta, iniciou-se no quarto ano agrícola e completou-se no oitavo, referindo-se aos valores de densidade do solo, porosidade e níveis de desenvolvimento radicular semelhantes aos obtidos logo após a realização das operações mecânicas de preparo.

Souza (1985), em experimento de quatro anos de duração onde comparava diversos sistemas de cultivo, em Latossolo Roxo distrófico, observou que os dados de infiltração da água mostravam-se eficazes em detectar alterações físicas no solo. No entanto, ao comparar apenas os tratamentos com cultivo convencional e plantio direto, não encontrou diferenças significativas para este parâmetro, assim como para densidade do solo, porosidade, espaço aéreo, condutividade hidráulica saturada e índice de rugosidade.

Os estudos da resistência à penetração têm sido úteis para explicar parte dos fatores que influenciam o sistema de semeadura direta, principalmente em situações consideradas adversas para outros sistemas de cultivo.

A resistência à penetração do solo é modificada pela compactação, dependendo das características intrínsecas de cada solo. Resistência à penetração e densidade apresentam relação logarítmica quando o teor de argila ultrapassa 40%, enquanto em solos

arenosos esta relação é quadrática, portanto, menos acentuada. O comportamento dos solos pode ser agrupado de acordo com o conteúdo de argila (mais de 40% e menos de 40%), sendo que dentro de cada grupo há uma relação lógica, pois o solo com maior conteúdo de argila alcança maiores valores de resistência à penetração (Rosolem et al., 1999).

Dentro de uma mesma densidade, quanto mais argila, maior é a resistência à penetração, e no caso de baixas densidades, o efeito relativo da textura torna-se mais importante. A resistência apresentada pelo solo, que pode ser expressa como uma função de seu conteúdo de água, tem um incremento maior quando o teor de água é menor que a capacidade de campo a $-0,1$ MPa, isto é, a secagem do solo causa maior aumento na resistência à penetração em solos, principalmente àqueles com mais de 40% de argila (Rosolem et al., 1999).

No entanto, sob irrigação, a menor resistência do solo à penetração e a melhor distribuição do sistema radicular, promovidos pelo preparo com arado de aiveca, não propiciaram maior produtividade do feijoeiro em comparação ao sistema de preparo com grade aradora e plantio direto. No estudo de Stone et al. (1999), em um Latossolo Vermelho-Escuro do município de Santo Antônio de Goiás, Estado de Goiás, os autores encontraram para os primeiros 0,15 m de solo, resistência à penetração semelhante nos tratamentos com arado de aiveca e grade aradora, porém, menor que no tratamento de plantio direto. A grade promoveu um grande aumento da resistência do solo em camadas abaixo de 0,12 m, atingindo valores máximos entre 0,20 e 0,24 m, e em profundidades maiores que 0,40 m, não houve diferença entre os sistemas de preparo do solo.

O crescimento radicular do milho diminui com o aumento da resistência do solo à penetração, e o valor limitante varia para cada solo. Utilizando materiais

provenientes de Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo, em cilindros de PVC e diversas densidades, Rosolem et al. (1999) observaram que as raízes seminais adventícias mostraram maior capacidade de penetração, atingindo o limite de 6,0 MPa, enquanto o crescimento das raízes principais foi quase nulo em resistências na ordem de 1,5 MPa. No entanto, a resistência crítica é dependente do teor de argila do solo, e correlaciona-se significativa e negativamente com o volume de microporos do solo (Rosolem et al., 1999).

Valores elevados de resistência à penetração na camada de 0,05-0,20 m no plantio direto, mesmo em Latossolo Roxo distrófico, textura muito argilosa, não chegaram a comprometer o sistema sob plantio de soja, sendo o fato atribuído à maior continuidade de poros, homogeneidade do solo e à maior atividade microbiana (Silva et al., 2000).

2.4 Calagem e adubação superficial em sistema de semeadura direta

Deficiência de cálcio nas camadas mais profundas acarreta uma deficiência no crescimento radicular em profundidade, pois estas necessitam desse elemento na sua zona de crescimento (Eltz et al., 1989). Em áreas com cultivos sem preparo do solo, onde o calcário não é incorporado, o problema pode ser de difícil solução.

Outro fator importante a ser considerado é a ocorrência de déficit hídrico. Efeitos da não-correção do solo em profundidade poderão surgir se houver restrição ao desenvolvimento radicular em regiões com déficit hídrico acentuado, mesmo no manejo de plantio direto (DeMaria, 2000).

Schultz (1987), em seu manual de plantio direto, comenta que as primeiras aplicações de calcário devem ser incorporadas ao solo, e da mesma forma as aplicações seguintes de caráter corretivo. No entanto, quando se consegue elevar o teor de cálcio mais magnésio a um nível adequado (40 a 60 mmol_c/dm³), pode-se utilizar aplicações de manutenção em doses menores e, neste caso, podendo a aplicação ser superficial.

A correção do subsolo ácido pode ser feita com calagem profunda, através do revolvimento do solo, por meio de máquinas potentes e equipamentos caros, o que torna a prática onerosa. Além do mais, em áreas com o sistema de semeadura direta já implantado, muitas vezes a intervenção mecânica não é desejada (Caires et al., 1998).

Outra forma de corrigir deficiência de cálcio em profundidade é o emprego de gesso agrícola. Por ser relativamente solúvel, o gesso movimenta-se pelo perfil com o excesso de umidade e, ao alcançar o subsolo, proporciona um aumento no suprimento de Ca²⁺ e redução da toxicidade de Al³⁺ (Summer, 1995, citado por Caires et al., 1998). No entanto, em subsolos ácidos, a aplicação de gesso pode não ser interessante, visto o fato deste não neutralizar a acidez (Caires et al., 1998) e dificultar a solubilização do calcário.

A eficiência da aplicação superficial de calcário em solo sob plantio direto, particularmente na correção da acidez do subsolo, é controversa. Faltam informações a respeito da reação do calcário aplicado na superfície do solo e de critérios de recomendação de calagem, com base na análise química do solo, em sistema de semeadura direta (Caires et al., 2000).

Por outro lado, alterações no pH, na acidez potencial (H+Al), nos teores de Ca + Mg trocáveis e na saturação por bases do solo, promovidas pela calagem

superficial em sistema de semeadura direta, em diversas profundidades, vêm sendo observadas por diversos autores, dentre eles Tognon et al. (1997) e Caires et al. (1998 e 2000).

Pöttker & Ben (1998) verificaram para dois Latossolos (Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo), que apenas ocorreu pequena migração do calcário no perfil do solo, influenciando quimicamente a camada de 0-0,05 m, e em menor grau, a camada de 0,05-0,10 m. Os autores não consideram a correção apenas superficial da acidez do solo como problema para o cultivo de espécies anuais, exceto em períodos de secas prolongadas.

Situação semelhante à citada anteriormente foi observada por Amaral & Anghinoni (2001), em um Argissolo Vermelho distrófico, de textura franco-argilosa, em sistema de semeadura direta consolidado. Os valores de pH e Al trocável revelam que no sistema de semeadura direta, quando não há incorporação de calcário, ocorre uma importante frente de neutralização da acidez a partir da superfície do solo, porém, de efeito bastante restrito e ligado à aplicação de calcário efetuada anteriormente. Aos 360 dias após a aplicação do calcário, os valores de pH, Al, Ca e Mg trocáveis sofreram alterações nos 0,04 m superficial, enquanto os valores de Ca e Mg na solução alterações apenas nos primeiros 0,02 m.

Rheinheimer et al. (2000), a partir de pastagem em Argissol Acinzentado distrófico plúntico, mostraram que foram necessários 36 meses para que a saturação de alumínio atingisse nível próximo de zero na camada de 0-0,025 m, após a aplicação de $2,0 + 2,0 \text{ t. ha}^{-1}$ de calcário, aos 0 e 24 meses de condução do experimento.

Em geral, do ponto de vista químico, os solos cultivados no sistema de semeadura direta apresentam maior concentração de nutrientes na camada superficial do perfil (Muzilli, 1983; Merten & Mielniczuk, 1991), devido ao não revolvimento do solo, aliado à

aplicação de fertilizantes em camadas superficiais ou em superfície (Eltz et al., 1989). No entanto, com o tempo de cultivo, ocorre uma tendência da distribuição mais homogênea de Ca, Mg e Al, e valores de pH e de saturação por bases no perfil do solo (Moreira et al., 2001).

Os índices de fertilidade são alterados em sua magnitude e distribuição no solo sob semeadura direta. A utilização de procedimentos recomendados na amostragem do solo com preparo convencional dificilmente resultará em coletas de amostras representativas do estado de fertilidade do solo, quanto aos elementos fósforo e potássio. Mesmo adotando procedimentos recomendados para amostragem do solo sob semeadura direta, a variabilidade horizontal desses elementos permanece elevada, apresentando coeficiente de variação maior do que 30% na média, independentemente do modo de adubação (Anghinoni, 1999).

A maior disponibilidade de elementos como fósforo, potássio, cálcio e magnésio em sistemas com menor revolvimento, pode significar maior disponibilidade para as culturas desde que exista água para o fluxo dos mesmos. Eltz et al. (1989), trabalhando em um Latossolo Bruno álico, demonstraram que alternar preparo convencional com semeadura direta não proporcionou aumento na disponibilidade de nutrientes, como na semeadura direta contínua, além de reduzir a velocidade de infiltração de água no solo. É a adsorção destes elementos, que ocorre com grande intensidade quando são misturados ao solo no preparo convencional, responsável pela menor disponibilidade às culturas.

Sendo assim, além de um incremento na produção das culturas (Eltz et al., 1989), a maior disponibilidade dos nutrientes em sistemas de semeadura direta, aliada à melhor estruturação do solo neste sistema (Alvarenga et al., 1986; Campos et al., 1995; Ros, 1997; Castro Filho et al., 1998; Silva & Mielniczuk, 1998; Corsini & Ferraud, 1999; Silva et

al., 2000), poderá conferir maior mobilidade aos elementos menos móveis, como o cálcio, o magnésio e o fósforo.

Em experimento comparando três sistemas de preparo de solo: arado de discos, escarificadores e plantio direto, DeMaria & Castro (1993) verificaram que o teor de potássio foi maior nos preparos reduzidos na camada de 0-0,05 m, exceto para amostragem realizada após um período de muitas chuvas. Os mesmos autores concluíram que o teor de fósforo disponível do solo aumentou com a utilização do plantio direto, na camada 0-0,05 m, a partir do segundo ano, e na 0,05-0,10 m no sétimo ano, em um Planosolo Roxo.

Para Caires et al. (2000), os aumentos do pH, Ca + Mg, trocáveis e saturação por bases e a redução dos teores de H + Al trocáveis, em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico textura média, mostram claramente os efeitos positivos do calcário aplicado na superfície sobre a correção da acidez do solo.

São diversos os mecanismos que podem estar envolvidos na percolação do Ca no perfil do solo em sistema de semeadura direta, responsável pela correção da acidez em subsolos. Um dos mecanismos, sugerido por Miyazawa et al. (2000), está relacionado com a formação de complexos orgânicos hidrossolúveis presentes nos restos das plantas, onde ligantes orgânicos complexam o Ca trocável do solo, alterando sua carga e tornando-o mais móvel. Por fim, o Al^{3+} , por formar complexos mais estáveis, bem como o H^+ , desloca o Ca, o que diminui a acidez e aumenta o Ca trocável em profundidade. Na forma complexada, a mobilidade do Al e do Ca em solo ácido com cargas variáveis dependentes de pH é aumentada (Franchini et al., 1999).

Também, deve-se considerar a mobilidade do Ca pelo deslocamento mecânico de partículas de calcário, através de canais formados por raízes mortas, mantidos

intactos em razão da ausência de preparo do solo em sistema de semeadura direta (Oliveira & Pavan, 1996, citado por Pöttker & Ben, 1998), ou através de rachaduras no solo, ocorridas após um longo período de estiagem.

Em Latossolo Vermelho, com três anos de cultivo no sistema de semeadura direta, estudado por Moreira et al. (2001), a incorporação de calcário resultou em maiores valores de pH, Ca, Mg e saturação por bases, após 12 meses de experimentação, nas camadas mais profundas, quando comparados ao mesmo solo, que recebeu calagem superficial; nessas camadas, estes atributos não foram alterados pela calagem superficial, mesmo com o solo previamente corrigido no momento da implantação do referido sistema.

Miyazawa et al. (1993) observaram que os resíduos vegetais aumentam o pH do solo e diminuem os teores de alumínio tóxico. Depois de incorporados ao solo, os resíduos vegetais provocaram um aumento máximo do pH aos 10-20 dias, com os valores diminuindo gradativamente até estabilizarem-se aos 120 dias, em nível superior ao da testemunha. A redução do teor de alumínio tóxico foi associada ao aumento do pH e complexação orgânica; as leguminosas promoveram os maiores acréscimos nos valores de pH.

Cassiolato et al. (1998), objetivando avaliar o efeito de resíduos vegetais na dinâmica de íons no solo e na mobilidade do calcário aplicado na superfície do solo, realizaram um experimento onde foram utilizados resíduos vegetais de nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), mucuna cinza (*Stizolobium cinereuns*) e milheto (*Pennisetum typhoides*), em doses equivalentes a 10 t ha⁻¹ de massa seca, combinados ou não ao calcário na forma de carbonato, empregando colunas de Latossolo Vermelho-Escuro distrófico. Os autores verificaram que, na presença dos resíduos vegetais, os aumentos nos valores de pH e teores de Ca, e diminuição dos teores de Al trocável, não ficavam limitados apenas aos dez primeiros

centímetros, mas em todo o perfil do solo, com incremento extra de Mg e K trocáveis. No entanto, os autores constataram a fraca atuação do milho nesta reação, devido sua baixa capacidade de formação de complexos organo-metálicos.

2.5 Estabilidade de agregados

A estabilidade de agregados é bastante utilizada para caracterizar a estrutura do solo sob diferentes métodos de preparo, e sofre uma influência muito grande de outros fatores, como teor de matéria orgânica, cátions trocáveis e compactação. Considera-se que quanto maior a estabilidade de agregados, maior a resistência à erosão (Castro, 1990).

Em solos submetidos à mecanização agrícola, a agregação pode ocorrer por ação de compressão das partículas do solo, sem, entretanto, ocorrerem os mecanismos que contribuem para a estabilização desses agregados do solo e, conseqüentemente, das unidades estruturais (Silva & Mielniczuk, 1998).

O sistema de manejo em semeadura direta proporciona maior tamanho de agregados que o preparo convencional do solo, possivelmente devido à não destruição mecânica dos agregados pelas máquinas e implementos de preparo do solo, maior densidade do solo na superfície e proteção que a palha oferece sobre a superfície (Eltz et al., 1989). Muitos autores têm encontrado resultados que confirmam esse fato (Alvarenga et al., 1986; Eltz et al., 1989; Castro Filho et al., 1998; Campos et al., 1995; Silva et al., 2000), porém, os trabalhos relatam os resultados obtidos após períodos superiores a seis anos de cultivo no sistema de semeadura direta, muitas vezes apenas na camada superficial do solo.

Castro et al. (1987) observaram menor tempo em relação à resposta, com aumento da porcentagem de agregados de diâmetro médio mais elevado. O tratamento com semeadura direta apresentou, após um período de três anos, um diâmetro médio ponderado (DMP) significativamente maior quando comparado ao tratamento com preparo convencional, em Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa.

É comum pesquisas indicarem que, em períodos de tempo curtos, geralmente abaixo de três anos, não ocorrem alterações nos atributos físicos do solo, quando se trata do efeito de coberturas vegetais e de rotação de culturas em sistema de semeadura direta. Teixeira & Pauleto (1997), avaliando o efeito da rotação de culturas em sistema de semeadura direta, utilizando diversos vegetais, com diferentes relações C:N, não encontraram diferenças significativas entre tratamentos nos parâmetros físicos estudados.

Os dados obtidos por Roth et al. (1986) demonstram que a estabilidade dos agregados foi correlacionada positivamente com os teores dos cátions trocáveis Ca, Ca+Mg e pH e, negativamente, com o carbono orgânico. No entanto, os autores alertam para o fato do efeito de tais parâmetros químicos sobre a agregação das partículas ser indireto; a adição do calcário no solo pode provocar um aumento na atividade biológica, induzindo assim a uma maior estabilidade dos agregados devido à ação dos produtos de decomposição orgânica que atuam com agente de ligação entre as partículas (Harris et al., 1966, citado por Roth et al., 1986; Kiehl, 1979).

Kray et al. (1999) verificaram em um Podzólico Vermelho-Escuro, previamente corrigido antes da implantação do sistema de semeadura direta, que a interrupção do sistema para a incorporação do calcário, aos quatro anos, foi benéfica para a estabilidade dos agregados no oitavo ano, na camada de 0,075-0,15 m do perfil, mas prejudicial para a

camada superficial do solo. Os autores sugerem que o eventual revolvimento do solo para a incorporação do calcário, apesar do impacto momentâneo, pode proporcionar alguma vantagem, sem perda da qualidade estrutural do solo em médio prazo.

Alekseeva & Alekseev (1999) sugerem que a estrutura de um solo de coloração bruno amarelo, Anthrosol segundo FAO/UNESCO (Gong et al., citado por Alekseeva & Alekseev, 1999), classe textural franco argiloso, seja principalmente desenvolvida sob a influência de Ca^{2+} trocável, embora a matéria orgânica influencie na estabilidade estrutural da camada superficial. Segundo os autores, carbonato de cálcio e óxidos de ferro representam papéis importantes na formação de agregados no horizonte B destes solos.

Para conhecer a influência de calagem em algumas propriedades físicas do solo, Roth et al. (1986) estudaram os efeitos residuais das aplicações de várias doses de calcário e gesso, em uma lavoura cafeeira, na estabilidade de agregados e na infiltração de água. Tanto a estabilidade dos agregados como a infiltrabilidade aumentaram com a elevação do pH do solo, não confirmando os resultados dos trabalhos analisados pelos autores.

Eltz et al. (1989), estudando um Latossolo Bruno álico, em Guarapuava, Estado do Paraná, observaram que, em semeadura direta de 7,5 anos, tanto os teores de Ca como o diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados estáveis em água eram elevados na camada de 0-0,05 m, comprovando que a menor mobilização do solo proporciona maior estabilidade de agregados em água.

No entanto, em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico textura argilosa, submetido ao sistema de semeadura direta sem incorporação do calcário, Ros et al. (1997) observaram uma tendência de menor concentração de agregados na classe de maior

diâmetro (9,52-4,76 mm), quando comparado com o campo nativo testemunha. Os autores atribuem o fato à diminuição da estabilidade estrutural, devido à morte e à decomposição do sistema radicular das gramíneas pela dessecação, e pela quebra dos agregados maiores na linha de plantio pelos sulcadores da semeadora.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental e caracterização do local

O experimento foi desenvolvido nos anos agrícolas de 1999/2000 e 2000/2001, na Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA, Campus de Botucatu/UNESP, Fazenda Lageado, localizada no município de Botucatu, Estado de São Paulo, em área do Departamento de Produção Vegetal – Setor de Agricultura e Melhoramento Vegetal.

A área experimental está localizada em meia encosta, relevo local ondulado, com declividade de 10%, com face voltada para o oeste, sendo a latitude 22°51'S, a longitude 48°26'W Grw, e a altitude de 780 m (Carvalho et al., 1983).

O solo da área experimental é um NITOSSOLO VERMELHO Distroférico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), anteriormente classificado como Terra Roxa Estruturada distrófica textura argilosa (Carvalho et al., 1983). A origem deste solo vem de produtos de alteração basálticos retrabalhados, apresentando boa drenagem, porém com tendências de erosão laminar moderada a severa.

O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, de inverno seco e verão quente e chuvoso, e, segundo a carta de isotermas, a temperatura média anual para o local é de 20°C (Mello et al., 1994). Os dados de temperatura média encontram-se no Quadro 1 e Figura 1.

As chuvas no Estado de São Paulo são tipicamente de verão. Há dois períodos no planalto: chuvoso, de outubro a março, e seco, de abril a setembro (Mello et al., 1994). Procurou-se levantar os dados de precipitação pluvial através do histórico dos três últimos anos, caracterizando-se assim a sua frequência de ocorrência e demais aspectos relacionados ao período de desenvolvimento do experimento (Quadro 2 e Figura 2).

3.2 Delineamento experimental, tratamentos empregados e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas, medindo 6 m x 10 m, foram representadas pela ausência ou presença de milho (*Pennisetum americanum*) cv. BN2 como cultura para produção de massa vegetal, enquanto as subparcelas pelo emprego ou não de calagem superficial. Para separação das subparcelas foram demarcados carregadores de 0,5 m, no sentido do comprimento do bloco, formando-se assim duas áreas de 27,5 m². Os

Quadro 1: Temperatura mínima, máxima e média, em graus Celsius, do período de 1999 a 2001. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.

Mês	Temperatura (°C)								
	Min.	Máx.	Méd.	Min.	Máx.	Méd.	Min.	Máx.	Méd.
	----- 1999 -----			----- 2000 -----			----- 2001 -----		
Janeiro	20,0	27,9	22,8	19,05	27,80	22,59	19,77	29,40	23,57
Fevereiro	19,77	28,25	22,96	19,05	27,39	22,43	20,34	29,07	23,86
Março	19,30	28,36	22,88	18,59	26,98	21,62	19,68	29,30	23,30
Abril	16,10	25,77	19,81	16,95	27,10	21,30	18,51	28,53	22,69
Maiο	13,44	22,87	16,92	14,13	24,43	18,14	14,72	23,07	17,56
Junho	12,79	21,19	15,66	14,77	24,87	18,64	13,03	22,15	16,69
Julho	13,78	23,26	17,51	11,12	21,94	15,28	12,79	23,74	17,35
Agosto	13,41	24,99	18,41	13,87	24,11	17,62	14,61	25,07	18,04
Setembro	15,15	26,22	19,64	15,23	24,57	18,36	15,03	25,73	18,51
Outubro	15,38	25,97	19,15	18,48	30,39	23,24	16,25	27,52	19,99
Novembro	15,51	27,34	20,46	17,65	28,32	21,42	18,04	28,75	21,76
Dezembro	18,68	28,93	22,82	18,96	27,66	22,24	18,08	26,92	20,73
Médias	16,11	25,92	19,91	16,49	26,30	20,24	16,74	26,60	20,34

Fonte: Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP - Campus de Botucatu. Departamento de Recursos Naturais. Botucatu, Estado de São Paulo.

blocos foram separados uns dos outros por carreador de 4 m, enquanto os tratamentos por 15 m de distância (Figura 3).

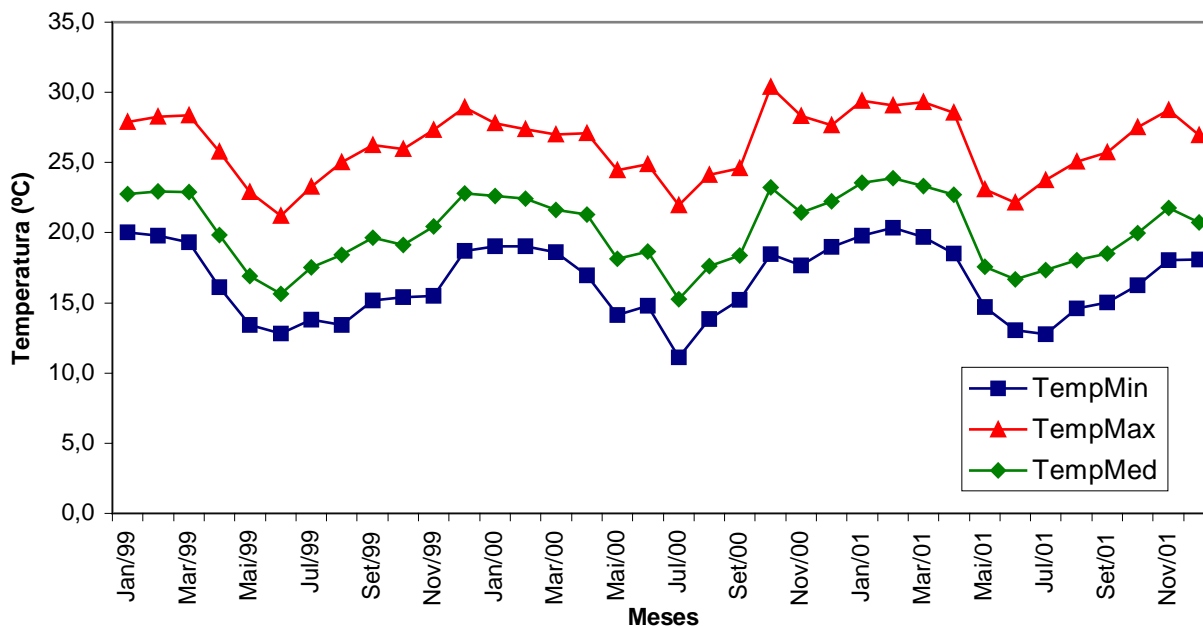


Figura 1: Temperatura média mensal (°C) do período de 1999 a 2001. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.

Os tratamentos utilizados foram: sem vegetação sem calcário (SV), sem vegetação com calcário (SVC), milho sem calcário (M) e milho com calcário (MC). Também foi realizada a caracterização inicial (INI) da área.

O experimento constituiu um dos estudos do comportamento do milho em regiões de inverno seco, com ênfase para a recuperação de solos degradados e para a resistência à decomposição da palhada, em sistemas de semeadura direta. Sendo assim, não foi permitida a irrigação suplementar em períodos de seca.

Os dados obtidos, para cada camada, foram analisados separadamente através de análise de variância em blocos casualizados, com teste de Tukey a 5 %, utilizando-se para isso o sistema para análise estatística S.A.S. (Statistical Analysis System).

Quadro 2: Precipitação pluvial mensal, em milímetros, do período de 1999 a 2001. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.

Mês	Precipitação Pluvial (mm)		
	1999	2000	2001
Janeiro	400,1	220,70	322,20
Fevereiro	203,50	227,90	278,20
Março	111,00	162,40	156,60
Abril	70,30	12,10	24,90
Maiο	44,80	10,30	91,00
Junho	97,50	12,80	56,90
Julho	16,30	55,00	46,10
Agosto	0,00	73,70	53,80
Setembro	84,40	127,90	87,50
Outubro	35,30	20,30	142,70
Novembro	34,20	191,90	117,70
Dezembro	183,80	186,80	221,30
Totais	1281,20	1301,80	1598,90

Fonte: Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP - Campus de Botucatu. Departamento de Recursos Naturais. Botucatu, Estado de São Paulo.

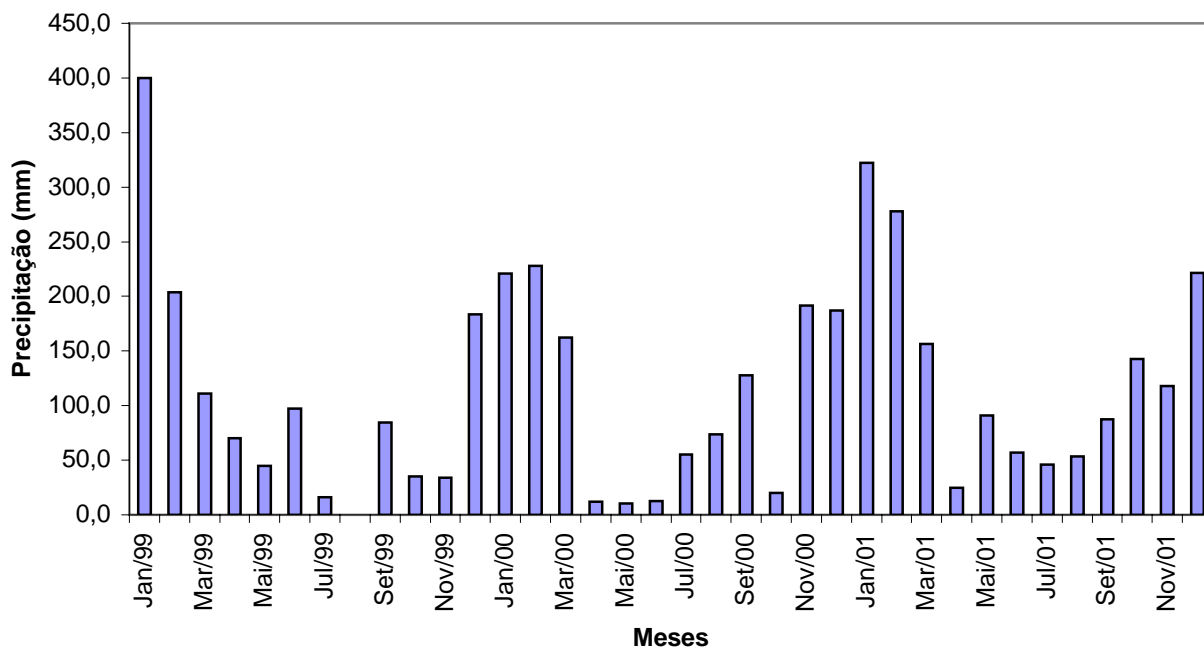


Figura 2: Precipitação pluvial mensal (mm) do período de 1999 a 2001. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.



Figura 3: Área experimental em 2000, durante o cultivo da soja. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.

3.3 Caracterização física e química inicial e tratamentos

A caracterização inicial da área foi realizada após a rolagem do milho e durante o desenvolvimento da cultura da soja, utilizando-se áreas adjacentes e internas livre de tratamentos e do rodado das semeadoras ou manobra de máquinas.

Foram adotados os procedimentos programados para caracterização inicial do solo quanto aos seus atributos físicos e químicos. Foram coletadas, em trincheiras de 0,40 x 0,80 m, amostras deformadas e indeformadas para as determinações em laboratório, com três repetições, nas camadas de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m (Figura 4).



Figura 4: Materiais utilizados na coleta de amostras de solo da área experimental, em 2000. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.

Durante o período de inverno, no ano 2001, os mesmos procedimentos anteriormente descritos foram adotados para caracterização dos tratamentos, abrindo-se uma trincheira para cada parcela. Cada trincheira foi aberta a um metro de distância da bordadura, na região central e no início da subparcela, na entrelinha da cultura do milho anteriormente rolada.

A análise granulométrica foi realizada pelo método do Densímetro de Bouyoucos (EMBRAPA, 1997), empregando-se NaOH 0,1 mol L⁻¹ como dispersante, com agitação rápida (12.000 rpm), durante 20 minutos (Quadro 3).

Quadro 3: Teores iniciais de areia, silte e argila, e densidades do solo e de partículas, nas quatro camadas. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.

Camada	Composição Granulométrica			Densidade de	Densidade do
	Areia	Silte	Argila	Partículas	Solo
m	----- g Kg ⁻¹ -----			----- Kg dm ⁻³ -----	
0-0,05	385	160	455	2,46	1,52
0,05-0,10	375	165	460	2,48	1,53
0,10-0,20	365	148	488	2,50	1,50
0,20-0,40	305	148	548	2,37	1,42

A densidade do solo (Ds) foi obtida em amostras com estrutura indeformada, através de um anel de aço (Kopecky) de bordas cortantes e volume interno de 98 cm³, e a densidade de partículas (Dp) foi determinada pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997).

As classes de agregados foram determinadas através de tamisamento a seco (EMBRAPA, 1997). A retenção de água a 0,006 MPa foi determinada através do método da centrífuga, em amostras previamente saturadas, durante 24 horas, utilizando-se a centrífuga clássica modelo H-14000 pF da Kokusan Enshinki Co. Ltda., de fabricação japonesa, na rotação de 800 rpm (Centurion et al., 1997). A microporosidade e macroporosidade foram determinadas utilizando-se os dados obtidos nas determinações de retenção de água (Quadro 4).

Quadro 4: Diâmetro Médio Ponderado – DMP, microporosidade, macroporosidade e porosidade total inicial, nas quatro camadas. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.

Camada	DMP	Microporosidade	Macroporosidade	Porosidade Total
m	mm	%	%	%
0-0,05	2,17	35,31	8,85	44,16
0,05-0,10	2,25	36,54	8,12	44,65
0,10-0,20	2,13	37,02	8,36	45,38
0,20-0,40	2,29	35,44	9,97	45,42

Para caracterização química, as amostras de solo foram coletadas na própria trincheira, através da homogeneização do solo restante e livre de misturas com outras camadas, tendo como objetivo estabelecer correlações mais estreitas entre os resultados das análises físicas. As análises químicas seguiram a metodologia descrita por Raij & Quaggio (1983), cujos resultados encontram-se no Quadro 5.

Quadro 5: Características químicas iniciais do solo, nas profundidades de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Fazenda Lageado, Botucatu, Estado de São Paulo.

Camada	pH	M.O.	P res	H+Al	K	Ca	Mg	S. B.	CTC	V
m	(CaCl ₂)	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	%
0-0,05	4,7	23	6	42	1,6	23	11	34	77	45
0,05-0,10	5,0	24	16	36	1,1	22	12	35	72	49
0,10-0,20	4,3	22	12	63	0,7	15	8	24	87	28
0,20-0,40	4,3	22	8	73	0,7	14	7	21	94	24

3.4 Instalação e condução do experimento

A área experimental encontrava-se anteriormente preparada de maneira convencional, através de arações e gradagens, sendo a cultura mais antiga o café. Após diversas culturas anuais, foi cultivado o milho (*Zea mays* L.) no ano agrícola 1997/1998 e, após esta cultura, o solo permaneceu em pousio até o inverno de 1999, quando se cultivou a aveia preta (*Avena strigosa*), também convencionalmente.

Por ocasião do início da instalação do experimento, dessecou-se e rolou-se a aveia preta, juntamente com a vegetação espontânea, com a aplicação de 4 L ha⁻¹ de herbicida à base de Glyphosate, duas semanas antes da semeadura da cobertura vegetal, simulando semeadura direta emergencial, utilizada em substituição ao repasse de grade e niveladora. Sendo assim, não houve correção química ou revolvimento do solo na transição do cultivo convencional para a semeadura direta, fato comum para muitas propriedades.

A área possuía alta infestação de plantas daninhas, sendo esta vegetação espontânea composta por: tiririca (*Cyperus esculentus*), picão-preto (*Bidens pilosa*), nabiça (*Raphanus raphanistrum*), braquiária (*Brachiaria decumbens*), trapoeraba (*Commelina benghalenses*), carrapicho (*Centchrus echinatus*) e aveia preta (*Avena strigosa*), independente da ordem percentual de ocorrência. Quando da instalação do experimento, com a emergência da aveia preta e das plantas daninhas em geral, estas cobriam completamente o solo.

O tratamento sem o emprego do milho (SV e SVC), desde a implantação do experimento, foi mantido livre de ervas daninhas, através de capinas manuais periódicas, sempre que se iniciava a emergência de qualquer planta.

A semeadura do milho estava programada para início do mês de setembro, para os anos de 1999 e 2000, sem irrigação suplementar, logo que iniciassem as primeiras chuvas típicas do período. No entanto, a forte estiagem que atingiu a região sudeste em 1999, bem como o atraso no início do período chuvoso em 2000, impediram a semeadura da cobertura vegetal na época planejada. No entanto, as condições climáticas posteriores, considerando a precipitação pluvial e a temperatura, mostraram-se favoráveis ao crescimento vegetativo desta cultura, conforme pode ser observado nos Quadros 1 e 2 e nas Figuras 1 e 2.

A primeira semeadura do milho foi realizada em dezembro do ano de 1999, e a segunda em outubro de 2000, utilizando-se 20 Kg ha⁻¹ de sementes. A semeadura do milho ocorreu de forma mecanizada, com emprego de semeadora-adubadora de plantio direto, de 15 linhas espaçadas a 0,20 m. Sendo assim, cultivou-se a cobertura vegetal após o solo ter atingido teor suficiente de umidade, em decorrência das primeiras chuvas em cada período, com forte déficit hídrico no início do ciclo vegetativo.

A adubação de semeadura do milho constou somente de 20 Kg ha⁻¹ de superfosfato triplo, que serviu como veículo para melhor distribuição das sementes de milho, previamente tratadas com fungicida a base de Thiabendazole na dose de 1g do produto para cada quilograma de semente. As duas culturas de milho foram dessecadas aos 55 dias após a semeadura, através da aplicação do herbicida Glyphosate, na dosagem de 4 L ha⁻¹.

A aplicação do calcário, em superfície, nos tratamentos que o incluíam, foi realizada a lanço e manualmente, no primeiro ano de cultivo, dois dias após o rolamento da fitomassa dessecada de milho, na dose de 3,1 t ha⁻¹. O calcário utilizado foi o dolomítico, com PRNT = 91%, visando a elevação da saturação por bases para 70%. A dosagem empregada procurava, além de elevar a saturação por bases para um nível satisfatório, compensar a ausência da correção inicial e garantir a suplementação de Ca e Mg para próximas culturas que seriam instaladas.

Sendo assim, a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) cv. IAC-19 foi cultivada em “safrinha”, e o milho (*Zea mays* L.) cv. AG 9010 foi cultivado em plantio tardio, para compor a sucessão de culturas programadas para o experimento.

A cultura da soja, semeada em 28/02/2000, duas semanas após a dessecação e rolagem do milho, com auxílio de semeadora-adubadora de semeadura direta, foi instalada com 19 sementes por metro linear, resultando em proporção aproximada de 400.000 sementes ha⁻¹ e espaçamento de 0,45 m entrelinhas.

O milho foi semeado no final de dezembro, duas semanas após a dessecação e rolagem do milho, utilizando-se uma semeadora-adubadora de plantio direto, quatro sementes por metro linear e espaçamento entrelinhas de 0,45 m. O ajuste no “stand”

foi feito aos 20 dias após a emergência, de forma a restarem aproximadamente 2,8 plantas por metro de sulco, resultando numa proporção aproximada de 62.000 plantas ha⁻¹.

Tanto a soja como o milho receberam adubação de plantio, de acordo com o resultado da análise química inicial do solo realizada no ano de 1999, seguindo as recomendações contidas no BOLETIM 100, do Instituto Agrônomo de Campinas (Raij et al., 1997), para o Estado de São Paulo, esperando-se obter produtividade de 2.500 a 2.900 Kg ha⁻¹ de soja e 4.000 a 5.000 Kg ha⁻¹ de milho. Somente o milho recebeu adubação em cobertura, com aplicação nas entrelinhas de 60 Kg de K₂O e 60 Kg de N.

A soja foi colhida em julho do ano de 2000, e o milho em abril do ano de 2001, com posterior rolamento da massa vegetal para formação de cobertura morta em todos os tratamentos.

3.5 Cultivar de milheto

Utilizou-se a cultivar de milheto (*Pennisetum americanum*) BN-2, uma variedade sintética de geração avançada, desenvolvida da mistura de diversas introduções de milheto proveniente da África.

De acordo com Silveira (1996) e Salton & Kichel (1997), o milheto é uma planta anual da família das gramíneas, de ciclo tardio, clima tropical, crescimento ereto com porte alto, podendo atingir até 4 ou 5 metros de altura, desenvolvimento uniforme, com grande perfilhamento e um sistema radicular vigoroso, permitindo excelente cobertura do solo em curto espaço de tempo. O ciclo da planta é de aproximadamente 130 dias, apresentando

capacidade de produzir grãos em condições extremamente secas e em solos de baixa fertilidade; entretanto, responde muito bem a adubações em solos mais férteis. A produção de matéria seca da parte aérea é de 10 t/ha, em média. Estas características, aliadas à facilidade com que pode ser conduzido, fazem do milheto uma excelente opção como cultura de sucessão para a soja ou o milho, dentro de um programa planejado de plantio direto, visando a integração entre a pecuária e a produção de grãos (Scaléa, 1999).

3.6 Cultivar de soja

Utilizou-se a cultivar IAC-19, obtida pelo cruzamento D-72-9601-1 x IAC-8, que é indicada para solos de média a alta fertilidade, possui crescimento determinado, ciclo de maturação médio (130 a 140 dias), altura das plantas entre 0,80 a 0,90 m, flor branca, hilo e pubescência marrom, e peso médio de 150g para 1.000 sementes. O nível de tolerância desta variedade para pústula-bacteriana, cancro da haste e oídio é alto. Para mosaico-comum, nematóide de galha e insetos desfolhadores a tolerância é média, sendo baixo para nematóide de cisto (Miranda & Braga, 2000).

Botanicamente a soja pertence à família *Leguminosae*, subfamília *Papilionoideae* e ao gênero *Glycine* L., que compreende cerca de quinze espécies, sendo classificada como *Glycine max* (L.) Merrill (Miyasaka, 1986), sendo capaz de produzir mais de 18 t ha⁻¹ de matéria seca da parte aérea (Tanaka et al., 1993).

A recomendação para o Estado de São Paulo é de outubro a dezembro para a semeadura, período mais favorável, sendo a densidade populacional ótima de 350 mil plantas por hectare (Miranda & Braga, 2000).

3.7 Cultivar de milho

A cultivar de milho (*Zea mays* L.) utilizada foi o AG 9010, do detentor Agrocerees Sementes, um cultivar híbrido simples modificado, de ciclo super precoce, com florescimento aos 53 dias, e maturação aos 115 dias após germinação. Para esta cultivar, a recomendação é de 60.000 plantas ha⁻¹, com finalidade de produção de grãos, do tipo duro e de coloração alaranjado. Seu potencial produtivo é de 8.000 Kg ha⁻¹, tendo estatura média de 1,9 m e inserção média de espiga de 0,80 m, com alta resistência ao acamamento (BRASIL, 2000).

O milho é uma planta da família *Gramineae* e gênero *Zea* (Joly, 1979), classificada como *Zea mays* L., de ciclo vegetativo variado, evidenciando desde cultivares extremamente precoces até mesmo aqueles cujo ciclo podem alcançar 300 dias. Contudo, nas condições brasileiras, a cultura do milho apresenta ciclo variável entre 110 e 180 dias, em função da caracterização dos cultivares. É considerada uma das principais espécies utilizadas no mundo, e uma das mais eficientes na conversão de energia radiante e, conseqüentemente, na produção de biomassa, visto que uma semente que apresenta massa média de 260 mg

resulta, em um período de tempo próximo a 140 dias, em cerca de 0,8 a 1,2 Kg de biomassa de planta (Fancelli & Dourado, 1997).

As condições ótimas para a produção de milho são alta luminosidade, temperaturas diurnas em torno de 25-30°C, temperaturas noturnas amenas (inferiores a 24°C e superiores a 18°C) e boa disponibilidade de água, principalmente na fase de germinação-emergência, florescimento e formação do grão. No Estado de São Paulo, a produtividade média para o milho na safra normal é de 3.200 Kg ha⁻¹, sendo que a produtividade na “safrinha” tem maior variação entre os anos, devido a maiores riscos climáticos, com média de 2.200 Kg ha⁻¹ de grãos (Denucci, 1999).

O cultivo do milho é largamente adotado para a produção de palhada (Cardoso, 1998) e grãos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Histórico das culturas

O experimento, realizado nos anos agrícolas de 1999/2000 e 2000/2001, atravessou períodos de distribuição irregular das chuvas. Coincidentemente, ambos os anos agrícolas caracterizaram-se por atrasos na ocorrência das primeiras chuvas, sendo que a baixa disponibilidade hídrica atrasou a semeadura das culturas de verão.

Embora as condições climáticas na fase inicial de desenvolvimento do milho não tenham sido boas, devido à deficiência hídrica, no primeiro ano a precipitação pluvial e a temperatura mostraram-se favoráveis à produção de massa vegetal, garantindo a implantação do sistema de semeadura direta.

O milho, no primeiro ano de cultivo e em ocasião que antecedia a dessecação, atingiu 1,4 m de altura, com bom perfilhamento e produção média de 10 t ha⁻¹ de matéria seca da parte aérea, independente da presença ou não da calagem. Sendo assim, este primeiro cultivo teve sua produção de resíduos vegetais estudada para caracterização geral dos

teores de macronutrientes encontrados na parte aérea deste vegetal, assim como os valores de extração. Os dados citados encontram-se nos Quadros 6 e 7.

Quadro 6: Produção de matéria seca e teores de macronutrientes na parte aérea do milho e soja, em sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2000.

Cultura	M.S.	N	P	K	Ca	Mg	S
	t ha ⁻¹	----- g Kg ⁻¹ -----					
Milho	10,0	13,2	1,9	23,0	4,2	3,6	2,5
Soja	2,2	31,4	1,1	14,4	8,6	2,8	2,6

Quadro 7: Extração estimada de macronutrientes pela parte aérea do milho e soja, em sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2000.

Cultura	N	P	K	Ca	Mg	S
	----- Kg ha ⁻¹ -----					
Milho	132	19	220	42	36	25
Soja	69,1	2,4	31,7	18,9	6,2	5,7

A soja, cultivada em “safrinha”, produziu em média 2,2 t ha⁻¹ de matéria seca da parte aérea, considerando que não houve diferença significativa entre os tratamentos. A quantidade é considerada baixa quando comparada com a produzida em culturas de verão, como as obtidas por Tanaka et al. (1993), de 18,8 t ha⁻¹, resultado da média de 5 cultivares analisados. Os teores de macronutrientes na parte aérea também não

apresentaram diferenças significativas, estando as médias obtidas expressas nos Quadros 6 e 7. Apesar da baixa produção de resíduos, os dados obtidos para a cultura da soja são de relevante interesse, uma vez que sua decomposição é rápida, e a reciclagem de nutrientes para a superfície do solo importante na avaliação da camada superficial do solo.

No segundo ano de semeadura, as condições climáticas iniciais voltaram a se repetir, prejudicando a germinação e desenvolvimento inicial das plantas de milho, bem como a produção de fitomassa para cobertura do solo. O stand final da cultura do milho apresentou algumas falhas de distribuição das plantas, embora, posteriormente, as plantas tenham apresentado desenvolvimento e perfilhamento regulares, resultando em cobertura uniforme do solo. A produção de massa seca ficou em torno de $2,5 \text{ t ha}^{-1}$, independente da presença ou não do calcário aplicado em superfície.

O milho, cuja semeadura foi tardia, apresentou crescimento uniforme, cujos resíduos, rolados após a colheita, permaneceram na superfície do solo até o momento da coleta de amostras de solo para análises físicas e químicas.

4.2 Densidade do solo

Os valores da densidade do solo, vinte e quatro meses após a implantação do sistema de semeadura direta, encontram-se no Quadro 8. Comparando-se os tratamentos, em cada camada, não foram encontradas diferenças significativas entre os valores.

Quadro 8: Densidade do solo em diversas profundidades, em função dos tratamentos, após vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2001.

Tratamentos	Profundidade de coleta de amostras - m			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	----- Ds (Kg dm ⁻³) -----			
Caracterização Inicial	1,52	1,52	1,50	1,42
Sem Vegetação – Sem Calcário	1,47	1,46	1,44	1,35
Sem Vegetação – Com Calcário	1,39	1,42	1,41	1,31
Milheto – Sem Calcário	1,40	1,47	1,46	1,38
Milheto - Com Calcário	1,39	1,48	1,48	1,43
Valor de F	0,89	1,2	0,90	0,90
Pr > F	0,5427	0,3792	0,5359	0,5390
C.V. (%)	6,20	3,32	3,94	6,20

Médias seguidas pelas mesmas letras dentro da coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Sendo assim, não houve influência das condições de cobertura vegetal ou de calagem nesta propriedade do solo, seja de forma isolada ou combinada.

Considerando as condições diferenciadas de implantação do sistema de semeadura direta, isto é, o caráter emergencial, através da dessecação da aveia preta e vegetação espontânea, pode-se considerar um tempo extra de seis meses antes da instalação do experimento, em se tratando do estudo das características físicas do solo. Desde o plantio da aveia preta, como cultura de inverno, não houve revolvimento do solo nas entrelinhas das culturas.

Tormena et al. (1998) encontraram valores semelhantes de densidade para um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, em um ano de experimentação, sendo que o

principal fator das alterações das propriedades físicas do solo foi o tráfego de máquinas na área, indiferente do método de preparo inicial e calagem. De acordo com Tormena et al. (1998), os possíveis efeitos do revolvimento na densidade do solo da área experimental do presente estudo, ocorridos durante o preparo para a semeadura da aveia preta, teriam sido eliminados pelo tráfego das máquinas e ação do rolo-faca, até o momento da amostragem inicial, resultado da limitação do perfil do solo por camadas compactadas em subsuperfície. Deve-se levar em consideração, também, a acomodação natural das partículas do solo no decorrer do período experimental.

A distribuição inicial uniforme da densidade ao longo do perfil, até os 0,40 m de profundidade, com valores médios entre 1,42 e 1,52 Kg dm⁻³, indica que o solo da área experimental encontrava-se compactado de longa data, provocando, assim, a rápida compactação das camadas superiores, após a interferência de máquinas e implementos agrícolas.

Os valores médios obtidos para densidade apontam para a evolução de uma situação originada na formação inicial de “pé-de-arado” e/ou “pé-de-grade” (Figura 5), situado entre 0,05 a 0,20 m de profundidade. Castro et al. (1987), Eltz et al. (1989), Stone & Silveira (1999) e Silva et al. (2000) também observaram a presença de camada mais compactada nesta mesma profundidade, originada no sistema de cultivo convencional adotado anteriormente.

Eltz et al. (1989) encontraram valores inferiores de densidade para um Latossolo Bruno álico, de textura argilosa, também sem diferenças significativas entre os métodos de preparo do solo, após seis anos de experimentação. Foram observadas heranças do

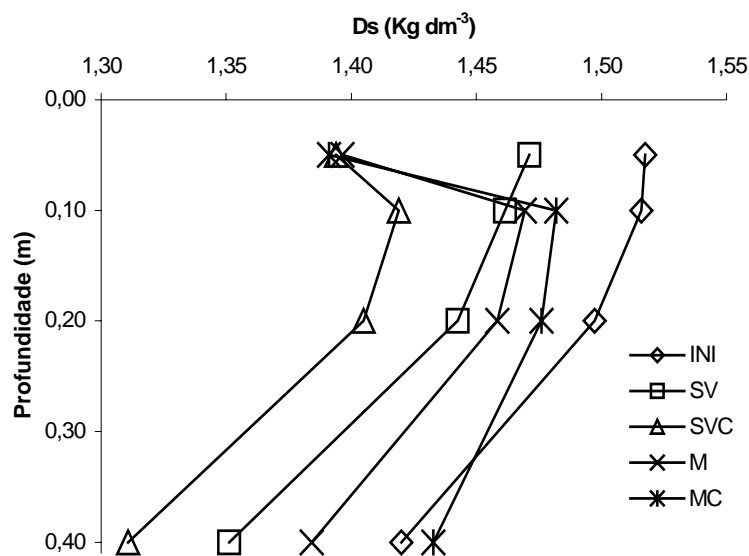


Figura 5: Densidade do solo em diferentes profundidades (médias), aos vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta, para caracterização inicial (INI) e tratamentos sem vegetação sem calcário (SV), sem vegetação com calcário (SVC), milho sem calcário (M) e milho com calcário (MC).

cultivo convencional, anteriormente adotado naquela área experimental, através dos maiores valores apresentados para a camada de 0,10-0,20 m, em todos os tratamentos. Sendo assim, naquele tratamento que recebeu arado a 0,20 m de profundidade no inverno e verão, a maior densidade na camada de 0,10-0,20 m pode ser explicada pelo efeito da limitação das camadas superficiais, conforme sugerido por Tormena et al. (1998).

A possibilidade de ter ocorrido, inicialmente, a formação de pé-de-arado e/ou pé-de-grade na área experimental é aceitável, pois Castro et al. (1987) encontraram o pé-de-arado na camada de 0,10-0,20 m de dois Latossolos Vermelho-Amarelo, com valores médios de 1,24 Kg dm⁻³ para o solo de textura argilosa, e 1,46 Kg dm⁻³, para o solo de textura

média. Para Beutler et al. (2001), a maior densidade de $1,11 \text{ Kg dm}^{-3}$ na camada de 0,05-0,20 m de um Latossolo Vermelho muito argiloso foi atribuída à ação da grade aradora no solo.

A amplitude de variação das densidades para solos argilosos, segundo Kiehl (1979), situa-se dentro da faixa de $1,00$ a $1,25 \text{ Kg dm}^{-3}$, caracterizando o solo estudado como compactado, com provável origem no cultivo convencional adotado anteriormente, cujas características foram mantidas por ocasião da implantação do sistema de semeadura direta.

No entanto, os valores médios para densidade encontrados neste trabalho estão próximos aos encontrados por Ros et al. (1997), também utilizando anéis volumétricos, em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico textura argilosa, coberto por campo nativo preservado, com valores na ordem de $1,36 \text{ Kg dm}^{-3}$, $1,40 \text{ Kg dm}^{-3}$ e $1,35 \text{ Kg dm}^{-3}$ para as camadas de 0-0,07; 0,07-0,14 e 0,14-0,21 m, respectivamente. Isso demonstra que é possível encontrar solos em condições naturais com valores de densidade superiores aos limites estabelecidos por Kiehl (1979).

Os valores médios de densidade obtidos encontram-se abaixo do considerado limitante ao crescimento radicular (Kiehl, 1979; Corsini & Ferraudo, 1999; Rosolem et al., 1999) para a maioria das espécies, compreendido entre $1,6$ e $1,7 \text{ Kg dm}^{-3}$ para os solos argilosos. Desta forma, as culturas adotadas no experimento puderam se desenvolver sem sérias limitações ligadas à densidade do solo (Ros et al., 1997), provavelmente em condições semelhantes a muitas lavouras comerciais observadas por DeMaria et al. (1999), no Vale do Paranapanema.

A densidade não foi influenciada significativamente pela aplicação do calcário em superfície durante os vinte e quatro meses de experimentação.

4.3 Classe e estabilidade de agregados

Os dados médios obtidos para Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e para as porcentagens de agregados > 2 mm, cujos valores encontram-se expressos no Quadro 9, não mostram diferenças significativas entre os tratamentos.

As camadas de 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m apresentaram os valores médios de DMP e porcentagem de agregados > 2 mm distribuídos uniformemente, demonstrando que os resíduos vegetais de milho e calagem, em vinte e quatro meses de experimentação, não influenciaram nestas propriedades físicas do solo abaixo dos 0,05 m de profundidade.

Para a camada de 0-0,05 m, os dados médios de DMP devem ser analisados com cautela, pois a superfície do solo sofreu freqüentes intervenções das semeadoras, podendo os agregados do solo terem sido destruídos pelos discos de corte e sulcadores da semeadora, de igual modo ao ocorrido no trabalho de Ros et al. (1997). Embora estatisticamente não significativa, pode-se observar a influência sistemática da ação das semeadoras no revolvimento do solo (Figura 6). Comparando-se o solo, em seu estágio inicial, antes da semeadura direta da soja, com os tratamentos conduzidos na ausência de vegetação (SV e SVC) para formação de palhada, percebe-se uma ligeira queda no DMP dos agregados

Quadro 9: Diâmetro médio ponderado e agregados > 2 mm no solo em diversas profundidades, em função dos tratamentos, após vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2001.

Tratamentos	Profundidade de coleta de amostras - m			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	----- DMP (mm) -----			
Caracterização Inicial	2,17	2,25	2,13	2,28
Sem Vegetação – Sem Calcário	1,99	2,09	2,42	2,13
Sem Vegetação – Com Calcário	1,95	2,06	2,49	2,44
Milheto – Sem Calcário	1,84	2,24	2,26	2,26
Milheto - Com Calcário	1,48	2,04	2,37	2,44
Valor de F	1,37	0,55	0,80	1,11
Pr > F	0,3027	0,7832	0,6015	0,4156
C.V. (%)	20,46	10,98	14,41	9,47
	----- Agregados > 2 mm (%) -----			
Caracterização Inicial	62,04	64,52	58,30	64,26
Sem Vegetação – Sem Calcário	57,47	61,40	74,97	61,80
Sem Vegetação – Com Calcário	56,36	60,72	78,37	74,56
Milheto – Sem Calcário	53,24	67,94	68,65	68,10
Milheto - Com Calcário	37,44	59,03	73,37	75,08
Valor de F	1,12	0,46	1,18	1,14
Pr > F	0,4096	0,8469	0,3833	0,4023
C.V. (%)	19,48	11,10	14,68	10,77

Médias seguidas pelas mesmas letras dentro da coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Valores em porcentagem convertidos para realização do teste.

do solo devido à ação das semeadoras de soja e milho a cada 0,45 m de distância, respectivamente, no primeiro e segundo anos de cultivo, com capina manual esporádica. Para os tratamentos contendo milheto como planta forrageira (M e MC), acrescenta-se a ação da semeadora nas linhas a cada 0,20 m, por dois anos consecutivos.

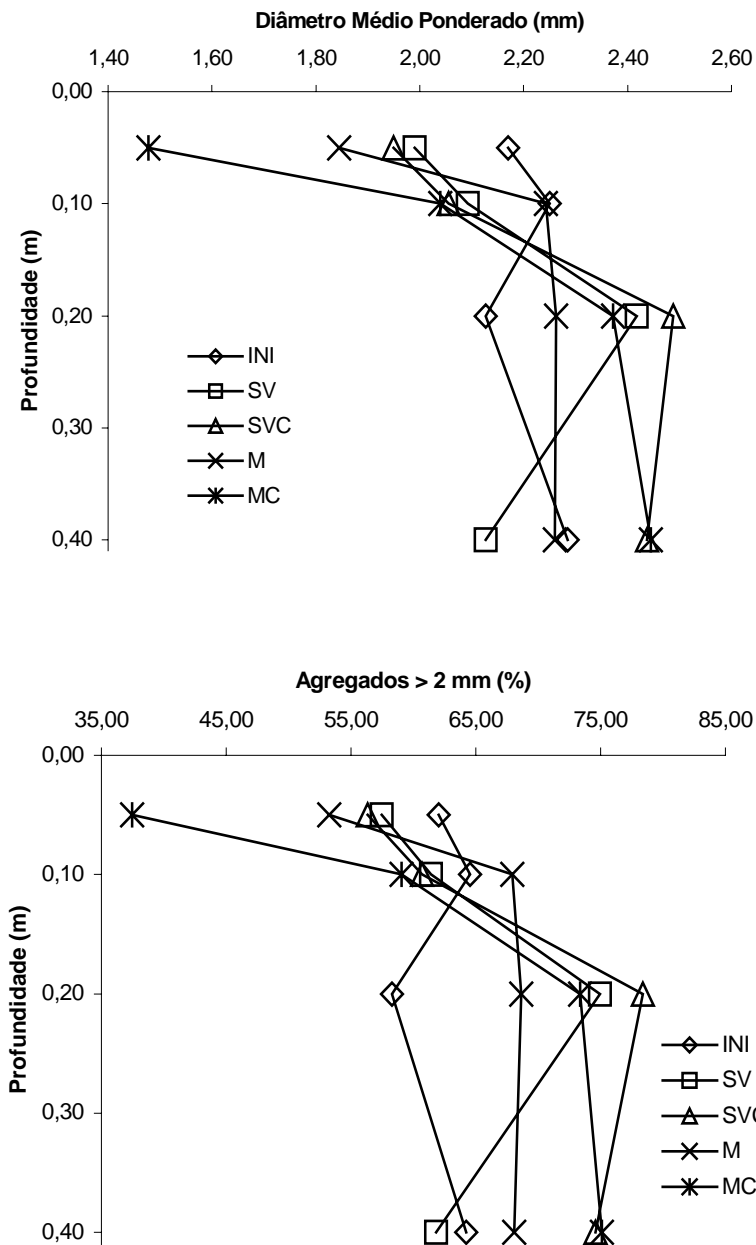


Figura 6: Diâmetro médio ponderado (DMP) e agregados > 2 mm em diferentes profundidades (médias), aos vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta, para caracterização inicial (INI) tratamentos sem vegetação sem calcário (SV), sem vegetação com calcário (SVC), milho sem calcário (M) e milho com calcário (MC).

Silva & Mielniczuk (1998) puderam observar uma melhor distribuição e estabilização dos agregados da camada superficial do solo em sistema de semeadura direta, através da influência da cultura de aveia. Também outros autores como Alvarenga et al. (1986), Eltz et al. (1989), Campos et al. (1995), Castro Filho et al. (1998) e Silva et al. (2000) puderam observar maior tamanho de agregados neste sistema de cultivo. Porém, cabe lembrar que estes resultados referem-se a períodos superiores a seis anos de experimentação.

A mobilização do solo através das capinas manuais e da interferência das semeadoras, embora sendo mínima, não permite conclusões aprofundadas sobre a influência dos resíduos vegetais e da calagem para a camada de 0-0,05 m. No entanto, em se tratando dos resíduos vegetais em superfície, os autores anteriormente citados comprovam que estas influências são superadas no decorrer do tempo, provavelmente em consequência de novas adições de materiais vegetais e ganho na estabilidade dos agregados.

Castro Filho et al. (1998) observaram que a agregação do solo em sistema de semeadura direta era favorecida pela cultura do milho, em razão da maior quantidade de C-orgânico, resultante do acúmulo de resíduos vegetais com relação C/N mais alta. No entanto, a amostragem do solo do presente estudo foi realizada em período subsequente à rolagem do milho, no inverno do ano de 2001, quando os resíduos vegetais desta cultura ainda se encontravam na superfície do solo, e o solo não acusava incremento nos teores de matéria orgânica, mesmo nos tratamentos que incluíam o milheto como cobertura vegetal (M e MC).

É possível que as plantas e os resíduos vegetais de milheto exerceram influência gradativa na distribuição e estabilidade dos agregados da camada de 0-0,05 m de solo, através dos mecanismos sugeridos por Kiehl (1979) e Harris et al. (1966), citado por

Roth et al. (1986), mas que esta influência não tenha sido capaz de resistir ao impacto mecânico, por ainda não haver estabilidade estrutural suficiente para tal (Figura 6). Cabe lembrar que Ros et al. (1997) constataram a quebra dos agregados pelos sulcadores da semeadora.

4.4 Macro e microporosidade

Os resíduos vegetais de milho e a calagem superficial não influenciaram significativamente a macroporosidade do solo, conforme pode ser observado no Quadro 10. A microporosidade do solo foi alterada significativamente pelo tratamento com milho e calcário (MC), nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Nestas mesmas camadas de solo, percebe-se uma tendência de aumento da macroporosidade. Essas variações provavelmente possam ser atribuídas ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas de milho e milho.

Segundo Kiehl (1979), os valores médios de porosidade total encontrados para solos argilosos estão compreendidos na faixa de 40 a 60%, colocando a área experimental no limite inferior para esta propriedade física. No entanto, o autor firma que o conhecimento da porosidade total de um solo, isoladamente, não representa uma informação muito importante, sendo necessário conhecer a distribuição dos poros por tamanho.

Quadro 10: Macroporosidade e microporosidade do solo em diversas profundidades, em função dos tratamentos, após vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2001.

Tratamentos	Profundidade de coleta de amostras - m			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
----- Macroporosidade (%) -----				
Caracterização Inicial	8,85	8,12	8,36	9,97
Sem Vegetação – Sem Calcário	9,87	10,37	12,35	11,11
Sem Vegetação – Com Calcário	11,48	9,70	11,24	11,18
Milheto – Sem Calcário	11,00	8,99	9,37	11,17
Milheto - Com Calcário	10,90	10,48	12,06	11,75
Valor de F	0,28	0,87	1,95	1,05
Pr > F	0,9491	0,5567	0,1547	0,4499
C.V. (%)	19,22	11,12	9,07	9,40
----- Microporosidade (%) -----				
Caracterização Inicial	35,31	36,54	37,02 a	35,44 a
Sem Vegetação – Sem Calcário	36,56	35,67	34,38 a	35,98 a
Sem Vegetação – Com Calcário	34,92	35,61	34,19 a	35,41 a
Milheto – Sem Calcário	31,98	34,01	33,54 a	33,31 ab
Milheto - Com Calcário	31,28	29,20	26,44 b	25,63 b
Valor de F	1,41	2,43	7,96	5,56
Pr > F	0,2941	0,0905	0,0014	0,0061
C.V. (%)	4,96	5,41	3,81	6,03

Médias seguidas pelas mesmas letras dentro da coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Valores em porcentagem convertidos para realização do teste.

Observando-se os valores percentuais de microporosidade, para a camada superficial do solo, observa-se uma tendência de diminuição nos tratamentos onde se empregou o milho (Figura 7). Já nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, para o tratamento com milho e calagem (MC), observam-se diferenças significativas nos valores encontrados.

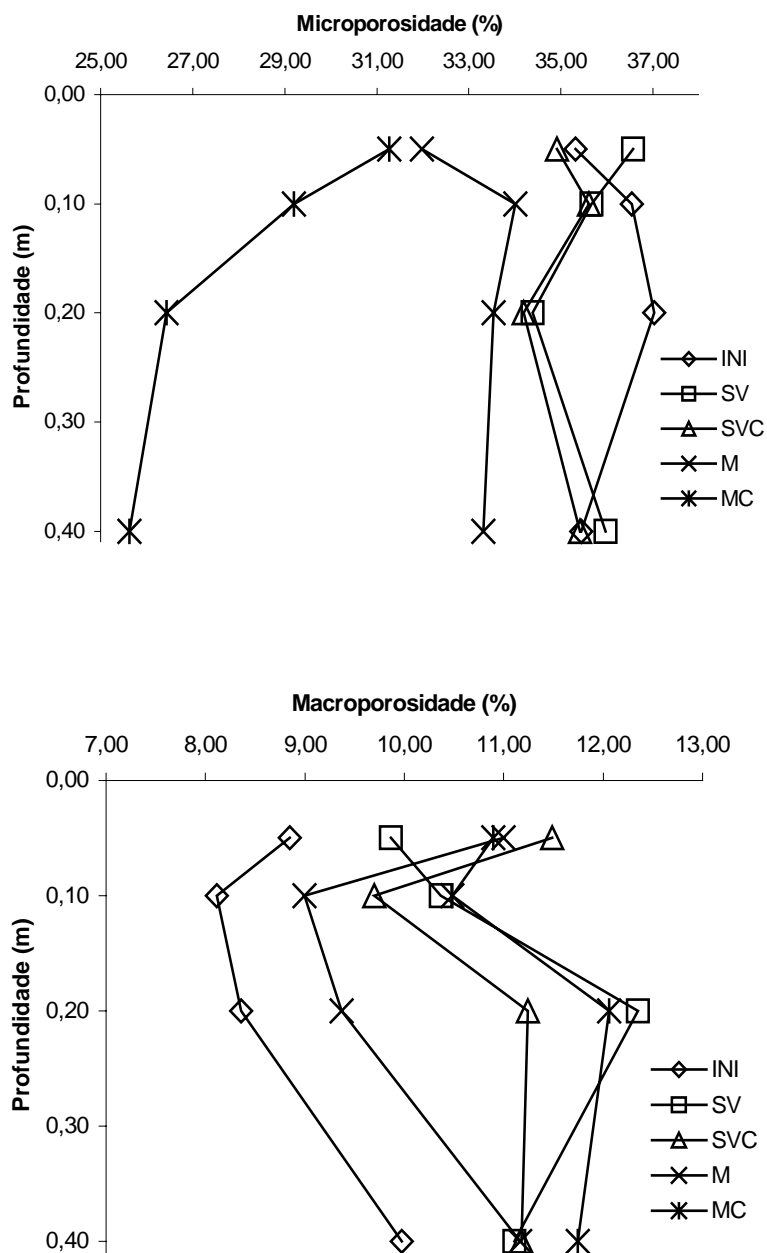


Figura 7: Microporosidade e Macroporosidade em diferentes profundidades (médias), aos vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta, para caracterização inicial (INI), tratamentos sem vegetação sem calcário (SV), sem vegetação com calcário (SVC), milho sem calcário (M) e milho com calcário (MC).

Esses valores mostram-se coerentes com os valores mais elevados da macroporosidade, embora não tenham sido verificadas diferenças significativas para esta propriedade.

Apenas observando os resultados estatísticos obtidos para densidade, matéria orgânica, cálcio, magnésio, estabilidade de agregados e agregados > de 2 mm, não se pode explicar as diferenças estatisticamente significativas observadas nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, para o tratamento com milheto e calagem (MC), pois não houve influência direta dos resíduos vegetais do milheto adicionados em superfície e da calagem superficial, mas sim indireta, provavelmente através da influência radicular das plantas na rotação milheto-milho, o que estaria de acordo com as constatações feitas por Beutler et al. (2001).

Embora o sistema radicular do milheto não tenha sido diretamente avaliado neste trabalho, acredita-se que o forte período de estiagem ocorrido no início do ciclo vegetativo do milheto (Quadro 2), com a continuidade do crescimento vegetativo da planta em condições adequadas de clima, ocorridas posteriormente, o tenha favorecido duplamente nas condições de calagem superficial. As plantas, através do enraizamento profundo induzido pela superfície menos úmida inicial do solo, e posteriormente pelo seu melhor estado nutricional, puderam explorar tanto a camada superficial corrigida do solo, como aquelas mais profundas e úmidas.

O melhor aproveitamento do calcário aplicado em superfície pelo milheto promoveu o desenvolvimento radicular desta planta para as camadas inferiores ao provável pé-de-grade e/ou pé-de-arado, com menor densidade média, formando poros contínuos que puderam ser explorados pelas raízes do milho. No tratamento com milheto e calagem (MC), este “rompimento” físico teria favorecido a cultura do milho, planta

considerada sensível à resistência do solo à penetração (Rosolem et al, 1999) e à rotação de culturas (beutler et al., 2001).

Considerando o trabalho de Logsdon et al. (1992), citado por Rosolem et al. (1999), para um solo argiloso, onde o aumento da compactação do solo fez com que as raízes do milho crescessem ao redor dos torrões e não em seu interior, pode-se supor que os espaços deixados pelas raízes decompostas de milho foram utilizados pelas raízes do milho, sendo estas capazes de explorar mais intensamente a camada de 0,20-0,40 m do solo. Segundo Rosolem et al. (1999), o comportamento radicular do milho pode ser modificado pelas condições do ambiente onde estas desenvolvem, o que pode explicar a queda na porcentagem de microporos para as camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, nos tratamentos onde o milho foi adotado.

De acordo com o descrito anteriormente, a atuação do sistema radicular do milho no solo, seguido do mesmo efeito pelas raízes do milho e com aproveitamento dos poros contínuos deixados por aquela cultura, imprimiram às camadas inferiores do tratamento com milho e calagem (MC) uma distribuição diferente na porosidade do solo (Figura 7).

Beutler et al. (2001) comenta que valores relativamente elevados de resistência do solo à penetração das raízes são admitidos em sistema de semeadura direta, pois as raízes das culturas crescem por canais contínuos deixados pela fauna do solo e pelo sistema radicular decomposto, vindo a reforçar os comentários feitos neste trabalho ao afirmar que a produtividade média do milho foi maior nos sistemas sob rotação. A alta densidade do solo e os baixos valores percentuais de macroporos encontrados no solo na área experimental, desde

o início do experimento, fizeram com que o desenvolvimento radicular do milheto, e posteriormente o do milho, afetasse os valores percentuais da microporosidade.

Para os tratamentos sem milheto, a camada compactada situada entre 0,05 e 0,20 m atuou contra um desenvolvimento vigoroso do sistema radicular da planta do milho. Mudanças na macroporosidade podem resultar em um grande impacto na capacidade produtiva de um solo (Amezquita et al., 1998), afetando o sistema radicular das culturas (Tormena et al., 1998).

Para as condições impostas ao campo experimental, a influência do sistema radicular das culturas torna-se uma importante alternativa na recuperação do solo depauperado, junto ao acúmulo gradativo da palhada na superfície do solo, porém, de efeito lento. Corsini & Ferraudo (1999) constataram uma lenta recuperação em Latossolo Roxo textura argilosa, para densidade, porosidade e níveis de desenvolvimento radicular, que se iniciava no quarto ano e se completava no oitavo, atingindo níveis semelhantes ao obtido no início do experimento.

Nas condições experimentais, os valores para macroporosidade estão próximos do limite crítico de 10%, referido por Kiehl (1979, 1985), cujo teste estatístico não foi capaz de detectar diferenças significativas entre os tratamentos. Eltz et al. (1989) também não encontraram diferenças para esta propriedade entre tratamentos com diversos manejos de solo, ao comparar as camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m separadamente, obtendo valores semelhantes aos deste trabalho.

Sendo assim, pode-se inferir que os solos sob sistema de semeadura direta, manejados com uma adequada rotação de culturas (Campos et al., 1995; Ros et al., 1997; Beutler et al., 2001), tendem a apresentar melhores características físicas, químicas,

físico-químicas, além das biológicas, mostrando a importância das espécies de cobertura na recuperação gradativa de áreas degradadas pelo uso excessivo de máquinas agrícolas (Alvarenga et al., 1986; Eltz et al., 1989; Campos et al., 1995; Castro Filho et al., 1998; Silva et al., 2000).

4.5 Matéria Orgânica

Os teores médios de matéria orgânica no solo (Quadro 11) não diferiram significativamente entre tratamentos. Observa-se que os teores obtidos inicialmente, na ocasião da implantação do sistema de semeadura direta, foram mantidos após 24 meses, em todas as camadas estudadas.

A manutenção dos valores originais dos teores de matéria orgânica estão de acordo com os observados por Tognon et al. (1997) e Eltz et al. (1989), indicando uma rápida mineralização dos resíduos vegetais após a rolagem (Figura 8). Diversos autores encontraram um incremento da matéria orgânica em sistemas de semeadura direta (Muzilli, 1983; Merten & Mielniczuk, 1991; Campos et al., 1995; Ros et al., 1997; Cosentino et al., 1998; Castro Filho, 1998; Silva et al., 2000), principalmente na camada superior do solo, mas, cabe ressaltar que os valores encontrados por eles são resultado de acúmulos em períodos superiores a três anos de experimentação.

Quadro 11: Teores de matéria orgânica no solo em diversas profundidades, em função dos tratamentos, após vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2001.

Tratamentos	Profundidade de coleta de amostras - m			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	----- M.O. (g dm ⁻³) -----			
Caracterização Inicial	23,00	24,00	22,50	21,50
Sem Vegetação – Sem Calcário	25,25	23,75	23,00	21,75
Sem Vegetação – Com Calcário	27,25	26,75	25,00	23,50
Milheto – Sem Calcário	23,25	26,25	25,00	22,50
Milheto - Com Calcário	27,00	24,50	21,50	20,00
Valor de F	0,70	0,41	1,90	0,41
Pr > F	0,6748	0,8728	0,1731	0,8740
C.V. (%)	15,16	15,98	9,30	12,56

Médias seguidas pelas mesmas letras dentro da coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A reciclagem de nutrientes, oriundos das camadas mais profundas, observada neste trabalho através das tendências apresentadas por alguns elementos, através de seus valores médios, também foi citada por outros autores (Amado, 2000; Calegari, 2000; Chueiri & Vasconcellos, 2000).

Não houve influência significativa dos resíduos vegetais de milho e da calagem superficial nos teores de matéria orgânica do solo, em nenhuma das camadas analisadas, pois as condições climáticas durante o experimento favoreceram a decomposição dos resíduos do milho. Também, os resíduos da cultura do milho ainda permaneciam sobre a superfície do solo, não tendo havido, portanto, tempo para elevar os teores de matéria orgânica da camada superficial do solo.

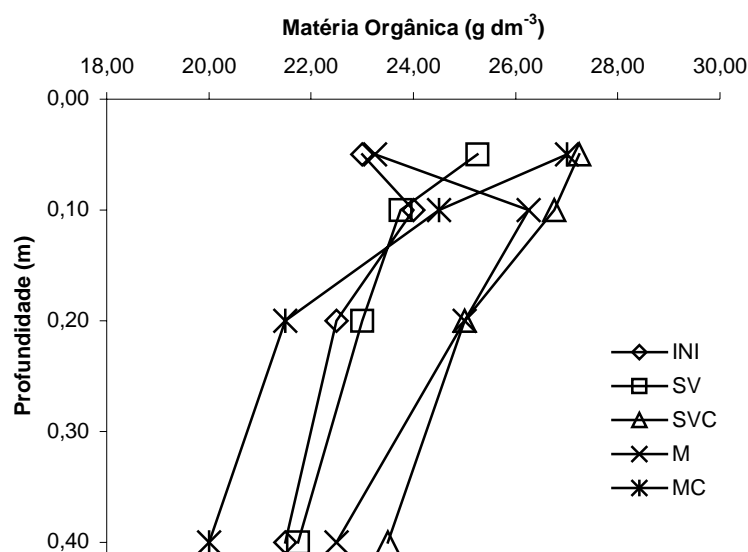


Figura 8: Teores de matéria orgânica em diferentes profundidades (médias), aos vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta, para caracterização inicial (INI), tratamentos sem vegetação sem calcário (SV), sem vegetação com calcário (SVC), milho sem calcário (M) e milho com calcário (MC).

4.6 Alterações e influências nas características químicas

4.6.1 pH do solo e teores de H+Al

A comparação entre os tratamentos aplicados demonstrou que a aplicação superficial de calcário, sem incorporação no solo, foi capaz de alterar significativamente os valores de pH e teores H+Al na camada de 0-0,05 m (Quadro 12). Para as camadas inferiores, não foram verificadas diferenças significativas para estes dados.

Quadro 12: Valores de pH e teores de H+Al no solo em diversas profundidades, em função dos tratamentos, após vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2001.

Tratamentos	Profundidade de coleta de amostras - m			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	----- pH CaCl ₂ -----			
Caracterização Inicial	4,7 c	5,0	4,3	4,3
Sem Vegetação – Sem Calcário	5,0 c	5,0	4,8	4,1
Sem Vegetação – Com Calcário	5,8 ab	5,4	4,7	4,1
Milheto – Sem Calcário	5,3 bc	5,0	4,6	4,1
Milheto - Com Calcário	6,4 a	5,3	5,2	4,1
Valor de F	9,46	0,64	3,82	1,46
Pr > F	0,0010	0,7164	0,0277	0,2833
C.V. (%)	5,43	11,78	10,57	7,64
	----- H+Al (mmol _c dm ⁻³) -----			
Caracterização Inicial	42,0 ab	36,0	63,0	73,0
Sem Vegetação – Sem Calcário	43,5 a	51,0	57,5	84,0
Sem Vegetação – Com Calcário	25,2 bc	35,5	50,8	68,5
Milheto – Sem Calcário	40,5 ab	55,0	64,0	90,0
Milheto - Com Calcário	22,0 c	50,0	64,0	88,50
Valor de F	4,73	0,97	2,53	1,38
Pr > F	0,0138	0,5011	0,0892	0,3118
C.V. (%)	18,67	40,92	32,14	24,58

Médias seguidas pelas mesmas letras dentro da coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Nota-se através dos valores médios obtidos, embora não significativos, tendência de influência dos resíduos do milho na elevação do pH e redução dos teores de H+Al do solo na camada de 0-0,05 m, principalmente quando associado ao calcário (Figura 9). Para a camada superficial, os resultados estão de acordo com os observados por Miyazawa et

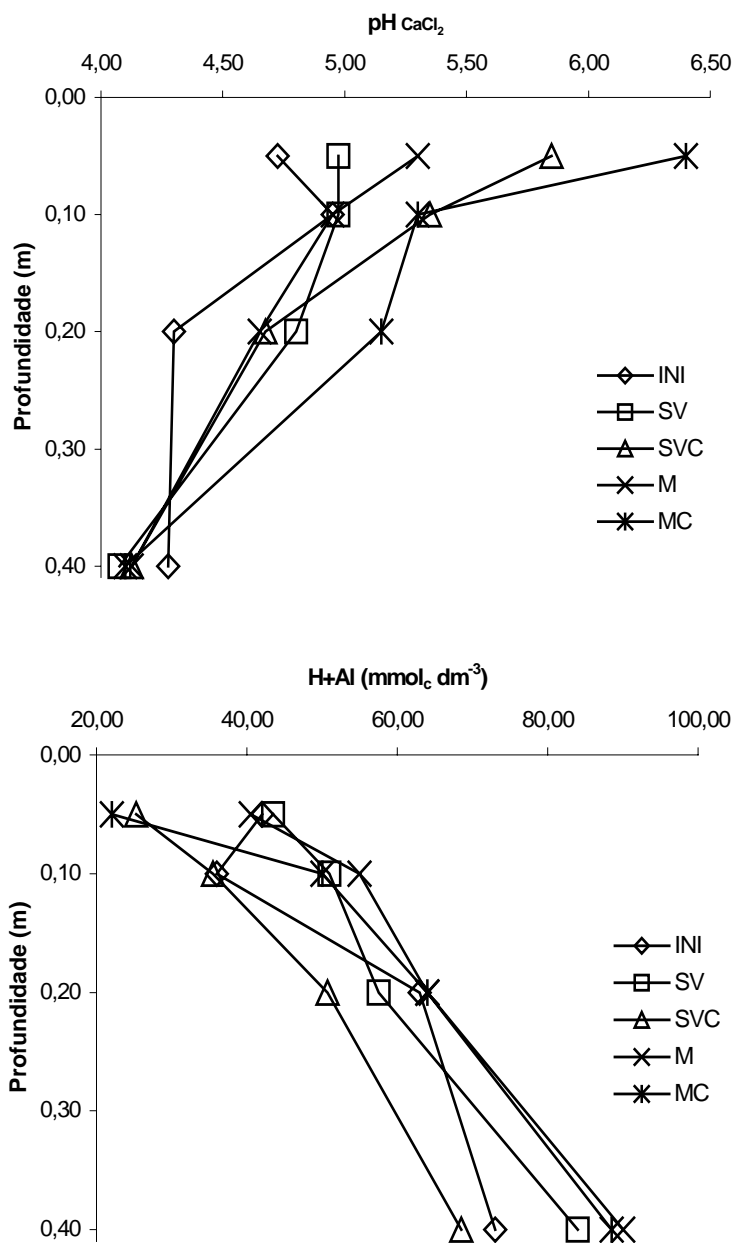


Figura 9: Efeito da aplicação de calcário sobre os valores de pH e teores de H+Al em diferentes profundidades (médias), aos vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta, para caracterização inicial (INI), tratamentos sem vegetação sem calcário (SV), sem vegetação com calcário (SVC), milho sem calcário (M) e milho com calcário (MC).

al. (1993) e Kiehl, (1985), não ocorrendo, no entanto, o deslocamento do cálcio sugerido por Caires et al. (2000) e Miyazawa et al. (2000).

Os resultados obtidos neste experimento, quanto à aplicação de calcário na superfície, confirmam a baixa mobilidade deste produto no solo, fato também observado por Pöttker & Ben (1998) e Amaral & Anghinoni (2001), demonstrando a inviabilidade de correção do subsolo a curto prazo, nas condições experimentais adotadas. Moreira et al. (2001), utilizando um sistema de semeadura direta implantado a três anos, também não encontraram diferenças significativas para os valores de pH, Ca e Mg nas camadas inferiores aos 0,05 m superficiais, após um ano da aplicação do calcário em superfície.

Observando-se os resultados do atual trabalho, e considerando ter sido constatada a necessidade de calagem no experimento conduzido por Moreira et al. (2001) em um Latossolo Vermelho textura argilosa, fica comprovado que dificilmente ocorrem condições de rápida percolação de cálcio e magnésio no perfil de solo argiloso, em sistemas de semeadura direta ainda não estabelecidos.

No entanto, conforme anteriormente comentado, é possível constatar uma baixa reação dos resíduos vegetais na superfície do solo sobre os valores médios de pH, para os tratamentos contendo milho como cobertura vegetal (M e MC) (Figura 9).

A decomposição dos resíduos de milho, em condições aeróbicas, deve ter provocado reação alcalina (Kiehl, 1985) na camada superficial do solo, formando humatos alcalinos, concorrendo, portanto, para uma tendência na elevação do pH, conforme pode ser observado no Quadro 12.

Observando-se os valores médios obtidos para diversos nutrientes no solo, assim como o comportamento da porosidade, acredita-se que os mecanismos de homogeneização física (Castro et al., 1987; Silva et al., 2000) e química (Moreira et al., 2001) do perfil do solo fiquem cada vez mais evidentes com o passar dos anos de cultivo. Os altos valores de densidade do solo, principalmente nas camadas de 0,05 a 0,20 m, a baixa presença de macroporos e a forte barreira química formada pelo H+Al são os principais responsáveis pela lentidão nas reações de recuperação do solo.

A neutralização da acidez do solo ao longo do perfil pelos resíduos de milho, não pôde ser constatada aos vinte e quatro meses após a instalação do experimento. Os resíduos vegetais de milho têm baixo poder de reação na alcalinização do solo (Cassiolato et al., 1998) e na neutralização da acidez potencial (Miyazawa et al., 2000). Portanto, seria prudente que os agricultores adotassem os procedimentos comentados por Schultz (1987), incorporando o calcário ao solo quantas vezes forem necessárias, até a completa correção do perfil com um todo. Também, as tentativas de se preservar a estrutura física original dos solos já trabalhados anteriormente são arriscadas.

4.6.2 Cálcio e magnésio

As análises estatísticas não foram capazes de detectar diferenças significativas nos teores de cálcio e magnésio para as camadas de 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, sendo apenas a camada superficial de 0-0,05 m afetada pela aplicação superficial de calcário (Quadro 13 e Figura 10), o que está de acordo com Moreira et al. (2001).

Quadro 13: Teores de cálcio e magnésio no solo em diversas profundidades, em função dos tratamentos, após vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2001.

Tratamentos	Profundidade de coleta de amostras – m			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	----- Ca (mmol _c dm ⁻³) -----			
Caracterização Inicial	22,5 b	22,0	14,8	13,5
Sem Vegetação – Sem Calcário	29,0 b	35,5	26,2	13,5
Sem Vegetação – Com Calcário	49,5 a	36,0	20,5	11,5
Milheto – Sem Calcário	30,5 b	23,8	17,8	8,5
Milheto – Com Calcário	62,0 a	26,0	34,5	7,0
Valor de F	11,40	1,15	4,57	1,21
Pr > F	0,0005	0,4077	0,0155	0,3774
C.V. (%)	17,70	44,05	46,95	64,10
	----- Mg (mmol _c dm ⁻³) -----			
Caracterização Inicial	10,8 c	12,2	8,5	7,0
Sem Vegetação – Sem Calcário	16,0 bc	20,0	16,5	8,5
Sem Vegetação – Com Calcário	20,8 ab	17,5	11,5	5,0
Milheto – Sem Calcário	14,2 bc	10,8	8,5	4,5
Milheto – Com Calcário	23,0 a	14,0	20,0	4,5
Valor de F	6,53	1,43	3,72	1,87
Pr > F	0,004	0,2934	0,0301	0,1788
C.V. (%)	16,82	41,73	50,58	54,90

Médias seguidas pelas mesmas letras dentro da coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A mobilidade do cálcio e do magnésio na forma de carbonato é baixa em solos ácidos, e seu caminhamento no perfil do solo se deve à formação de complexos organo-metálicos. Como a intensidade destas alterações químicas no solo não só depende da quantidade dos resíduos, mas também da qualidade dos ligantes orgânicos presentes nos

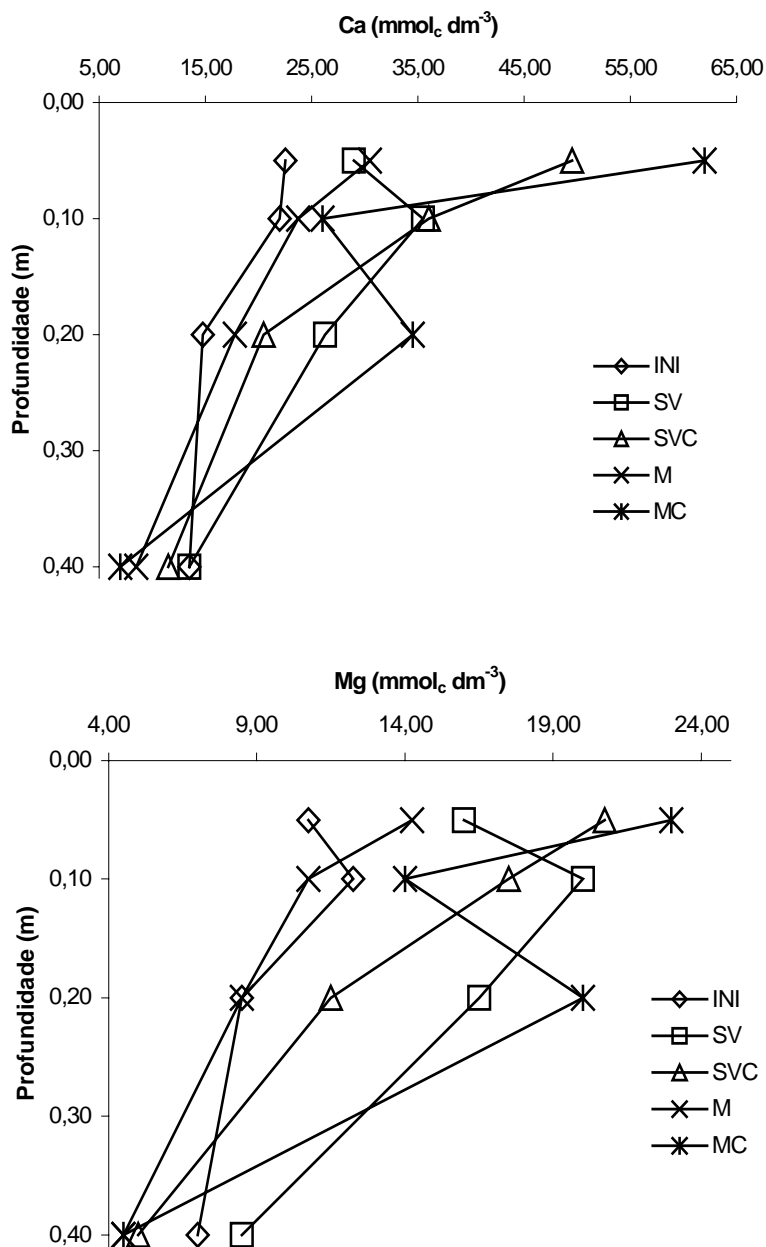


Figura 10: Efeito da aplicação superficial de calcário sobre os teores de cálcio e magnésio, em diferentes profundidades (médias), aos vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta, para caracterização inicial (INI), tratamentos sem vegetação sem calcário (SV), sem vegetação com calcário (SVC), milho sem calcário (M) e milho com calcário (MC).

resíduos empregados (Miyazawa et al., 2000), as reações perceptíveis ficaram restritas à camada superficial do solo.

No entanto, ao mesmo tempo que o milheto pode estar influenciando em um pequeno deslocamento do cálcio para as camadas subsuperficiais, este pode estar promovendo sua reciclagem para a superfície do solo. O fato pode ser percebido através da diferença entre os valores médios obtidos para a camada de 0-0,05 m, nos tratamentos com e sem vegetação, na presença de calcário, lembrando que o cálcio é absorvido pelas plantas na forma química Ca^{+2} , através do mecanismo de fluxo de massa.

A influência significativa do calcário nos teores de magnésio pode ser observada na camada superficial de 0-0,05 m, através dos valores médios deste elemento.

Pöttker & Ben (1998) também observaram aumentos dos teores de cálcio na camada superficial do solo, atribuindo o fato à retirada dos elementos das camadas mais profundas pelas culturas, e conseqüente reciclagem para a superfície.

4.6.3 Fósforo e Potássio

Os incrementos nos teores de fósforo e potássio, observados em todos os tratamentos, na camada de 0-0,05 m, resultado da adubação de plantio da cultura de soja no primeiro ano e cobertura do milho com potássio no segundo, não afetaram significativamente os teores destes elementos nas camadas inferiores, aos vinte e quatro meses após a instalação do experimento (Quadro 14).

Quadro 14: Teores de fósforo e potássio no solo em diversas profundidades, em função dos tratamentos, após vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta. Botucatu, SP, 2001.

Tratamentos	Profundidade de coleta de amostras – m			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
	----- P resina -----			
Caracterização Inicial	5,75 b	16,50	11,50	8,00
Sem Vegetação – Sem Calcário	42,25 a	30,25	20,25	5,50
Sem Vegetação – Com Calcário	28,00 ab	16,75	8,00	3,25
Milheto – Sem Calcário	27,50 ab	17,75	10,50	4,50
Milheto - Com Calcário	30,50 ab	17,50	11,50	3,00
Valor de F	4,24	1,27	1,82	1,10
Pr > F	0,0199	0,3539	0,1874	0,4283
C.V. (%)	40,26	43,02	46,13	66,25
	----- K (mmol _c dm ⁻³) -----			
Caracterização Inicial	1,58 b	1,12	0,68	0,72
Sem Vegetação – Sem Calcário	4,32 a	2,30	1,62	1,02
Sem Vegetação – Com Calcário	3,75 a	1,85	1,48	1,00
Milheto – Sem Calcário	3,62 ab	2,48	1,48	0,95
Milheto - Com Calcário	3,75 a	1,65	1,10	1,05
Valor de F	4,30	1,94	1,54	0,59
Pr > F	0,0190	0,1657	0,2580	0,7519
C.V. (%)	23,95	38,91	46,59	60,27

Médias seguidas pelas mesmas letras dentro da coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Analisando-se os valores médios obtidos para os teores de potássio para a camada de 0,05-0,10 m, observa-se uma tendência de aumento dos teores para os tratamentos na ausência de calagem superficial, fato que está de acordo com os resultados obtidos por Caires et al. (1998) em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, após doze meses da aplicação de calcário em superfície. Caires et al. (1998) associaram a retenção do

potássio, na presença do calcário, ao aumento das cargas negativas dependentes de pH, ocasionado pela calagem, onde a carga livre seria ocupada por K^+ . Para o presente trabalho, a tendência de aumento nos teores de potássio ocorreu independente da presença ou não de resíduos de milho. Já nas camadas inferiores, esta tendência desaparece (Figura 11).

O acúmulo superficial de potássio também foi observado por DeMaria & Castro (1993), que verificaram maiores teores deste elemento nos preparos reduzidos em um Planossolo Roxo, na camada de 0-0,05 m, quando comparado a outros sistemas de manejo, tendo sido inferiores apenas em amostragem realizada após um período de muitas chuvas.

No entanto, as determinações de fósforo e potássio do presente trabalho não tiveram a finalidade de determinação da fertilidade do solo, pois estes elementos apresentam grande variabilidade horizontal, e seria necessária a adoção de procedimentos diferenciados para esse objetivo, em se considerando os estudos realizados por Anghinoni (1999).

Para as condições experimentais, não houve influência dos resíduos vegetais de milho e da calagem superficial no deslocamento significativo do fósforo e do potássio para as camadas mais profundas. Embora estudos indiquem uma maior disponibilidade dos nutrientes em sistema de semeadura direta (Alvarenga et al., 1986; Campos et al., 1995; Ros et al., 1997; Castro Filho et al., 1998; Silva & Mielniczuk, 1998; Corsini & Ferraud, 1999; Silva et al., 2000), a baixa mobilidade do fósforo e o pouco tempo decorrido após a implantação do experimento, devem ter contribuído para que não ocorresse uma movimentação significativa dos elementos estudados.

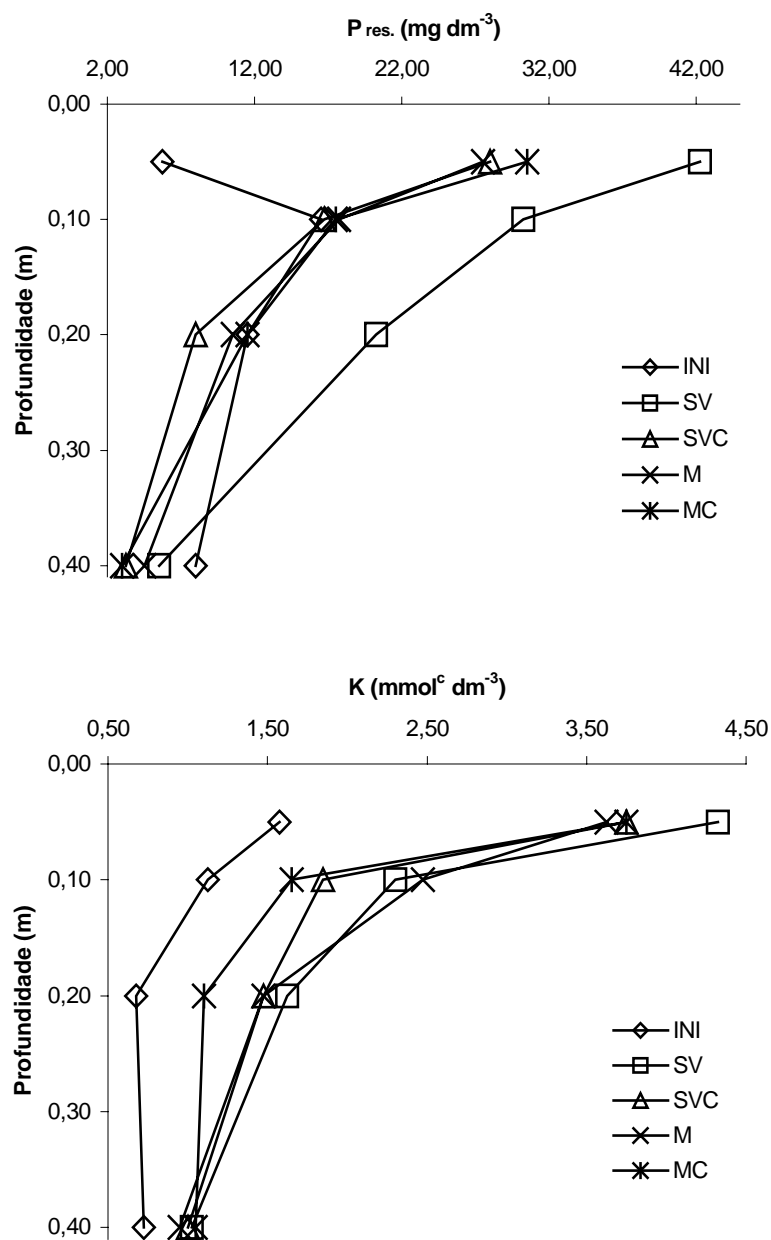


Figura 11: Teores de fósforo e potássio em diferentes profundidades (médias), aos vinte e quatro meses da implantação do sistema de semeadura direta, para caracterização inicial (INI), tratamentos sem vegetação sem calcário (SV), sem vegetação com calcário (SVC), milho sem calcário (M) e milho com calcário (MC).

4.6.4 Soma de bases e saturação por bases

Os resultados estatísticos obtidos para soma de bases e saturação por bases acompanharam os resultados verificados para o cálcio e o magnésio. Os valores médios para soma de bases, na camada superficial de 0-0,05 m, apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos com e sem calcário, comprovando a capacidade da calagem superficial em alterar quimicamente os primeiros centímetros de solo.

As alterações químicas mencionadas anteriormente não ocorreram para as camadas inferiores, indicando mais uma vez que a correção química ao longo do perfil desse solo é lenta, e pode não ser adequada para dar sustentabilidade ao sistema de semeadura direta, implantado em caráter emergencial. As constatações aqui feitas estão de acordo com os comentários de Schultz (1987), de que a primeira aplicação de calcário deveria ser incorporada ao solo, e da mesma forma as seguintes, de caráter corretivo.

4.7 Considerações finais

Os resultados obtidos neste experimento permitem inferir sobre os problemas da implantação do sistema de semeadura direta em solos argilosos, utilizando-se da técnica aqui denominada como semeadura direta emergencial, tanto considerando aqueles encontrados para as propriedades físicas do solo, como para as químicas.

A baixa mobilidade observada para os elementos químicos no perfil do solo, principalmente para o cálcio e o magnésio (Pöttker & Ben, 1998; Amaral & Anghinoni,

2001; Moreira et al., 2001), indica a inviabilidade da correção do solo a curto prazo através da calagem superficial.

Na implantação ou manutenção do sistema de semeadura direta, considerando os trabalhos anteriormente realizados por máquinas agrícolas no revolvimento do solo, deve-se levar em consideração as propriedades iniciais do solo abaixo da camada de 0-0,05 m; a camada superficial é afetada diretamente pela rotação e manejo das culturas.

Portanto, a sustentabilidade do sistema implantado, sem uma prévia correção do solo, para diversos atributos físicos e químicos, é questionável, sendo necessária, também, a realização de análises mais detalhadas do comportamento das culturas e fatores econômicos correlacionados.

A alta densidade em camadas inferiores a 0,10 m de profundidade, também observada na área experimental e provocada pelo uso intensivo de máquinas e implementos agrícolas durante o período em que foi empregado o preparo convencional, atua como barreira na distribuição de forças (Tormena et al., 1998), potencializando a degradação de algumas propriedades físicas nas camadas superiores, e fazendo desaparecer rapidamente os efeitos positivos do revolvimento inicial do solo.

Provavelmente seja inviável a manutenção de um programa de escarificação periódica do solo, conforme sugerido por Tormena et al. (1998), quando se considera, para as condições aqui estudadas, a correção física e química de todo o perfil. As vantagens quanto à praticidade e economia da remoção da camada superficial compactada podem não ser compensatórias à medida que se têm camadas subsuperficiais não corrigidas, podendo ser preferível aproveitar as possíveis vantagens da incorporação do calcário na agregação das partículas do solo em subsuperfície, pela ação deste produto (Kiehl, 1979;

Alekseeva & Alekseev, 1999; Kray et al., 1999), bem como da decomposição da matéria orgânica (Harris et al., 1966, citado por Roth et al., 1986; Kiehl, 1979), auxiliada pela compressão provocada pelas máquinas e implementos agrícolas (Silva & Mielniczuk, 1998), de ocorrência durante o período de adequações para a implantação do sistema de semeadura direta.

O estudo do desenvolvimento e da distribuição das raízes ao longo do perfil, e da produtividade das culturas, é de grande importância para a avaliação da variabilidade espacial das propriedades físicas do solo, bem como para se obter correlações destas com as propriedades químicas do solo.

5 CONCLUSÕES

Os resíduos vegetais de milho e a calagem superficial não exerceram influências significativas na densidade do solo, diâmetro médio ponderado - DMP, agregados > 2 mm e macroporosidade, vinte e quatro meses após a implantação do sistema de semeadura direta, para as condições experimentais estudadas.

A distribuição da microporosidade do solo foi afetada significativamente nas camadas inferiores a 0,20 m, nos tratamentos onde foram empregados calcário e milho.

Os teores de matéria orgânica não sofreram alterações no decorrer do período experimental, independente do tratamento empregado.

Os teores de cálcio e os valores de pH do solo sofreram alterações significativas na camada superficial entre 0-0,05 m.

Não foi observada movimentação significativa do cálcio no perfil do solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

ALEKSEEVA, T., ALEKSEEV, A. Factors affecting the structural stability of three contrasting soil of China. *Catena*, v.38, p.45-6, 1999.

ALVARENGA, R.C., FERNANDES, B., SILVA, T.C.A., RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada do milho. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.10, p.273-7, 1986.

AMADO, T.J.C. Manejo da palhada, dinâmica da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes em plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 7, 2000, Foz do Iguaçu. *Resumos...* Foz do Iguaçu: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2000. p.105-11.

AMARAL, A.S., ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.36, p.695-702,

* UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Faculdade de Ciências Agronômicas. *Normas para elaboração de dissertações e teses*. Botucatu, 1997. 35p.

2001.

AMEZQUITA, E., PRECIADO, G., MELODIAS D.M., FRESEN, D., SANZ, J.I., THOMAS, R. Soil physical characteristics under different land use systems and duration on the colombian savannas. In: CONGRES MONDIAL DE SCIENCE DU SOL, 16, 1998, Montpellier. *Proceedings...* Montpellier: Sociedade Internacional de Ciência do Solo, 1998. (Editado em CD ROM).

ANGHINONI, I. Amostragem do solo e as recomendações de adubação no sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 27, 1999, Brasília. *Resumos...* Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. (Editado em CD-ROM).

BEUTLER, A.N., SILVA, M.L.N., CURI, N., FERREIRA, M.M., CRUZ, J.C., FERREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de latossolo vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.25, p.167-77, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Zoneamento agrícola – milho – safra 2000/2001, para o MT e MS -. In: DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. *Portaria n.º 14, de 24/07/00*. Brasília: Imprensa Nacional, 2000.

CAIRES, E.F., BANZATTO, D.A., FONCECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.24, p.161-9, 2000.

CAIRES, E.F., CHUEIRI, W.A., MADRUGA, E.F., FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.22, p.27-

34, 1998.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura/adubos verdes para formação de cobertura no sistema de plantio direto. In: GRUPO PLANTIO DIRETO. *Guia para plantio direto*. Ponta Grossa: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2000. p.30-7.

CAMPOS, B.C., REINERT, D.J., NICOLODI, R., REUDELL, J. PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.19, p.121-6, 1995.

CARDOSO, F.P. *Plantio direto na palha: PDP*. 3.ed. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1998. 21p.

CARVALHO, W.A., ESPÍNDOLA, C.R., PACCOLA, A.A. *Levantamento de solos da Fazenda Lageado – Estação Experimental “Presidente Médici”*. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, 1983. 95p. (Boletim Técnico, 1).

CASSIOLATO, M.E., MEDA, A.R., PAVAN, M.A., MIYAZAWA, M. Dinâmica de íons no solo manejado com resíduos vegetais. In: FertBIO, 1998, Caxambu. *Resumos...* Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1998. p.358.

CASTRO FILHO, C., MUZILLI, O., PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.22, p.527-38, 1998.

CASTRO, O.M. Avaliação de sistemas de manejo do solo. In: SILVEIRA, G.M. *IV Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola*. Campinas: Fundação Cargill, 1990. p.34-8.

- CASTRO, O.M. *Preparo do solo para a cultura do milho*. Campinas: Fundação Cargill, 1989. 41p.
- CASTRO, O.M., CAMARGO, O.A., VIEIRA, S.R., DECHEN, S.C.F., CANTARELLA, H. Caracterização química e física de dois latossolos em plantio direto e convencional. *Bol. Cient. Inst. Agron.*, n.11, p.1-23, 1987.
- CENTURION, J.F., MORAES, M.H., LIBERA, C.L.F.D. Comparação de métodos para determinação da curva de retenção de água em solos. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.21, p.173-9, 1997.
- CHUEIRI, W.A., VASCONCELLOS, H.P. Dinâmica de nutrientes no plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 7, 2000, Foz do Iguaçu-PR. *Resumos...* Foz do Iguaçu: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2000. p.129-30
- COOAGRI. Plantio direto emergencial. *Inf. Agron.*, n.78, p.8, 1997.
- CORSINI, P.C., FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em latossolo roxo. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.34, p.289-98, 1999.
- COSENTINO, D., COSTANTINI, A., SEGAT, A., FERTIG, M. Relationships between organic carbon fractions and physical properties of an argentine soil under three tillage systems. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.33, n.6, p., 1998.
- DeMARIA, I.C. Aplicação de calcário em superfície. In: ENCONTRO PAULISTA DE SOJA, 2, 2000, Campinas. *Anais...* Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica

Integral, 2000. p.65-72.

DeMARIA, I.C., CASTRO, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um planossolo roxo, sob sistemas de manejo com milho e soja. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, v.17, p.471-7, 1993.

DeMARIA, I.C., DUARTE, A.P., CANTARELLA, H., PECHE FILHO, A., POLISINI, G. Caracterização de lavouras de milho “safrinha” no vale do Paranapanema. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO “SAFRINHA”, 5, 1999, Barretos. *Anais...* Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1999. p.229-38.

DENUCCI, S. (Coord.) *Cultura do milho (Zea mays L.)*. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1999. 33p. (Boletim Técnico, 240).

DUARTE, A.P., DeMARIA, I.C., FREITAS, J.G., CECCON, G., PECHE FILHO, A. Parâmetro de física do solo e produção de milho “safrinha” em sistemas de manejo do solo. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO “SAFRINHA”, 5, 1999, Barretos. *Anais...* Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1999. p.223-7.

ELTZ, F.L.F., PEIXOTO, R.T.G., JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.13, p.259-67, 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

- FANCELLI, A.L., DOURADO-NETO, D. Fenologia do milho. *Inf. Agron.*, n.78, p.1-16, 1997. (Encarte Técnico).
- FRANCHINI, J.C., MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A., MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.34, p.2267-76, 1999.
- JOLY, A.B. *Botânica: introdução à taxonomia vegetal*. 5.ed. São Paulo: Editora Nacional, 1979. 777p.
- KIEHL, E.J. *Fertilizantes orgânicos*. São Paulo: Ceres, 1985. 492p.
- KIEHL, E.J. *Manual de edafologia: relações solo-planta*. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.
- KRAY, C.H., ANGHINONI, I., COSTA, A.L., KLEPKER, D., CASSOL, L.C. Atributos físicos do solo afetados pelo manejo da calagem no sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 27, 1999, Brasília. *Resumos...* Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.
- MELLO, M.H.A., PEDRO JR., M.J., LOMBARDI NETO, F. Hidrologia, climatologia e agrometeorologia. In: LOMBARDI NETO, F., DRUGOWICH, M.I. (Coord). *Manual técnico de manejo e conservação do solo e água*. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1994. v.2, 168p.
- MERTEN, G.H., MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em latossolo roxo sob dois sistemas de preparo do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.15, p.369-74, 1991.
- MIRANDA, M.A.C., BRAGA, R.N. Melhoramento genético de soja na Instituto Agrônômico

- (IAC). In: ENCONTRO PAULISTA DE SOJA, 2, 2000, Campinas. *Anais...* Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 2000. p.1-13.
- MIYASAKA, S. Generalidades. In: FUNDAÇÃO CARGILL. *A soja no Brasil Central*. Campinas, 1986. v.1, 444p.
- MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A., CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.17, p.411-7, 1993.
- MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A., FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do solo por resíduos vegetais. *Inf. Agron.*, n.92, p.1-7, 2000. (Encarte Técnico).
- 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. Ciênc. Solo*, v.25, p.71-81, 2001.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.7, p.95-102, 1983.
- PAGLIAI, M., VIGNOZZI, N., PELLEGRINI, S. The quantification of soil degradation problems in relation to the impact of agricultural management practices. In: CONGRES MONDIAL DE SCIENCE DU SOL, 16, 1998, Montpellier. *Proceedings...* Montpellier: Sociedade Internacional de Ciência do Solo, 1998. (Editado em CD ROM).
- POTTKER, D., BEM, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.22, p.675-85, 1998.
- RAIJ, B., QUAGGIO, A.J. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. *Bol. Téc. Inst. Agron. Campinas*, n.81, p.1-31, 1983.

- RAIJ, B., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, 2.ed. rev. *Bol. Téc. Inst. Agron. Campinas*, n.100, p.1-285, 1997.
- RHEINHEIMER, D.S., SNATOS, E.J.S., KAMINSKI, J., BORTOLUZZI, E.C., GATIBONI, L.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.24, p.797-805, 2000.
- RIBEIRO, M.F., MIRANDA, G. Plantio direto e agricultura familiar. In: GRUPO PLANTIO DIRETO. *Guia para plantio direto*. Ponta Grossa: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2000. p.90-103.
- ROS, C.O., SECCO, D., FIORIN, J.E., PETRERE, C., CADORE, M.A., PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.21, p.241-7, 1997.
- ROSOLEM, C.A., FERNANDEZ, E.M., ANDREOTTI, M., CRUSCIOL, C.A.C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. *Pesqu. Agropecu. Bras.*, v.34, p.821-8, 1999.
- ROTH, C.H., PAVAN, M.A., CHAVES, J.C.D., MEYER, B., FREDE, H.G. Efeitos das aplicações de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltrabilidade de água e um latossolo roxo cultivado com cafeeiros. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.10, p.163-6, 1986.
- SÁ, M.A.C., LIMA, J.M., SILVA, M.L.N., DIAS JÚNIOR, M.S.D. Comparação de métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.35, p.1825-34, 2000.

- SADE, M. Uma breve história... In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 7, 2001, Foz do Iguaçu. *Resumos...* Foz do Iguaçu: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2001. p.15-7.
- SALTON, J.C., KICHEL, A.N. *Milheto: alternativa para cobertura do solo e alimentação animal*. Dourados: EMBRAPA, 1997. (Folheto).
- SCALÉA, M.J. Perguntas e respostas sobre plantio direto. *Inf. Agron.*, n.83, p.1-8, 1998. (Encarte Técnico).
- SCALÉA, M.J. Perguntas e respostas sobre plantio direto. *Inf. Agron.*, n.88, p.12-3, 1999. (Encarte Técnico).
- SCHULTZ, L.A. *Manual do plantio direto: técnicas e perspectivas*, 2.ed. Porto Alegre: Sagra, 1987. 124p.
- SILVA, I.F., MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.23, p.311-7, 1998.
- SILVA, M.L.N., CURI, N., BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e Qualidade estrutural de latossolo roxo. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.35, p.2485-92, 2000.
- SILVEIRA, H.F. Milheto BN-2. *Inf. Agron.*, n.75, p.9, 1996.
- SOUZA, M.D. *Infiltração de água em latossolo roxo distrófico submetido a diferentes manejos*. Porto Alegre, 1985. 133p. (Dissertação – Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- STONE, L.F., SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. *Pesqui. Agropecu. Bras.*, v.34,

p.83-91, 1999.

TANAKA, T.R., MASCARENHAS, H.A.A., BORKERT, C.M. Nutrição mineral da soja. In: ARANTES, N.E., SOUZA, P.I.M. (Ed.) *Cultura da soja nos cerrados*. Piracicaba: Potafos, 1993. p.105-35.

TEIXEIRA, C.F.A., PAULETTO, E.A. Influência da rotação de culturas com diferentes coberturas em plantio direto no parâmetros físicos de um podzólico vermelho amarelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. *Resumos...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira do Solo, 1997. p.24.

TOGNON, A.A., DEMATTÊ, J.A.M., MAZZA, J.A. Alterações nas propriedades químicas de latossolos roxos em sistema de manejo intensivos e de longa duração. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.21, p.271-8, 1997.

TORMENA, C.A., ROLOFF, G., SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.22, p.301-9, 1998.