

NOTA

ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO, ADUBAÇÕES E PLANTAS DE COBERTURA⁽¹⁾

Dolorice Moreti⁽²⁾, Marlene Cristina Alves⁽³⁾, Walter Veriano Valério Filho⁽³⁾ & Morel de Passos e Carvalho⁽³⁾

RESUMO

Os sistemas de preparo do solo e tipos de adubações levam à disposição diferenciada dos elementos minerais no perfil do solo, influenciando os seus atributos químicos. O objetivo deste trabalho foi verificar as alterações de alguns atributos químicos de um Latossolo Vermelho de cerrado, sob as adubações orgânica e mineral e plantas de cobertura, estabelecidas nos sistemas de semeadura direta e preparo convencional, sendo cultivado com feijão de inverno e algodão. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas. Nas parcelas foram instalados dois tratamentos (semeadura direta e preparo convencional) e, nas subparcelas, seis (esterco de galinha, esterco de galinha + metade da adubação mineral recomendada, adubação mineral, crotalária, milho e testemunha). Foram avaliados P, MO, pH, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H + Al, Al³⁺, SB, CTC_e e V nas camadas de solo de 0,00–0,10 e 0,10–0,20 m. O uso do adubo orgânico isolado ou associado com adubação mineral contribuiu para os melhores resultados dos atributos químicos do solo avaliados; as plantas de cobertura apresentaram-se semelhantes quanto aos efeitos nas propriedades químicas do solo; e a distribuição dos elementos minerais na camada superficial do solo (0,00–0,20 m) teve comportamento semelhante entre a semeadura direta e o preparo convencional.

Termos de indexação: manejo do solo, cerrado, crotalária, milho, esterco de galinha.

⁽¹⁾ Trabalho apresentado à FEIS-UNESP como parte dos requisitos necessários para obtenção de título de Mestre em Agronomia. Recebido para publicação em maio de 2005 e aprovado em dezembro de 2006.

⁽²⁾ Engenheira-Agrônoma, Discente do curso de Pós-Graduação em Sistemas de Produção, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos. Universidade Estadual Paulista – FEIS/UNESP. Caixa Postal 31, Av. Brasil 56, CEP 15385-000 Ilha solteira. E-mail: dmoretí@esalq.usp.br

⁽³⁾ Professora do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, FEIS-UNESP. E-mail: mcalves@agr.feis.unesp.br

SUMMARY: SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES OF A RED LATOSOL UNDER DIFFERENT SYSTEMS OF PREPARATION, MANAGEMENT, AND COVERING PLANTS

*Soil management systems and fertilization types make differentiated amounts of mineral elements in the soil profile available. The objective of this study was to verify alterations in chemical attributes of a Red Latosol (Typic Haplustox) of Brazilian Savannah under organic and mineral fertilization, vegetation cover in no tillage and conventional tillage systems, and with bean and cotton crops. The experiment had a randomized complete block design with split-plots. Two treatments of soil preparation (no tillage and conventional tillage) were installed in the plots. Six treatments of fertilization were installed in the subplots: chicken manure fertilizer, chicken manure fertilizer + half of the recommended mineral fertilization, mineral fertilizations, *Crotalaria juncea*, *Pennisetum americanum* and control. Soil samples were collected at depths of 0.00–0.10 m and 0.10–0.20 m for the evaluation of P, M.O., pH, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H + Al, Al³⁺ SB, CTC_e and V. The organic fertilizer only or associated with mineral fertilizer were the best treatments. The cover plants performed similarly regarding the recovery of chemical attributes. The distribution of mineral nutrients in the surface layer (0.00–0.20 m) was similar for no tillage and conventional tillage.*

*Index terms: soil management, Savannah, *Crotalaria juncea*, *Pennisetum americanum*, chicken manure.*

INTRODUÇÃO

Nos países desenvolvidos é maior a consciência sobre as distorções ambientais de sistemas de produção e de conservação de alimentos; com isso, é crescente a preocupação com a preservação dos recursos naturais usados na produção, requerendo novos métodos na exploração agropecuária, que venham a reduzir os impactos ambientais adversos, enquadrando-se aí a “agricultura sustentável” (Darolt, 1998). Por ser o solo um dos recursos de fundamental importância para a produção de alimentos e matéria-prima, a conservação e recuperação para manutenção de sua qualidade são primordiais à preservação.

A expansão da fronteira agrícola, por meio de desmatamentos, adoção de mecanização intensiva e uso de práticas de manejo inadequadas, promoveu alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, as quais levam ao processo de degradação, provocando redução da produtividade, principalmente devido ao arrastamento de solo, nutrientes e matéria orgânica, tornando a atividade mais difícil e mais onerosa (Salton & Hernani, 1998).

Vários sistemas de manejo têm sido estudados visando à manutenção da fertilidade do solo e o controle da erosão, com o objetivo de redução dos custos operacionais e aumento da renda líquida para uma agricultura sustentável.

Em áreas com semeadura direta há mais de cinco anos, em geral, verifica-se aumento significativo nos níveis de fósforo nos cinco primeiros centímetros do perfil do solo. Há redistribuição do nutriente em formas orgânicas, mais estáveis e menos suscetíveis à fixação, aumentando a eficiência do aproveitamento

dos adubos fosfatados aplicados. Com o aumento dos teores de nutrientes na camada superficial, há racionalização das adubações nas culturas subseqüentes a partir do quarto ano, em média (Kurihara et al., 1998). De acordo com esses autores, adubação verde é uma excelente fonte de nitrogênio e de outros nutrientes; como exemplo, o nabo forrageiro fornece, via reciclagem, por tonelada de massa seca produzida, cerca de 23 kg ha⁻¹ de N, 8 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 43 kg ha⁻¹ de K₂O, 29 kg ha⁻¹ de CaO e 6 kg ha⁻¹ de MgO. Também outras espécies podem ser utilizadas para reciclagem dos nutrientes, das camadas mais profundas para a superfície, como o milho e a aveia, por apresentarem sistema radicular vigoroso (Machado et al., 1998).

Em trabalho realizado por Negro (1999) com leguminosas na recuperação de solo na região de cerrado, em Latossolo Vermelho-Escuro, verificou-se que os valores de saturação por bases, de capacidade de troca catiônica e de soma de bases apresentaram diferença significativa entre os tratamentos guandu e milho mais crotalária; o guandu proporcionou melhores características químicas no solo, em relação ao milho mais crotalária.

Andreola et al. (2000), estudando as propriedades químicas de um Nitossolo influenciado pela cobertura vegetal de inverno (associação de aveia-preta com nabo forrageiro) e pelas adubações orgânica (esterco de aves) e mineral (uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio), ao coletarem amostras nas profundidades de 0,0–0,10, 0,10–0,20 e 0,20–0,30 m, observaram que o uso do adubo orgânico proporcionou acúmulo de K e C no solo, enquanto os adubos organomineral e mineral mostraram tendência à redução, principalmente dos níveis de potássio.

Com o objetivo de avaliar as propriedades químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes sistemas de produção de café (café orgânico, em conversão e convencional), Alvarenga et al. (2004) verificaram que o sistema de manejo orgânico do café, na camada superficial do solo, provocou incremento de pH, Ca, Mg, K, P, S, Zn, B, CTC, SB e V e reduziu os teores de Al trocável, quando comparado com os tratamentos em conversão e convencional. Galdo & De Maria (2004), avaliando os sistemas de semeadura direta, preparo convencional (arado de discos) e escarificação, constataram que a semeadura direta apresentou maior acúmulo de alguns nutrientes (P, K, Ca e Mg), aumentou o pH, a saturação por bases e a CTC, sendo esse efeito mais evidente na camada superficial, principalmente do P, em virtude da reciclagem do P orgânico e redução da fixação. Já Bayer & Bertol (1999) verificaram que o pH e o Al não foram afetados pelos sistemas de preparo.

Com base nesse enfoque, o presente trabalho teve como objetivo avaliar algumas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob adubações orgânica e mineral e plantas de cobertura em semeadura direta e convencional, na região de Selvíria (MS).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-UNESP, localizada no município de Selvíria-MS. As coordenadas geográficas do local em estudo são: 20 ° 22 ' de latitude sul e 51 ° 22 ' de longitude oeste de Greenwich, com altitude de 336 m. A precipitação média anual é de 1.370 mm e a temperatura média anual, de 23,5 °C. A umidade relativa do ar média é de 70–80 % nos meses mais chuvosos. De acordo com Köppen, o tipo climático é Aw, caracterizado como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo do local é do tipo Latossolo Vermelho-Escuro epieutrófico álico, textura argilosa (Demattê, 1980); de acordo com a nova nomenclatura

do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999), o solo é um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) típico argiloso, A moderado, de acordo com a adequação realizada por Souza & Alves (2003). No quadro 1 podem-se verificar resultados da análise química do solo da área experimental antes da implantação da pesquisa. Optou-se por não realizar a calagem, com o objetivo de verificar o efeito da matéria orgânica no pH do solo.

A vegetação original da área experimental era do tipo Cerrado, sendo desmatada em 1977 e cultivada no sistema convencional (gradagens aradora e niveladora), com sucessão de milho e feijão, até 1990. Depois disso, passou a ser cultivada no sistema de semeadura direta, com a mesma sucessão de culturas.

O delineamento experimental utilizado no ensaio foi de blocos casualizados com parcelas subdivididas, com 12 tratamentos e quatro repetições. As parcelas foram constituídas por dois tratamentos (semeadura direta e preparo convencional), e nas subparcelas foram instalados seis tratamentos: esterco de galinha; esterco de galinha com metade da adubação mineral recomendada; adubação mineral recomendada (280 kg da fórmula 08–28–16 ha⁻¹); crotalaria (*Crotalaria juncea*); milheto (*Pennisetum americanum*); e testemunha (sem adubação orgânica, mineral e plantas de cobertura). Utilizou-se a dose de 14,0 t de adubação orgânica (esterco de galinha) ha⁻¹ (Silva & Silva, 1998), e a adubação mineral foi realizada de acordo com os resultados da análise química do solo, segundo recomendação de Rajj et al. (1997) para cada cultura. O esterco de galinha foi adquirido em granja de galinhas poedeiras – as características deste encontram-se no quadro 2. Cada subparcela continha dimensões de 7,0 x 6,0 m e estavam espaçadas uma das outras por uma distância de 7,0 m, sendo a área útil constituída pela parte central da subparcela.

Foram realizadas duas amostragens de solo para análise química, sendo a primeira na instalação do experimento, em 5/3/2001, caracterizando a área em estudo, e a segunda depois da implantação dos tratamentos e colheita do algodão, em 3/5/2002, nas profundidades de 0,00–0,10 e 0,10–0,20 m.

Quadro 1. Resultados da análise química do solo da área estudada, antes da instalação do experimento, em 5/3/2001, no município de Selvíria-MS

Profundidade	pH CaCl ₂	MO	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H + Al	Al ³⁺	SB	CTC	V
m		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³							%
0,00–0,10	5,0	32,0	31,2	5,6	14	9	37	2	28,60	65,30	44
0,10–0,20	4,8	26,0	10,4	3,3	10	7	36	3	19,60	55,70	35

MO = matéria orgânica; P = fósforo disponível; K, Ca, Mg e Al trocáveis; H + Al = acidez potencial; SB = soma de bases; CTC = CTC potencial; V = saturação por bases.

Quadro 2. Resultado da análise do esterco de galinha aplicado no solo

Determinação	Umidade natural	Base seca
pH CaCl ₂ 0,01 M	8,8	-
Densidade (g cm ⁻³)	5,4	-
Umidade perdida a 60–65 °C (g kg ⁻¹)	247,7	-
Umidade perdida entre 65 e 110 °C (g kg ⁻¹)	29,6	-
Umidade total (g kg ⁻¹)	277,3	0,0
Matéria orgânica total (combustão) (g kg ⁻¹)	350,1	484,4
Matéria orgânica compostável (g kg ⁻¹)	341,8	472,9
Matéria orgânica resistente à comp. (g kg ⁻¹)	8,3	11,5
Carbono orgânico total (g kg ⁻¹)	194,5	269,1
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	189,9	262,8
Resíduo mineral total (g kg ⁻¹)	372,6	515,6
Resíduo mineral insolúvel (g kg ⁻¹)	174,3	241,2
Resíduo mineral solúvel (g kg ⁻¹)	198,3	274,4
Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	20,9	28,9
Fósforo (P ₂ O ₅) total (g kg ⁻¹)	6,9	9,5
Potássio (K ₂ O) total (g kg ⁻¹)	29,0	40,1
Cálcio (Ca) total (g kg ⁻¹)	39,5	54,7
Magnésio (Mg) total (g kg ⁻¹)	4,8	6,6
Enxofre (S) total (g kg ⁻¹)	3,3	4,6
Relação C/N (C total e N total)	9/1	9/1

Análise realizada no Laboratório de Solos da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP.

No sistema convencional, o preparo da área foi feito efetuando-se duas gradagens, sendo uma aradora e outra niveladora. Tanto na semeadura direta como no preparo convencional, foi aplicado herbicida para a dessecação das plantas de coberturas e para as invasoras, respectivamente, antes da implantação das culturas, utilizando-se a dose de 2,0 L do produto comercial ha⁻¹, sendo o ingrediente ativo glifosato 480 g L⁻¹. A sucessão de culturas apresentou a seguinte sequência: 1^a) feijão de inverno, implantado em 18/6/2001 e colhido em 13/9/2001; 2^a) plantas de cobertura/adubação orgânica (tratamentos), implantadas/aplicadas em 8/10/2001 e dessecadas/incorporadas em 28/11/2001; 3^a) algodão, implantado em 18/12/2001 e colhido em 18/4/2002 a 2/5/2002; e 4^a) feijão de inverno, implantado em 13/5/2002 e colhida em 9/8/2002.

As plantas de cobertura (crotalária e milho) foram semeadas num espaçamento de 0,35 m entre linhas, utilizando-se 20 kg de sementes de milho ha⁻¹ e 7,0 kg de sementes de crotalária ha⁻¹.

Aos 51 dias após a semeadura das plantas de cobertura (28/11/2001), foi realizada a amostragem de massa verde e, na sequência, a dessecação na área de semeadura direta e das plantas invasoras. No sistema convencional, elas foram incorporadas ao solo.

As quantidades de matéria seca deixada pelas plantas de cobertura foram: semeadura direta – crotalária: 2.630 kg ha⁻¹ e milho: 1.488 kg ha⁻¹; e no preparo convencional – crotalária: 1.750 kg ha⁻¹ e milho: 2.750 kg ha⁻¹. O adubo orgânico (14 t ha⁻¹) foi incorporado ao solo no sistema convencional; na semeadura direta, foi aplicado a lanço e deixado na superfície.

Foram analisados – nas profundidades de 0,00–0,10 m e 0,10–0,20 m – o pH do solo e os teores de fósforo, cátions trocáveis, matéria orgânica, H e H + Al. A extração de cálcio, magnésio, potássio e fósforo disponível foi feita usando resina trocadora de íons. O hidrogênio mais o alumínio foram determinados por titulometria, usando solução de acetato de cálcio 1N a pH 7,0 para sua extração. O pH foi avaliado em solução 0,01M de CaCl₂ 2H₂O, e o teor de matéria orgânica, pela combustão úmida com dicromato de potássio. As análises químicas foram feitas no Laboratório de Fertilidade do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da Faculdade de Engenharia, UNESP, utilizando a método indicado por Raij & Quaggio (1983).

Os dados foram analisados efetuando-se a análise de variância e o teste de Tukey a 5 %, para comparação de médias, utilizando-se o programa computacional SANEST (Zonta et al., 1984).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que os sistemas de preparo do solo não influenciaram significativamente as propriedades químicas avaliadas, assim como não foi significativa a interação preparo x adubos nas duas camadas de solo estudadas. Já os adubos utilizados (orgânico, mineral e plantas de cobertura) influenciaram significativamente os teores de P, pH, Ca²⁺, Mg²⁺, H + Al, SB, CTC e V, para a camada de solo de 0,0–0,10 m, mas não influenciaram os níveis de MO, K e Al. Na camada de solo de 0,10–0,20 m apenas houve diferença significativa para P e K (Quadro 3).

No quadro 3 estão apresentados os valores médios do fósforo (P) de acordo com os adubos utilizados e as profundidades estudadas. Os teores de P variaram significativamente na profundidades de 0,00–0,10 e 0,10–0,20 m, conforme os adubos. Dos tratamentos utilizados, esterco de galinha e esterco de galinha + metade da adubação mineral foram os que disponibilizaram maior quantidade de P (107,50 e 100,0 mg dm⁻³, respectivamente) na camada superficial, em relação aos outros adubos. Os demais

tratamentos não diferiram entre si. Na camada de 0,10–0,20 m as maiores disponibilidades de P foram para o esterco de galinha + metade da adubação mineral (67,87 mg dm⁻³), o esterco de galinha (60,50 mg dm⁻³) e o milho (30,12 mg dm⁻³). Os dois maiores valores de P podem ser atribuídos à quantidade do nutriente fornecida pelo esterco de galinha (96,6 kg ha⁻¹ de P) e pela adubação química (78,4 kg ha⁻¹ de P), confirmando os resultados obtidos por Gianello & Ernani (1983) quando aplicaram adubos orgânicos visando melhorar o rendimento de milho e observaram aumento do P extraível, além de outros benefícios. O menor valor disponível foi para a testemunha (15,37 mg dm⁻³), que não diferiu de crotalária, adubação mineral e milho (20,12; 25,00; e 30,12 mg dm⁻³, respectivamente).

Os valores de P apresentados no quadro 3 representam a média dos tratamentos na parcela (semeadura direta e preparo convencional) para cada tratamento na subparcela. Portanto, o uso de esterco de galinha + adubação mineral recomendada (tratamento da subparcela) proporcionou aumento no teor de P tanto na camada de 0,0–0,10 m como na de 0,0–0,20 m. Na semeadura direta houve maior

Quadro 3. Valores médios de P, pH, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H + Al, SB, CTC_e e V do solo de acordo com os adubos e profundidades estudados, em Latossolo Vermelho – maio de 2002, município de Selvíria-MS

Tratamento	Profundidade (m)							
	0,00–0,10		0,10–0,20		0,00–0,10		0,10–0,20	
	P		MO		pH		K	
	— mg dm ⁻³ —		— g dm ⁻³ —		— CaCl ₂ —		— mmol _c dm ⁻³ —	
Esterco de galinha	107,50 a	60,50 ab	24,75 a	22,00 a	5,8 a	5,3 a	5,54 a	5,51 ab
Est.+ ½ ad.mineral	100,00 a	67,87 a	24,63 a	21,63 a	5,6 ab	5,2 a	7,15 a	7,53 a
Ad. mineral	33,62 b	25,00 bc	24,88 a	23,63 a	5,1 bc	5,0 a	5,64 a	4,33 b
Testemunha	29,25 b	15,37 c	26,25 a	24,13 a	5,2 bc	5,1 a	4,95 a	3,91 b
Crotalária	28,37 b	20,12 bc	21,12 a	17,88 a	5,0 c	4,9 a	4,99 a	3,74 b
Milheto	25,75 b	30,12 abc	23,88 a	23,38 a	5,1 bc	4,8 a	5,23a	4,30 b
	Ca ²⁺		Mg ²⁺		Al ³⁺		H + Al	
	— mmol _c dm ⁻³ —							
Esterco de galinha	75,87 a	44,87 a	21,50 a	15,37 a	0,00 a	0,87 a	23,50 b	32,75 a
Est.+ ½ ad.mineral	64,12 a	44,87 a	18,87 ab	14,62 a	0,13 a	0,50 a	27,37 ab	32,50 a
Ad. mineral	28,87 b	26,00 a	15,50 ab	14,37 a	0,75 a	0,88 a	32,62 ab	32,25 a
Testemunha	30,50 b	24,62 a	15,87 ab	13,87 a	0,38 a	1,13 a	31,61 ab	33,25 a
Crotalária	25,25 b	21,12 a	13,50 b	10,50 a	1,13 a	2,88 a	35,37 a	38,00 a
Milheto	26,75 b	23,50 a	15,37 ab	12,87 a	1,13 a	2,25 a	32,87 ab	38,50 a
	SB		CTC _e		V			
	— mmol _c dm ⁻³ —							
Esterco de galinha			102,99a	65,68 a	126,50 a	98,44 a	77,37a	61,12 a
Est.+ ½ ad.mineral			90,17ab	67,05 a	117,55 ab	99,55 a	74,75ab	63,62 a
Ad. mineral			49,76 c	45,05 a	82,39 b	77,30 a	60,25 bc	58,00 a
Testemunha			51,35 bc	42,16 a	82,97 ab	75,39 a	61,50 abc	55,75 a
Crotalária			44,01 c	35,36 a	79,39 b	73,36 a	55,12 c	48,00 a
Milheto			47,32 c	40,72 a	80,20 b	79,22 a	56,87 c	49,50 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

acúmulo de P na camada de 0,0–0,10 m que quando comparada com a de 0,10–0,20 m; contudo, na média de cada profundidade da semeadura direta + preparo convencional, houve incremento maior, pois no preparo convencional ocorre revolvimento do solo, havendo maior mistura do adubo em profundidade.

Para os valores de MO (Quadro 3), verificou-se que não houve diferença significativa na média dos sistemas de preparo nas duas profundidades avaliadas. De acordo com Tomé Jr. (1997), esses valores são considerados médios para a região Centro-Oeste e os Estados de São Paulo, Paraná e Minas Gerais.

Para o pH (CaCl_2) (Quadro 3), observou-se que houve variação de acordo com os tratamentos apenas na camada de 0,00–0,10 m. O tratamento com esterco de galinha na profundidade de 0,0–0,10 m proporcionou maior pH no solo (5,8), e este não diferiu daquele do tratamento esterco de galinha + metade da adubação mineral (5,6). O menor valor do pH foi obtido no tratamento com crotalária (5,0); valores semelhantes de pH foram verificados para testemunha (5,2), adubo mineral (5,1) e milho (5,1). Na camada de 0,10–0,20 m não houve diferença entre os tratamentos.

Os valores de pH para os tratamentos com crotalária e milho foram semelhantes aos verificados por Guimarães (2000), resultado das exudações ácidas das raízes das plantas que atuam diretamente no pH do solo, no caso da crotalária.

Em solos de cerrado, o valor de pH é considerado baixo a médio quando na faixa de 4,8 a 5,2 (Lopes, 1984) – faixa verificada entre os tratamentos estudados – para as profundidades de 0–0,10 m, com exceção dos tratamentos esterco de galinha e esterco de galinha + metade da adubação mineral, que se encontram com os valores de acidez entre 5,6–6,0 (Quadro 3). Quando a matéria orgânica do solo é mineralizada, transformando o material orgânico em substâncias orgânicas (ácidos orgânicos e húmus) e mineralizadas (nitratos, fosfatos, sulfatos, formas amoniacais, gás carbônico, água, etc.), há aumento das cargas negativas do solo e elevação do pH (Heckler et al., 1998). A ocorrência de sítios negativamente carregados responde à habilidade de a MO reter cátions no complexo sortivo do solo, cuja contribuição pode atingir até 80 % da CTC do solo, ou seja, a mineralização aplica-se às transformações dos elementos C, N, P e S (Silva & Resck, 1997).

Os teores de P variaram com o tipo de adubo utilizado apenas na profundidade de 0,10–0,20 m, destacando-se o esterco de galinha + metade da adubação mineral com o maior valor ($7,53 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), não diferindo do esterco de galinha, que, por sua vez, não diferiu dos outros adubos (Quadro 3). Esse fato pode ser atribuído ao fornecimento do K via esterco de galinha (560 kg ha^{-1} de K_2O) em maior quantidade que os outros adubos, como também à lixiviação para a camada de 0,10–0,20 m. Os valores dos teores de K estão no nível considerado alto e muito alto (3,1–6,0 e

$> 6,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente), segundo Raij et al. (1997). Esses resultados concordam com os de Alvarenga (1983) e Oliveira et al. (1992), em que as maiores doses de K contribuíram para aumentar a sua lixiviação nas camadas em profundidades no solo.

Quanto aos valores médios de Ca, verificou-se na profundidade de 0,0–0,10 m diferença estatística significativa entre os tratamentos, destacando-se o esterco de galinha ($75,87 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e o esterco de galinha + metade da adubação mineral ($64,12 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), que não diferiram estatisticamente entre si (Quadro 3). O menor valor foi obtido quando se utilizou a crotalária ($25,25 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), que não diferiu da testemunha ($30,50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), da adubação mineral ($28,87 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e do milho ($26,75 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Os dados obtidos com o uso do esterco de galinha vêm corroborar os de Gianello & Ernani (1983), que obtiveram incremento nos valores de Ca quando utilizaram diversas doses de cama de frango, reduzindo o Al^{3+} . De acordo com a classificação de Raij et al. (1997), os teores de Ca, em todos os tratamentos, são considerados altos ($> 7,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Carvalho (2004) verificou que o teor de Ca variou de 24,1 a $0,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para as camadas de 0,0–0,10 e 0,20–0,40 m, quando utilizou leguminosas nos sistemas de semeadura direta e convencional.

Na camada de 0,0–0,10 m, os valores de Ca e Mg foram maiores quando se utilizou o esterco de galinha e esterco de galinha + metade da adubação mineral, em relação aos outros tratamentos, em razão do fornecimento das duas formas de adubação, e também com o aumento do teor de matéria orgânica no esterco de galinha, que promove menor lixiviação dos cátions (Quadro 3). Nos outros tratamentos, onde os teores de K foram maiores, ocorreu menor teor de Ca, corroborando os resultados obtidos por Alvarenga (1983), que constatou redução nos teores de Ca, Mg trocável e nas relações (Ca + Mg)/K, Ca/K e Mg/K quando houve aumento nos teores de K no solo.

Para o Mg ocorreram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos na camada de 0,0–0,10 m de profundidade, destacando-se o maior teor de Mg quando se utilizou o esterco de galinha ($21,50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), que diferiu apenas da crotalária (Quadro 3). O menor valor foi obtido quando se utilizou a crotalária, que não diferiu dos outros tratamentos, exceto o esterco de galinha. Na camada de 0,10–0,20 m, as diferenças não foram significativas. Maior concentração de Mg na superfície do solo foi obtida por Carvalho (2004), com valores de 21,5 e $19,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg utilizando milho e crotalária, respectivamente, concordando com os tratamentos quando se utilizou milho, porém maiores do que os teores dos tratamentos em estudo. De acordo com a classificação de Raij et al. (1997), os teores de Mg, em todos os tratamentos, são considerados altos ($> 8,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Os teores de Al não apresentaram diferenças significativas, na média, entre os tratamentos nas duas profundidades analisadas, porém verifica-se que houve redução em todos os tratamentos, nas duas profundidades, de acordo com a análise inicial.

Os valores médios de H + Al diferiram na camada de 0,0–0,10 m, com maior acidez potencial (H + Al) quando se utilizou a crotalária (35,37 mmol_c dm⁻³), que diferiu apenas do esterco de galinha (Quadro 3). A menor acidez potencial do solo foi obtida quando se utilizou o esterco de galinha, confirmando resultados obtidos por Gianello & Ernani (1983), que observaram redução do Al³⁺ e aumento no pH. Os tratamentos apresentaram a seguinte ordem crescente quanto à acidez potencial: esterco de galinha, esterco de galinha + metade da adubação mineral, testemunha, adubo mineral, milho e crotalária. Isso porque a massa verde de milho e crotalária está continuamente sendo decomposta pelos microrganismos em ácidos orgânicos, dióxido de carbono e água, formando ácido carbônico, o qual por sua vez, reage com os carbonatos de cálcio e magnésio no solo para formar os bicarbonatos solúveis, que são lixiviados, deixando o solo ácido (Lopes, 1995).

Almeida (2001) observou diferença significativa da acidez potencial quando comparou os sistemas de semeadura direta e convencional, sendo, nesta última, maior que na primeira. Por sua vez, dados obtidos por Markert (2001), quando comparou o sistema convencional com a semeadura direta de 5 e de 10 anos, mostraram aumento da acidez na semeadura direta quando comparada com a convencional. Contudo, o comportamento verificado por ambos os autores difere dos resultados deste trabalho, em que não houve efeito dos sistemas de preparo em nenhuma das variáveis avaliadas.

Verificou-se que houve diferença estatística significativa apenas na camada de 0,0–0,10 m para a soma de bases (SB) (Quadro 3). O uso de esterco de galinha resultou no maior valor de SB, não diferindo do tratamento esterco de galinha + metade da adubação mineral (102,99 e 90,17 mmol_c dm⁻³, respectivamente). Já o menor valor da SB foi obtido quando se utilizou a crotalária (44,01 mmol_c dm⁻³), e este não diferiu da testemunha, da adubação mineral e do milho (Quadro 3), o que pode estar relacionado com a menor quantidade de nutrientes deixados no solo por esses tratamentos.

Notou-se também que os valores maiores para a SB (Quadro 3) foram os que apresentaram maiores teores de P, MO, pH, Ca²⁺ e Mg²⁺ e menores valores de Al³⁺ e Al + H, confirmando que a matéria orgânica (esterco de galinha) contribuiu significativamente para a melhoria das propriedades químicas do solo. O maior valor da CTC foi obtido quando se usou o esterco de galinha, vindo a concordar com os de Kiehl (1985;1979), em que a matéria orgânica contribuiu com 30–40 % na CTC em solos argilosos e 50–60 % em solos arenosos.

Os valores médios da CTC, de acordo com os tratamentos e camadas avaliadas, mostraram diferença significativa na camada de 0,00–0,10 m (Quadro 3). O tratamento com esterco de galinha foi o que mais contribuiu para o aumento desse atributo químico (126,50 mmol_c dm⁻³), porém não diferiu estatisticamente do esterco de galinha + metade adubação e da testemunha. Carvalho (2004) obteve CTC inferior à observada para crotalária e milho, sendo de 59,5 e 62,5 mmol_c dm⁻³, respectivamente.

Raij (1969) observou relação entre CTC e pH, verificando que em diversos perfis a CTC aumentou com o aumento do pH, e esses valores foram obtidos onde os teores de matéria orgânica foram maiores. Resultado semelhante foi obtido neste trabalho, o que pode ser observado no Quadro 3. Alvarenga et al. (2004) verificaram que o sistema de manejo do café orgânico, na camada superficial do solo, incrementou a CTC e o pH e reduziu os teores de Al trocável, quando comparados com os tratamentos área em conversão e convencional.

Os valores médios de saturação por bases (V) indicaram o mesmo comportamento que o do CTC (Quadro 3). Na camada de 0,0–0,10 m houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, e os que mais contribuíram para o V foram o esterco de galinha, o esterco de galinha + metade da adubação mineral e a testemunha (77,37, 74,75 e 61,50 %, respectivamente), que não diferiram estatisticamente entre si. Os tratamentos que contribuíram para o seu baixo valor foram crotalária, milho, adubação mineral e testemunha, que não diferiram estatisticamente entre si (55,12, 56,87, 60,25 e 61,50 %, respectivamente). Valores de V para milho e crotalária foram semelhantes aos obtidos por Carvalho et al. (2004).

De acordo com Raij et al. (1997), os valores de V na amostra inicial estão abaixo do considerado ideal (70 %); todavia, após os tratamentos, na média, esses valores aumentaram, ficando próximo do valor recomendado – no caso, para o esterco de galinha e esterco de galinha + metade da adubação mineral. Segundo o autor, recomenda-se a correção do solo para atingir um V de 70 % na implantação da cultura do algodão para o Estado de São Paulo; de acordo com Tomé Jr. (1997), a correção para as áreas de cerrado de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul deve ser para atingir um V de 50 %.

CONCLUSÕES

1. Dos adubos utilizados, os que mais corresponderam para a melhoria dos atributos químicos foram o esterco de galinha e esterco de galinha + metade da adubação mineral.

2. As plantas de cobertura estudadas (crotalária e milho) não alteraram os atributos químicos do solo e apresentaram comportamento semelhante entre si.

3. Os sistemas de semeadura direta e convencional foram semelhantes quanto às alterações dos atributos químicos do solo.

LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, V.P. Sucessão de culturas em preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho sob vegetação de cerrado. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2001. 71p. (Tese de Mestrado)
- ALVARENGA, M.I.N. Efeito e método de aplicação de KCl na movimentação do potássio no perfil de um Latossolo Roxo distrófico, fase cerrado, cultivado com milho (*Zea mays* L.). Disponível em <http://www.dcs.ufla.br/PG/Dissertações/1983/Alvarenga> Acesso em: 2 de agosto de 2004.
- ALVARENGA, M.I.N.; GUIMARÃES, R.J. & MOURÃO JUNIOR, M. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho (VE) sob mata nativa e sistema de produção orgânico, em conversão e convencional do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) na região Sul de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.planetaorganico.com.br/trabVanessa1.htm> Acesso em: 26 de agosto de 2004.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; MENDONÇA, E.S. & OLSZEWSKI, N. Propriedades químicas de uma Terra Roxa Estruturada influenciadas pela cobertura vegetal de inverno e pela adubação orgânica e mineral. R. Bras. Ci. Solo, 24:609-620, 2000.
- BAYER, C. & BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetado por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. R. Bras. Ci. Solo, 23:687-694, 1999.
- CARVALHO, M.A.C.; ATHAYDE, M.L.F.; SORATTO, R.P.; ALVES, M.C. & ARF, O. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de cerrado. Pesq. Agropec. Bras., 39:1141-1148, 2004.
- DAROLT, M.R. Considerações gerais e perspectivas de expansão. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Plantio direto: pequena propriedade sustentável. Londrina, 1998. p.1-14. (Circular, 101)
- DEMATTÊ, J.L.I. Levantamento detalhado dos solos do "Campus Experimental de Ilha Solteira". Piracicaba, ESALQ/USP. Departamento de Solos, Geologia e Fertilidade, 1980. 44p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.
- GALDO, M.V. & DE MARIA, I.C. Alterações químicas em solo com plantio direto: longe dos olhos, perto do bolso. Disponível em: http://www.iac.sp.gov.br/OAgronomico/542/542_25_et5_pdireto96.pdf Acesso em: 26 de agosto de 2004.
- GIANELLO, C. & ERNANI, P.R. Rendimento de matéria seca de milho e alterações na composição química do solo pela incorporação de quantidades crescentes de cama de frango, em casa de vegetação. R. Bras. Ci. Solo, 7:285-290, 1983.
- GUIMARÃES, G.L. Efeito de culturas de inverno e do pousio na rotação das culturas da soja e do milho em sistema de plantio direto. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2000. 104p. (Tese de Mestrado)
- HECKLER, J.C.; HERNANI, L.C. & PITOL, C.. Palha. In: SALTON, J.C.; HERNANI, L.C. & FONTES, C.Z. Sistema de plantio direto. Brasília, Embrapa-Agropecuária Oeste, 1998. p. 38-49.
- KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba, Ceres, 1985. 492p.
- KIEHL, E.J. Manual de edafologia relação solo-planta. São Paulo, Agroceres, 1979. 264p.
- KURIHARA, C.H.; FABRÍCIO, A.C.; PITOL, C.; STAUT, L.A.; KICHEL, A.N.; MACEDO, M.C.M.; ZIMMER, A.H. & WIETHOLTER, S. Adubação. In: SALTON, J.C.; HERNANI, L.C. & FONTES, C.Z. Sistema de plantio direto. Brasília, Embrapa-Agropecuária Oeste, 1998. p.135-144.
- LOPES, A.S. Manual internacional de fertilidade do solo. Piracicaba, POTAFOS, 1995. 177p.
- LOPES, A.S. Solos sob "cerrados": características, propriedades e manejo. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1984. 162p.
- MACHADO L.A.Z.; SALTON, J.C.; PRIMAVESI, O.; FABRÍCIO, A.C.; KICHEL, A.N.; MACEDO, M.C.M.; ZIMMER, A.H. & GUIMARÃES, C.M. Integração agricultura-pecuária. In: SALTON, J.C.; HERNANI, L.C. & FONTES, C.Z. Sistema de plantio direto. Brasília, Embrapa-Agropecuária Oeste, 1998. p.217-232.
- MARKERT, R.C. Efeitos do preparo sobre algumas propriedades físicas, químicas e biológicas de um Latossolo Vermelho da região de cerrado. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2001. 64p. (Tese de Mestrado)
- NEGRO.S.R.L. Sistema radicular de leguminosas. Efeitos na recuperação do solo e produtividade do milho para silagem, na região de cerrado de Selvíria (MS). Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 1999. 42p. (Trabalho de Graduação)
- OLIVEIRA, F.A.; SILVA, J.J.S.; VILELA, L. & SOUSA, D.M.G. Doses e métodos de aplicação de potássio na soja em solo dos cerrados da Bahia. Pesq. Agropec. Bras., 27:1485-1495, 1992.
- RAIJ, B. van, & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).
- RAIJ, B. van. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral no solo. Bragantia, 28:85-112, 1969.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico, 1997. 287 p. (Boletim Técnico, 100)
- SALTON, J.C. & HERNANI, L.C. Adoção. In: SALTON, J.C.; HERNANI, L.C. & FONTE, C.Z. Sistema de plantio direto. Brasília, Embrapa Agropecuária Oeste, 1998. p.21-35.

- SILVA, J.E. & RESCK, D.V.S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M.A.T. & HUNGRIA, M. *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina, Embrapa-CPAC, 1997. p.466-524.
- SILVA, J.R.C. & SILVA, F.J. Eficiência de dois níveis de adubação orgânica com esterco de galinha e bovino no rendimento de milho irrigado em solo aluvial vértico. REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., Fortaleza, 1998. Resumos expandidos. Fortaleza, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.114-115.
- SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:133-139, 2003.
- TOMÉ Jr, J.B. *Manual de interpretação de análise de solo*. Guaíba, Agropecuária, 1997. 247p.
- ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. & SILVEIRA Jr., P. *Sistema de análise estatística para microcomputadores (SANEST)*. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 1984. 151p.