

Alterações nas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho eutroférico por dois sistemas de manejo de solo

Karina Maria Vieira Cavaliere, Cássio Antonio Tormena*, Jonez Fidalski, José Carlos Pinto, Antonio Carlos Saraiva da Costa e Ivan Granemann de Souza Junior

Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.

*Autor para correspondência. e-mail: catormena@uem.br

RESUMO. A utilização de sistemas intensivos de preparo do solo pode provocar a degradação da qualidade do solo. O sistema de plantio direto tem apresentado resultados positivos no controle da erosão e na melhoria da fertilidade do solo. A escarificação periódica do solo para o controle da compactação superficial no plantio direto tem sido frequentemente utilizada em situações de manejo em solos de textura argilosa a muito argilosa. O objetivo do presente estudo foi avaliar algumas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho eutroférico, sob dois sistemas de manejo, implantados há 10 anos: plantio direto com rotação de culturas (PD) e plantio direto com sucessão de culturas associado com revolvimento do solo por meio de escarificação antes da cultura de verão e semeadura direta da cultura de inverno (SD). Amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m. Foram avaliadas as seguintes propriedades químicas do solo: carbono orgânico do solo, P disponível (Mehlich-1), $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . Os valores de pH foram maiores em SD na camada de 0,05m, reduzindo em profundidade até 0,20m, contrastando com PD. Na camada de 0-0,20m, no SD houve o aumento da capacidade de troca catiônica, dos teores de Ca^{2+} e P disponível em relação ao PD. Constatou-se maior teor de P disponível na camada de 0-0,05m do PD comparado ao SD. Os dois sistemas de manejo apresentaram valores semelhantes de Mg^{2+} e K^+ no perfil do solo estudado.

Palavras-chave: plantio direto, rotação de culturas, fertilidade do solo, capacidade de troca de cátions, carbono orgânico do solo.

ABSTRACT. Alterations in soil chemical properties of a eutrophic oxisol under two soil management systems. The use of intensive soil tillage systems can provoke the degradation of the soil quality. The no-tillage system has presented positive results in soil erosion control and improvement of the soil fertility. The periodic chiseling of the soil for the control of the superficial compaction in no-tillage has frequently been used in the management system of clay texture soils. The objective of the present study was to evaluate some chemical properties of a Eutrophic Oxisol under two soil management systems, implanted 10 years ago: no-tillage with crop rotation (NT) and no-tillage with crop succession using chiseling of the soil before the summer crop and direct sowing of the winter crop (DD). Soil samples were collected in 2002 at the depths of 0-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20, 0.20-0.40 and 0.40-0.60m. It was evaluated the following soil chemical properties: soil organic carbon, available P (Mehlich-1), pH (CaCl_2), Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^+ . pH values were higher in DD in the 0.05m depth, lowering to the 0.20m depth, which was different of NT. In the 0-0.20m depth was verified that DD presented higher cation exchange capacity, Ca^{2+} and P available compared to the NT; in NT was observed higher P available in 0-0.05m depth. Both management systems presented identical values of Mg^{2+} and K^+ in soil profile.

Key words: no-tillage, crop rotation, soil fertility, cation exchange capacity, soil organic carbon.

Introdução

O avanço da agricultura nos solos paranaenses ocorreu com a retirada da mata nativa e a introdução de sistemas agrícolas tradicionais que utilizavam o revolvimento frequente e intensivo do solo. Os resultados de pesquisa indicam que este sistema de manejo de solo compromete a produtividade das culturas em consequência da erosão hídrica, da

redução dos teores de matéria orgânica, da compactação e da redução da fertilidade do solo (Tavares Filho, 1995). A partir da década de 70, implantou-se no estado do Paraná o sistema de plantio direto, o qual tem-se destacado pela eficiência na redução da erosão hídrica e melhoria da fertilidade do solo (Derpsch *et al.*, 1991).

O plantio direto promove alterações das propriedades químicas do solo e melhora a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas (Santos e Tømm, 1996). Dentre estas alterações destaca-se o acúmulo de matéria orgânica e de nutrientes na camada superficial dos solos (Muzilli, 1983; Klepker e Anghinoni, 1995; Silveira e Cunha, 2002). A importância da matéria orgânica para a fertilidade dos solos tropicais foi demonstrada por diferentes autores (Pavan *et al.*, 1985; Sidiras e Pavan, 1985; Klamt e Somböek, 1986; Silva *et al.*, 1994; Turpault *et al.*, 1996; Bayer e Mielniczuk, 1997; Costa *et al.*, 1999), indicando que a matéria orgânica pode ser responsável por até 80% da capacidade de troca de cátions. Santos e Siqueira (1996) e Santos e Tømm (1999) verificaram que para aumentar os teores de matéria orgânica é indispensável a adoção de rotação de culturas em consonância com a redução na mobilização do solo. As diferentes rotações de culturas podem afetar os teores de matéria orgânica e dos nutrientes do solo (Silveira e Stone, 2001). Isto poderia ser justificado pelas diferenças intrínsecas das culturas relacionadas com as exigências nutricionais, profundidade das raízes e quantidade de resíduos que adicionam sobre a superfície do solo. Também em solos sob clima temperado, Langdale *et al.* (1992) indicam a essencialidade da rotação de culturas para o aumento do teor de matéria orgânica, refletindo na melhoria da qualidade do solo e da produção agrícola.

As modificações em propriedades químicas do solo sob plantio direto em comparação com o preparo convencional apresentam variações associadas à classe de solo, ao sistema de manejo de culturas e de fertilizantes. Além da matéria orgânica, outras propriedades ou elementos químicos têm sido estudados em relação aos sistemas de manejo. Neste sentido, Santos e Siqueira (1996), Oliveira *et al.* (2001) e Silveira e Stone (2001) verificaram menores valores de pH, Ca^{2+} e Mg^{2+} , os quais estavam associados ao aumento dos teores de Al^{3+} na superfície do solo em plantio direto. Por outro lado, Muzilli (1983) relata aumento dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} na camada superficial do solo com a redução da sua mobilização. A melhoria dos teores de P em solos sob plantio direto também se deve a menor mobilização do solo, além da formação de complexos de P com a matéria orgânica, da maior atividade biológica e da reciclagem do nutriente pelas raízes e resíduos das culturas (Muzilli, 1983; Santos e Siqueira, 1996; Silveira e Stone, 2001). De modo semelhante, tem sido constatado uma maior concentração de K^+ sob plantio direto, na camada de 0-0,05m de profundidade, quando comparado ao preparo convencional (Muzilli, 1983; Oliveira *et al.*, 2001). De acordo com Santos e Tømm (1996), os teores de P e K^+ apresentariam a tendência de se acumularem na superfície do solo sob plantio direto, e no caso específico do K^+ , poderia se redistribuir nas

camadas subsuperficiais do solo. Esta redistribuição do K^+ em profundidade, segundo Sidiras e Pavan (1985) é atribuída a maior taxa de infiltração de água no solo e a maior presença de bioporos proporcionada pelo plantio direto.

O plantio direto melhora a qualidade química do solo em razão do aumento de matéria orgânica e da maior disponibilidade de nutrientes às plantas. Contudo, nos solos argilosos que utilizam a sucessão de culturas soja-milho safrinha ou trigo, tem sido constatado o revolvimento do solo nas áreas sob plantio direto (Friedrich, 2003) com a utilização da escarificação do solo antes da semeadura da soja para o controle da compactação do solo. Nesse contexto, este estudo testa a hipótese de que o sistema de manejo com sucessão de culturas e que utiliza a escarificação periódica do solo afeta negativamente a qualidade química do solo em relação ao sistema de manejo com rotação de culturas e semeadura direta.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a alteração de algumas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho eutroférico, cultivado por dez anos com dois sistemas de manejo: plantio direto com rotação de culturas (PD) e plantio direto com sucessão de culturas associado com revolvimento periódico do solo por meio de escarificação antes da cultura de verão e semeadura direta da cultura de inverno (SD).

Material e métodos

O presente estudo foi conduzido no município de Palotina, região Oeste do Estado do Paraná. O solo utilizado neste estudo é um Latossolo Vermelho eutroférico (Embrapa, 1999). O relevo é plano e a altitude é de aproximadamente 350m (Embrapa, 1984). O clima da região é classificado como subtropical úmido mesotérmico (Cfa), apresentando verões quentes, geadas pouco frequentes, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão e sem estação seca definida. A temperatura média dos meses mais quentes é superior a 22°C e a dos meses mais frios é pouco inferior a 18°C (Instituto Agrônômico do Paraná, 2000).

O experimento foi implantado em 1993, em duas áreas contíguas, cada uma com dimensões de 60m x 12m (720m²), separadas por uma bordadura de 3m no sentido longitudinal às áreas experimentais. Os tratamentos consistiram de dois sistemas de manejo de solo: PD - sistema de manejo de solo com plantio direto, consistindo da rotação de culturas composta pela sequência de culturas milho - trigo - soja - aveia - soja - nabo forrageiro; SD - sistema de manejo do solo com semeadura direta da cultura de inverno e escarificação do solo antes da cultura da soja, utilizando uma sucessão de culturas envolvendo as culturas de soja-milho safrinha ou trigo. No sistema SD, a escarificação do solo foi realizada com um escarificador de 5 hastes a 0,30m de profundidade.

Em ambos os sistemas de manejo, a semeadura foi realizada com semeadora-adubadora específica para plantio direto. Neste período não foi realizada a calagem do solo. A adubação das culturas foi realizada conforme recomendação técnica para cada cultura com base em análise de solo.

A amostragem do solo para as determinações analíticas foi realizada em junho de 2002, após a colheita de trigo, independente da posição linha e entrelinha da cultura de trigo remanescente. Em cada uma das áreas experimentais sob PD e SD foram previamente demarcados 60 pontos de amostragem, representando uma área de 10m², referenciados sistematicamente em uma malha constituída de 6 linhas longitudinais espaçadas a cada 2m e 10 linhas transversais espaçadas a cada 5m. Foram realizadas coletas de amostras deformadas até a profundidade de 0,60m, estratificadas nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20m, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m. Estas amostras de solo foram transportadas para o laboratório e colocadas em bandejas para secagem em estufa com ventilação forçada a 40°C por 24h, e posteriormente, foram passadas em peneira com malha de 2mm de diâmetro.

As análises para fins de fertilidade foram realizadas utilizando a metodologia descrita em Embrapa (1997). O pH em CaCl₂ foi determinado pelo método potenciométrico, utilizando numa proporção 1:2,5 de solo e solução de CaCl₂ (0,01 mol L⁻¹). A acidez potencial foi estimada pelo método SMP, após a determinação do pH em CaCl₂. Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, após extração com solução de KCl 1 mol L⁻¹. O P e o K⁺ foram extraídos com o extrator Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹), numa proporção solo extrator 1:10. O P foi determinado espectrofotometricamente por meio da leitura da intensidade da cor azul do complexo fosfomolibdico e o K⁺ por fotometria de chama. A determinação do carbono orgânico do solo foi feita por meio do método indireto da oxidação do carbono orgânico por via úmida, proposta por Walkley e Black, adaptado por Raij *et al.* (1987). A capacidade de troca de cátions potencial (CTC) foi obtida pelo somatório dos valores de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺ e H⁺, e a saturação por bases obtida pela proporção do somatório de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ em relação a capacidade de troca de cátions. Os resultados obtidos dos teores de carbono orgânico do solo foram utilizados para estabelecer relações com a CTC e com os valores de P disponível. Os efeitos dos tratamentos nos teores de carbono orgânico do solo e na sua distribuição no perfil amostrado são apresentados em Tormena *et al.* (2004).

Foi realizada a análise exploratória dos dados originais para certificar a distribuição normal das variáveis estudadas (teste de Shapiro-Wilk). Na

ausência da normalidade dos dados, foram excluídos os valores discrepantes ou *outliers* utilizando-se o critério quartil inferior e superior $\pm 1,5$ intervalo interquartil (Libardi *et al.*, 1996).

A análise estatística dos dados das propriedades químicas consistiu do uso do modelo matemático ($\hat{y} = \hat{m} \pm \xi$), sendo $\hat{y}$ o valor estimado em função da média aritmética ($\hat{m}$) e do erro padrão da média (ξ). Foi utilizado o critério decisório preconizado por Gravetter e Wallnau (1995), assumindo diferenças entre as médias quando as barras do erro padrão da média não se sobrepuseram. Para as propriedades químicas do solo que apresentaram distribuição normal dos dados, aplicou-se o teste t para amostras independentes de acordo com Hatcher e Stepanski (1997). Foram obtidas regressões lineares ($\hat{y} = a + bx$) e exponencial ($\hat{y} = ae^{bx}$), sendo a e b os coeficientes das equações de regressões para as propriedades químicas do solo ($\hat{y}$) em função dos teores de carbono do solo (x), utilizando-se os valores médios ou a mediana quando não havia distribuição normal dos dados (K⁺ e P disponível). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o *software* SAS (SAS Institute, 1999).

Resultados e discussão

Os valores de pH em CaCl₂ foram significativamente superiores sob SD em relação ao PD na camada de 0-0,05m, semelhantes na camada de 0,05-0,10m, maiores no PD na camada de 0,10-0,20m e sem diferença profundidade de 0,20-0,60m (Figura 1). O solo da área estudada é eutrófico, que sob condições naturais geralmente apresenta valores de V>50%. A acidificação do solo sob PD na camada de 0-0,05m pode ser atribuída a maior deposição de resíduos orgânicos nesta camada do solo, em concordância com Hargrove *et al.* (1982), Blevins *et al.* (1983), Dick (1983), Cambuim e Cordeiro (1986) e Silveira e Stone (2001). No PD pode ser observada a redução contínua da acidez nas camadas subsuperficiais do solo, relacionada à composição química dos materiais em decomposição e a neutralização da acidez do solo por compostos alcalinos inorgânicos e orgânicos em acordo com Reis e Rodela (2002), Korcak (1980) e Yan *et al.* (1996). Por sua vez, a escarificação no SD implicou na homogeneização do pH na profundidade de 0,05-0,20m, implicando na redução do pH associada a maior decomposição dos resíduos orgânicos acumulados nas camadas superficiais, observados por meio da distribuição dos teores de carbono orgânico do solo conforme Tormena *et al.* (2004).

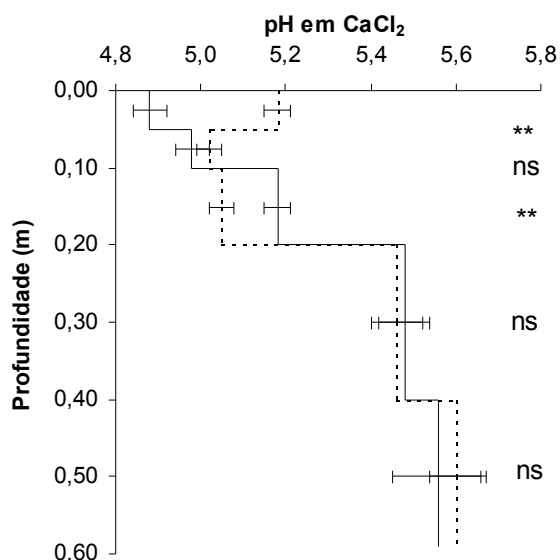


Figura 1. Valores de pH em CaCl_2 nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m em PD e SD. As barras transversais representam o erro padrão da média. *, ** e ns, respectivamente, $P=0,08$, $P<0,01$ e diferença não significativa pelo teste t entre as médias dos tratamentos por camada de solo.

Os valores médios de Ca^{2+} no solo indicam diferenças significativas entre as camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20m, sendo constatado um padrão de disponibilidade deste nutriente no SD superior ao PD, na profundidade de 0-0,20m, com valores médios, respectivamente, de 6,00 e 6,81 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Figura 2a). Os maiores teores de Ca^{2+} sob SD estão provavelmente associados a maior taxa de mineralização da matéria orgânica, promovida pela intervenção mecânica do solo, fato também constatado por Silveira *et al.* (2000). Os resultados deste estudo estão em concordância com os obtidos por Santos e Siqueira (1996), os quais observaram redução dos valores de pH e dos teores de Ca^{2+} sob PD. Na profundidade de 0,20-0,60m não foram verificadas diferenças significativas entre os dois sistemas de manejo de solo, constatando-se também uma tendência de redução dos valores de Ca^{2+} em profundidade. Sidiras e Pavan (1985) também observaram maiores valores de Ca^{2+} na camada superficial em relação às camadas subsuperficiais de solos cultivados.

Não foram observadas diferenças significativas dos teores de Mg^{2+} entre o PD e SD, independente da camada de solo estudada (Figura 2b). Observou-se maior disponibilidade deste nutriente na camada de 0-0,05m, 1,47 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, independente do sistema de manejo de solo, comparada às camadas subsuperficiais do solo de 0,05-0,10, 0,10-0,40 e 0,40-0,60m, respectivamente, 1,26, 1,17 e 1,04 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. A mesma tendência de decréscimo dos

teores de Mg^{2+} em profundidade também foi constatado por Muzilli (1983), Klepker e Anghinoni (1995) e Oliveira *et al.* (2001). A independência dos teores de Mg^{2+} aos sistemas de manejo de solo foi verificado por Klepker e Anghinoni (1995), ao compararem o PD com solo sob sistema convencional. Porém, estes resultados divergem daqueles observados por Oliveira *et al.* (2001), ao terem constatado diferenças significativas entre os sistemas de cultivo para os teores de Mg^{2+} na camada superficial do solo sob PD comparada ao preparo mínimo com escarificação.

Do mesmo modo que o Mg^{2+} , os teores de K^+ obtidos nos dois sistemas de manejo não se diferenciaram estatisticamente entre as camadas de solo na profundidade de 0-0,60m (Figura 2c). O que se constatou foi uma tendência de redução dos valores de K^+ em profundidade com a manutenção de teores elevados até a profundidade de 0,20m, correspondendo aos valores médios de 0,82, 0,57 e 0,41 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente, para as camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20m. De forma similar, Oliveira *et al.* (2001) constataram diferenças significativas nos teores de K^+ entre o PD e o preparo mínimo com escarificador, bem como o decréscimo dos teores em profundidade. Os elevados teores de K^+ neste solo até a profundidade de 0,20m são atribuídos às contínuas adubações com este nutriente e à manutenção do elemento em superfície por meio da reciclagem pelas raízes e tecidos das culturas (Muzilli, 1983; Franchini *et al.*, 2000; Silveira *et al.*, 2000). Por outro lado, o decréscimo dos teores de K^+ na camada de 0,40-0,60m, correspondendo aos teores de 0,22 e 0,16 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente, para as camadas de 0,20-0,40 e 0,40-0,60m, comparados aos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} evidenciam a menor retenção deste nutriente (Figura 2a, b, c), semelhantes aos resultados obtidos por Loyola e Pavan (1989), os quais atribuíram a menor energia de ligação do cátion com o complexo de troca.

Os valores médios da capacidade de troca de cátions sob SD foram superiores ao PD nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40m (Figura 2d). Nesta figura, destaca-se os maiores valores da capacidade de troca de cátions em profundidade promovida pela escarificação do solo em relação ao PD, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20m, respectivamente, de 0,71, 1,14, 1,61 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. O decréscimo dos valores médios da capacidade de troca de cátions observada nos dois sistemas de manejo de solo em profundidade, se deve, em parte à diminuição dos teores de carbono orgânico do solo. Estes resultados confirmam a dependência da capacidade de troca de cátions deste solo dos teores de carbono orgânico do solo (Pavan *et al.*, 1985; Costa *et al.*, 1999).

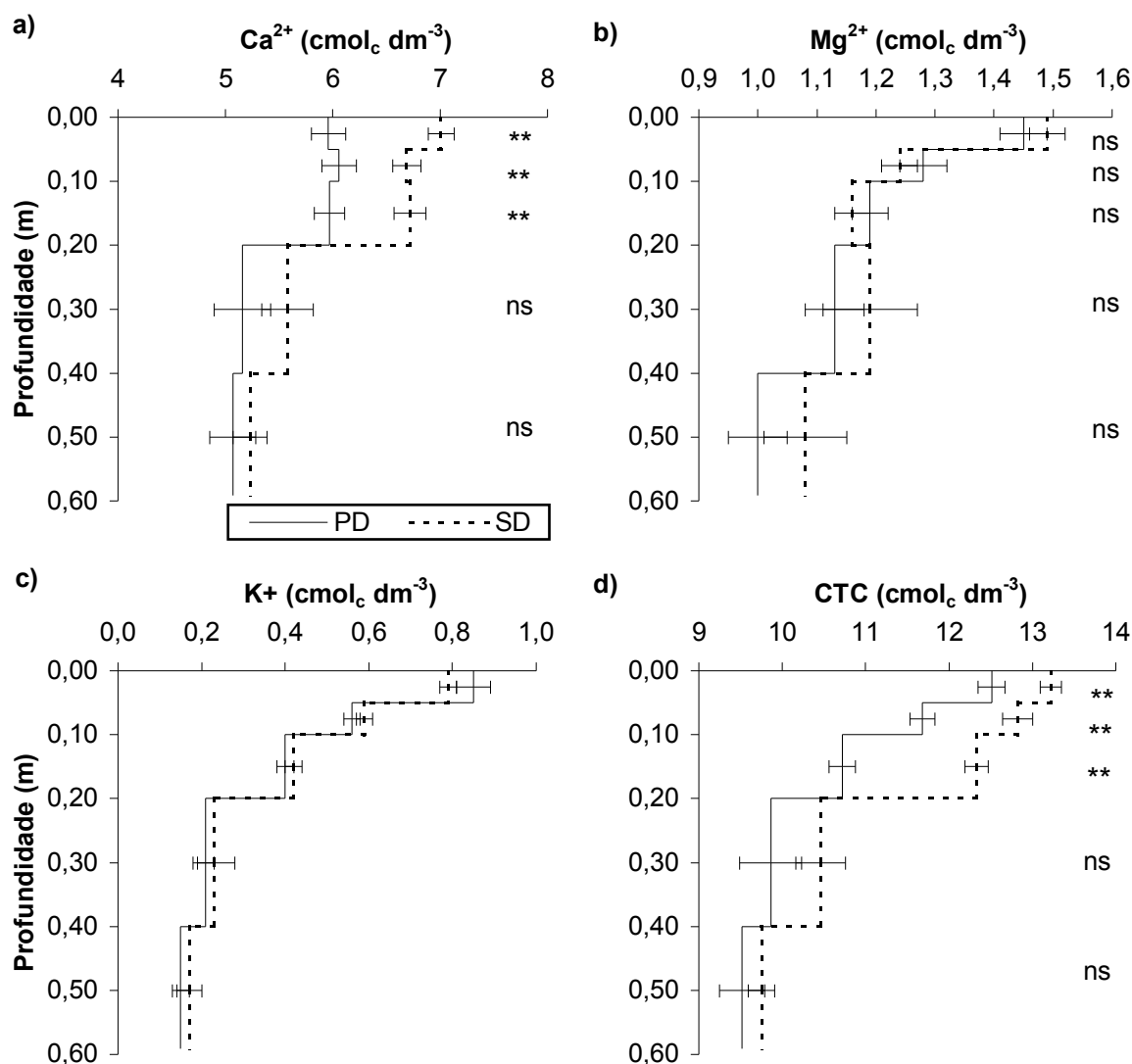


Figura 2. Teores de Ca²⁺ (a), Mg²⁺ (b), K⁺ (c) e valores de capacidade de troca de cátions (d), nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m e em PD e SD. As barras transversais representam o erro padrão da média. ** e ns, respectivamente, $P < 0,01$ e diferença não significativa pelo teste t entre as médias sob PD e SD por camada de solo.

Independente do sistema de manejo, a capacidade de troca de cátions decresceu nas camadas subsuperficiais do solo, principalmente nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20m, conforme as equações de regressão apresentada na Figura 3a. Os coeficientes angulares de regressões de 0,18 e 0,34, respectivamente, para o PD e SD, representam o incremento dos valores da capacidade de troca de cátions para cada unidade de carbono orgânico do solo. No PD, o coeficiente angular foi semelhante ao valor encontrado por Silva *et al.* (1994), e no SD aos encontrados por Klamt e Sombroek (1986), Bayer e Mieleniczuk (1997). Os maiores valores de capacidade de troca de cátions sob SD em relação ao PD se devem a redistribuição de materiais orgânicos decorrente da escarificação do solo e que foram acumulados na superfície, verificado neste experimento

por Tormena *et al.* (2004). A capacidade de troca de cátions da fração inorgânica do solo é expressa pelos coeficientes de regressões lineares de 7,58 e 8,73 cmol_c dm⁻³, respectivamente, para SD e PD. A menor magnitude destes coeficientes lineares da capacidade de troca de cátions da fração inorgânica pode ser atribuída ao predomínio de caulinita e óxidos de ferro da fração argila destes solos, os quais, naturalmente, apresentam baixa capacidade de troca de cátions (Sposito, 1989; Costa *et al.*, 1999). Dos íons que constituem a capacidade de troca de cátions, o Ca²⁺ apresentou maior dependência dos teores de carbono orgânico do solo sob SD, sendo observado o oposto, e em menor magnitude, para os teores de Mg²⁺ e K⁺ sob PD (Figura 3b, c, d).

A escarificação utilizada sob SD, à semelhança dos valores de pH promoveu a homogeneização dos valores de saturação por bases na profundidade de 0,05-0,60m em valores médios de 67%, enquanto o SD e o PD se diferenciam com valores de 70%, respectivamente, nas camadas de 0-0,05 e 0,10-0,20m (Figura 4a). Estes

resultados caracterizam o caráter eutrófico deste solo e a ausência de limitações às culturas por Al^{3+} , os quais apresentaram valores médios inferiores a 0,02 e 0,09 $cmol_c\ dm^{-3}$, respectivamente, no SD e PD, observados na profundidade de 0-0,10m.

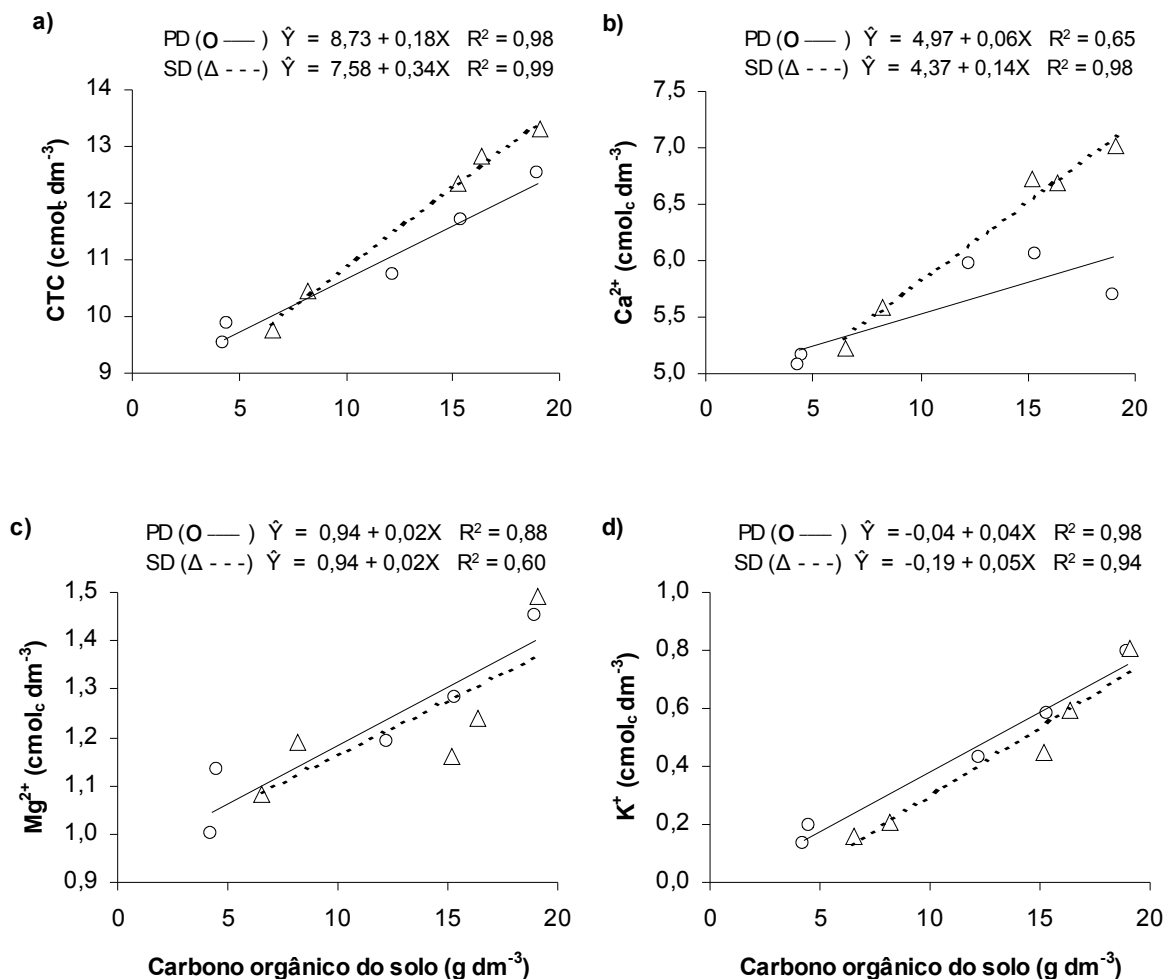


Figura 3. Valores de capacidade de troca de cátions (a), Ca^{2+} (b), Mg^{2+} (c) e K^+ (d), em função dos teores carbono orgânico do solo. A distribuição dos valores da direita para a esquerda correspondem as camadas de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m, sob PD e SD.

Foram constatados teores de P estatisticamente maiores na camada de 0-0,05m no PD ($42,87\ mg\ dm^{-3}$), enquanto a escarificação distribui parte deste nutriente acumulado na superfície para as camadas subsuperficiais do solo, observando-se nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20m do SD, respectivamente, $24,88$ e $8,88\ mg\ dm^{-3}$, os quais foram superiores aos teores de P disponível no PD (Figura 4b). Estes resultados foram similares aos obtidos por Silveira *et al.* (2000), os quais verificaram maiores teores de P extraível no PD em relação aos sistemas com revolvimento do solo na camada de 0-0,05m. O revolvimento do solo sob SD é maior em superfície e tende a aumentar o contato do P disponível com o

solo, predispondo-o à adsorção e reduzindo sua disponibilidade (Prado *et al.*, 2001).

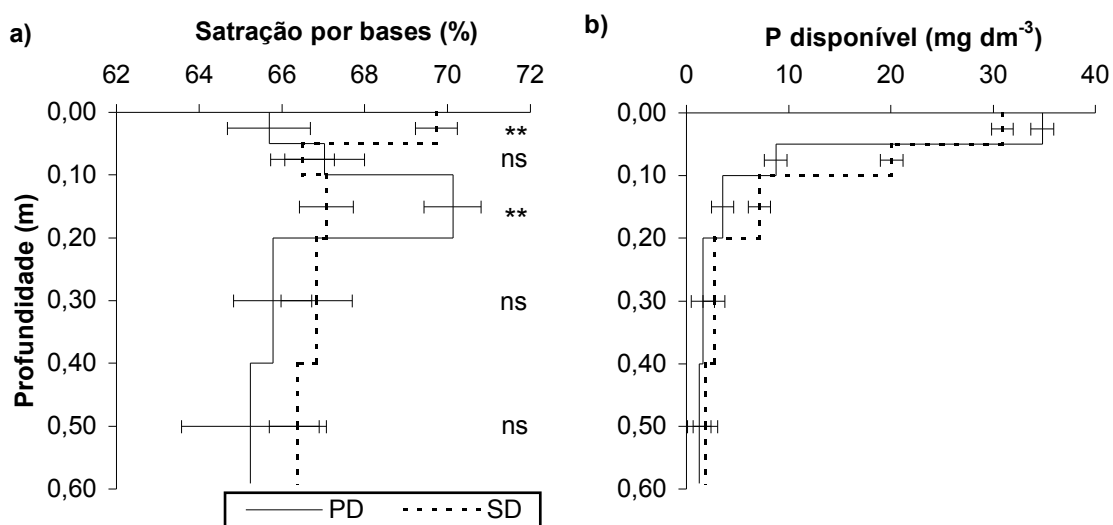


Figura 4. Valores de saturação por bases (a) e teores de P disponível (b), nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m, sob PD e SD. As barras transversais representam o erro padrão da média. ** e ns, respectivamente, $P < 0,01$ e diferença não significativa pelo teste t.

Na Figura 4b observam-se maiores teores de P disponível na profundidade de 0,05-0,20m, sob SD comparado aos do PD, caracterizando o efeito da mobilização do solo pela escarificação no SD. A maior dependência dos teores de P aos teores de carbono orgânico do solo revelam o aumento dos teores de P disponível em profundidade no SD em relação ao PD, expressos matematicamente pelos coeficientes de regressão exponencial, de 0,19 e 0,21, respectivamente, para o PD e SD (Figura 5). No caso do PD, grande parte do P disponível provém de compostos orgânicos solúveis, portando mais prontamente disponíveis, mas que se acumulam devido o fato de não haver revolvimento do solo e devido a baixa mobilidade deste nutriente no solo (Franchini *et al.*, 2002). Os maiores teores de P disponível sob SD foram mobilizados pela escarificação na profundidade de 0-0,20m por meio dos resíduos orgânicos e, provavelmente, foram disponibilizados pela maior taxa de decomposição e de solubilização destes compostos orgânicos (Ciotta *et al.*, 2002).

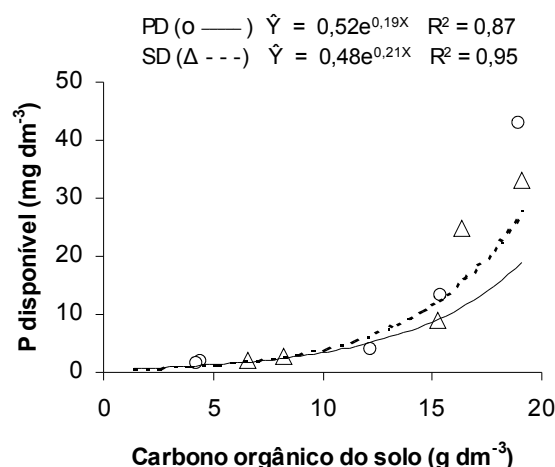


Figura 5. Teores de P disponível em função dos teores de carbono orgânico do solo. A distribuição dos valores da direita para a esquerda correspondem as camadas de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m, sob PD e SD.

Conclusão

O sistema PD propiciou os maiores teores de P na camada de 0-0,05m e menores teores em subsuperfície em relação ao SD. No SD constatou-se aumento dos teores de Ca^{2+} e P disponível na profundidade de 0,05-0,20m, os quais foram dependentes do carbono orgânico do solo. A CTC e o P do solo, em ambos sistemas de manejo (PD e SD), apresentaram uma correlação significativa com os teores de carbono orgânico do solo, sendo maior no sistema SD. O sistema SD apresentou maiores valores de pH na superfície do solo. Os teores de Mg^{2+} e K^+ não foram influenciados pelos sistemas de manejo utilizados. Os resultados indicam que os sistemas de manejo estudados pouco se diferenciaram em relação à qualidade química do solo.

Referências

- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.21, p.105-112, 1997.
- BLEVINS, R. R. *et al.* Changes in soil properties after 10 years continuous non-tillage and conventionally tillage corn. *Soil Till. Res.*, Amsterdam, v.3, p.135-146, 1983.
- CAMBUIM, F. A.; CORDEIRO, D. A. Ação de vinhaça sobre pH, acidez total e acumulação de nutrientes em solo arenoso. *STAB*, Ribeirão Preto, v.4, p.23-30, 1986.
- CIOTTA, M. N. *et al.* Acidificação de um latossolo sob plantio direto. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.26, p.1055-1064, 2002.
- COSTA, A. C. S. *et al.* Capacidade de troca catiônica dos colóides orgânicos e inorgânicos de latossolos do Estado do Paraná. *Acta Scientiarum*, Maringá, v.21, n.3, p.491-496, 1999.

DERPSCH, R. *et al.* Controle de erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)*, Eschorn, 1991. 272p.

DICK, W. A. Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentration and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.47, n.1, p.102-107, 1983.

EMBRAPA. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná*. Londrina: Embrapa-SNLCS/Sudesul/Iapar, 1984. v.1/2. (Embrapa-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 27; IAPAR. Boletim Técnico, 16).

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de Métodos de Análises de Solos*. Rio de Janeiro. 1997. 212p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. *Produção de Informação*, Rio de Janeiro, 1999. 412p.

FRANCHINI, J. C. *et al.* Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.24, p.459-467, 2000.

FRANCHINI, J. C. *et al.* Potencial de utilização de resíduos vegetais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., Cuiabá, 2002. *Anais...* Cuiabá, 2002. 1 CD-ROM (Palestras).

FRIEDRICH, R. Propriedades físicas e químicas de um latossolo vermelho eutroférrico em dois sistemas de manejo do solo. 2003. 56f. Dissertação (Mestrado)—Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2003.

GRAVETTER, F.J.; WALLNAU, L.B. *Statistics for the behavioral sciences*. 2nd. ed. St. Paul: West Publishing, 1995. 429p.

HARGROVE, W. L. *et al.* Influence of tillage practices on the fertility states of on acid soil double-cropped to wheat and soybeans. *Agron. J.*, Madison, v.74, n.4, p.648-657, 1982.

HATCHER, L.; STEPANSKI, E. J. A step-by-step approach to using the SAS System for Univariate and Multivariate Statistics, Cary: NC: *SAS Institute Inc.*, 1997. 552p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. *Cartas climáticas do Paraná*: edição ano 2000, versão 1.0. Londrina, 2000. 1 CD-ROM.

KLAMT, E.; SOMBOEK, W. G. Contribution of organic matter to exchange properties of oxissols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8., 1986, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: EMBRAPA/SMSS/AID/UPR. Parte 1, 1986. p. 64-70.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo, afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.19, p.395-401, 1995.

KORCAK, R. F. Effects of applied sewage sludge compost and fluidized material on apple seedling growth. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, Monticello, v.11, p.571-585, 1980.

LANGDALE, G. W. *et al.* Restoration of eroded soil with correction tillage. *Soil Tech.*, Mississippi, v.5, p.81-90, 1992.

- LIBARDI, P. L. *et al.* Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v. 20, n.1, p.1-12, 1996.
- LOYOLA, J. E.; PAVAN, M. A. Seletividade de troca de cátions em solos ácidos. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.13, p.131-138, 1989.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.7, n.1, p.95-102, 1983.
- OLIVEIRA, J. O. A. P. *et al.* Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.25, n.2, p.443-450, 2001.
- PAVAN, M. A. *et al.* Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the State of Paraná, Brazil. *Turrialba*, San Jose, v. 35, n. 2, p. 131-139, 1985.
- PRADO, R. M. *et al.* Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo em adubação de manutenção. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.25, p.83-90, 2001.
- RAIJ, B. VAN. *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas, Fundação Cargill, 1987.
- REIS, T. C.; RODELLA, A. A. Cinética de degradação da matéria orgânica e variação de pH do solo sob diferentes temperaturas. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.26, p.619-626, 2002.
- SANTOS, H. P.; SIQUEIRA, O. J. W. Plantio direto e rotação de culturas para cevada: efeitos sobre a fertilidade do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.20, p.163-169, 1996.
- SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Estudo da fertilidade do solo sob quatro sistemas de rotação de culturas envolvendo trigo em plantio direto. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.20, p.407-414, 1996.
- SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.29, p.259-265, 1999.
- SAS INSTITUTE. Statistical Analysis System Institute. *SAS/STAT Procedure guide for personal computers*. Version 5. Cary: SAS Institute. 1999.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.9, p.249-254, 1985.
- SILVA, J. E. *et al.* Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.18, p. 541-547, 1994.
- SILVEIRA, P. M.; CUNHA, A. A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetido a sistemas de preparo. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.37, n.9, p.1325-1332, 2002.
- SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistemas de preparo do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.25, n.2, p.387-394, 2001.
- SILVEIRA, P. M. *et al.* Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.35, n.10, p.2057-2064, 2000.
- SPOSITO, G. *The chemistry of soils*. New York: Oxford University. Press, 1989.
- TAVARES FILHO, J. *Organisation et comportement des latosols du Paraná (Brésil). Influence de leur mise en valeur*. 1995. Tese (Doutorado) - Université de Nancy I, Nancy, 1996.
- TORMENA, C.A. *et al.* Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.28, n.6, p.1023-1031, 2004.
- TURPAULT, M. P. *et al.* Distribution of cation exchange capacity between organic matter and mineral fractions in acid forest soils (Vosges mountains, France). *Euro. J. Soil Sci.*, Oxford, v.47, p. 545-556, 1996.
- YAN, F. *et al.* Soil pH changes during legume growth and application of plant material. *Biol. Fertil. Soil*, Berlin, v.23, p.236-242, 1996.

Received on October 20, 2003.

Accepted on September 09, 2004.