

Alterações na granulometria, grau de flocculação e propriedades químicas e de um Latossolo Vermelho distrófico, sob plantio direto e reflorestamento

Renato de Mello Prado* e William Natale

Unesp-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Depto Solos e Adubos, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n., 14870-000 Jaboticabal, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: rmp Prado@fcav.unesp.br

RESUMO. O objetivo deste estudo foi avaliar as alterações nas propriedades físicas e químicas e de um Latossolo Vermelho distrófico, originalmente sob vegetação de cerrado, submetido ao cultivo contínuo de *Pinus* e culturas anuais. Os tratamentos foram constituídos por três tipos de manejo do solo: cerrado natural, cultivo contínuo, com reflorestamento de *Pinus*, e por culturas anuais em sistema de plantio direto, avaliados no perfil (0-40 cm). Em sistema de plantio direto, ocorreu maior conteúdo de areia fina. Em todos os sistemas de manejo, ocorreu aumento do conteúdo de argila total e redução do grau de flocculação de argila com a profundidade de amostragem. O sistema plantio direto foi o manejo que apresentou maior neutralização da acidez do solo. Entretanto, o teor de matéria orgânica, na camada superficial, sofreu decréscimos. O reflorestamento com *Pinus*, comparado ao Cerrado nativo, teve o teor de matéria orgânica aumentada, assim como a acidez, especialmente na camada superficial, e sem alteração para as camadas subsuperficiais. As maiores concentrações de B e Mn do solo foram observadas na vegetação de cerrado; o sistema plantio direto apresentou a maior concentração de Zn e Cu, além de P e K, e o reflorestamento e a vegetação de cerrado apresentaram maior concentração de Fe. Para o Ca, o sistema plantio direto proporcionou maior acúmulo desse elemento, exceto na camada superficial do solo, onde foi semelhante à vegetação de cerrado. No *Pinus* houve redução na quantidade do K no solo, comparado à vegetação de cerrado, caracterizando o poder de dreno de K do reflorestamento, assim como para o Mg, especialmente na camada superficial do solo.

Palavras-chave: solos, *Pinus*, culturas anuais, cultivo intenso.

ABSTRACT. Chemical and physical alterations of a Red Latosol under continuous cultivation with no-tillage and reforestation. The aim of this study was to evaluate chemical and physical properties alterations of a dystrophic Red Latosol, originally under savanna vegetation, submitted to the continuous cultivation of *Pinus* and annual crop. The treatments were constituted of three types of soil management as natural savanna, continuous cultivation with *Pinus* reforestation and annual crops in no-tillage system, evaluated at 0 – 40 cm depth. In no-tillage system, greater content of fine sand occurred. The total clay content increased and the flocculation degree diminished with the depth of sampling in all management systems. No-tillage presented the best results as neutralization of the soil acidity. However, the organic substance in the superficial layer decreased. The reforestation with *Pinus*, when compared to savanna had its organic matter increased as well as the acidity especially in the superficial layer with no alteration in the subsurface layers. The highest concentrations of B and Mn in the soil were observed in savanna vegetation. No-tillage system presented higher concentrations of Zn and Cu, besides P and K. Reforestations and savanna vegetation showed Fe concentration. No-tillage provided a greater accumulation Ca except for the superficial layer, where it was similar to savanna vegetation. In *Pinus*, there was a reduction of K content in the soil when compared to savanna vegetation, characterizing K drainage power as well as Mg in reforestation, especially in the superficial layer of the soil.

Key words: soil, *Pinus*, annual crop, continuous cultivation.

Introdução

A maior rapidez da degradação do solo sob exploração agrícola no mundo, especialmente nos países

tropicais em desenvolvimento, despertou, nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade da agricultura (Lal e Pirce, 1991).

A ocupação de área com reflorestamento ou sistema plantio direto são formas de exploração conservacionista, especialmente em áreas de baixa fertilidade e susceptíveis à erosão, com o objetivo de minimizar a degradação química e física do solo. O estudo das transformações que ocorrem, resultantes do uso e manejo dos solos, é de grande valia na escolha do sistema mais adequado para se preservar/recuperar a potencialidade das áreas (Fernandes, 1982).

Corazza *et al.* (1999) verificaram, na região do cerrado, que sistemas de cultivo sem perturbação do solo, como plantio direto e reflorestamento, propiciaram maior acúmulo de carbono no solo, quando comparado ao sistema de cultivo convencional. No caso do plantio direto, esse acúmulo anual foi de 1,43 Mg C ha⁻¹, enquanto no reflorestamento com *Eucalipto* foi de 1,22 Mg ha⁻¹ de C. Costa Lima *et al.* (1995) e Prata *et al.* (1996) verificaram que o reflorestamento com *Pinus* foi eficiente não apenas para manter o estoque de carbono total do solo, como também para aumentá-lo na superfície. Cabe salientar que as variações no teor de matéria orgânica no solo sob cultivo podem ser diferentes, em função da textura e da mineralogia, sendo os solos argilosos e com predominância de minerais com carga variável (óxidos de Fe e Al e a caulinita) mais resistentes à decomposição da matéria orgânica (Parfitt *et al.*, 1997).

A manutenção ou o aumento da matéria orgânica tem reflexos diretos nas propriedades físicas do solo. Prado e Centurion (2001) observaram que a exploração contínua com cana-de-açúcar degradou a macroestrutura do solo e que a diminuição da matéria orgânica reduziu o grau de flocculação das argilas. Cavenage *et al.* (1999), estudando diferentes formas de ocupação do solo (pastagem, milho, mata ciliar, *eucalipto* e *pinus*), comparada à vegetação natural de cerrado, observaram que o *Pinus* e a mata ciliar foram aquelas que promoveram as menores alterações físicas, aproximando-se das condições da vegetação natural. O processo de degradação física do solo pode impedir o desenvolvimento das raízes das plantas e o movimento da água no perfil do solo, limitando, assim, a produtividade das culturas (Hamblin, 1985).

Nemeth e Davey (1974) ressaltaram a importância das características físicas do solo e concluíram que elas foram o melhor critério para avaliar o crescimento em altura de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L. Nesse sentido, Mader (1976), estudando *Pinus strobus* L., concluiu que o acréscimo no conteúdo de silte e de argila no horizonte "A" contribui para maior crescimento das plantas, justificando serem, provavelmente, essas as

frações que favoreceram a retenção de umidade e a fertilidade na zona primária de enraizamento. Entretanto, o mesmo acréscimo no horizonte "B" esteve associado a uma redução na qualidade de sítio, provocando diminuição da aeração e pouco enraizamento. Conclusões semelhantes foram apresentadas por Lowry (1975).

Brum (1979), estudando o crescimento de *Pinus elliottii*, observou que, entre as frações granulométricas do solo, o teor de silte do solo apresentou correlação negativa com a altura da planta. Essa correlação foi também o resultado encontrado por Hoppe (1980), para *Araucaria angustifolia*, e por De Hoog e Dietrich (1979), quando estudaram a percentagem de argila do horizonte "B" e a altura da *Araucaria angustifolia*.

A implantação de reflorestamentos pode também afetar as propriedades químicas do solo, em função do tempo de cultivo, reduzindo as bases trocáveis (Lepsch, 1980) e aumentando a concentração de alumínio tóxico, com reflexos no valor pH (Haag *et al.*, 1978).

O objetivo desta pesquisa foi avaliar alterações nas propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho distrófico, sob vegetação de cerrado, submetido ao cultivo contínuo de *Pinus* e de culturas anuais sob sistema plantio direto.

Material e métodos

O experimento foi realizado num Latossolo Vermelho distrófico, textura média, relevo suave ondulado, na Fazenda Capão da Raposa, localizada no Município de Uberlândia, Estado de Minas Gerais, Brasil. O clima é o mesotérmico, com inverno seco (Cwa), pelo sistema de Köppen.

Foram selecionados, aleatoriamente, três perfis representativos do solo, em março de 2002, na mesma posição topográfica do terreno em cada tipo de manejo, ou seja: ausência de atividade agrícola (cerrado nativo); cultivo contínuo com reflorestamento de *Pinus* por vinte anos; e culturas anuais em sistema plantio direto, sendo os primeiros cinco anos sob cultivo convencional, e o restante, quinze anos, sob sistema plantio direto.

O perfil do solo sob vegetação de cerrado, *Pinus* e plantio direto apresenta uma manta orgânica de 4cm de espessura, formada por detritos vegetais pouco decompostos.

As áreas sob cultivo com *Pinus* e sistema plantio direto receberam adubação conforme recomendações oficiais da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais.

Para a análise estatística, utilizou-se delineamento experimental em parcelas subdivididas, com três

repetições. As parcelas foram constituídas pelos três tipos de manejo. As subparcelas foram constituídas pelas seguintes profundidades do perfil: 0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm e 30-40 cm. A amostra composta foi obtida a partir de quinze subamostras simples. Optou-se por estudar a profundidade até 40 cm, pois essa é a camada mais susceptível às alterações físicas e químicas, na qual a atividade do sistema radicular e da microbiota do solo são mais intensas (Prado e Centurion, 2001).

As amostras de solo foram coletadas com auxílio de um trado tipo holandês, em cada tratamento. Posteriormente, as amostras foram secas, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura. A análise granulométrica e a argila dispersa em água foram realizadas de acordo com Embrapa (1997). Calculou-se ainda o grau de floculação da argila pela seguinte expressão: argila total - argila dispersa em água/argila total. As determinações químicas para fins de fertilidade do solo seguiram os métodos descritos por Rajj *et al.* (2001).

Quando os sistemas de manejo de cultivo ou profundidade e a interação entre eles mostraram significância pelo teste F, a comparação das médias foi feita pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), em cada caso, conforme Pimentel-Gomes (1990).

A análise de variância dos sistemas de manejo nas diferentes profundidades não afetaram as características granulométricas do solo, exceto a areia fina e a relação AF/AG, argila total e o grau de floculação (Tabela 1).

O conteúdo de areia fina foi maior no sistema plantio direto, comparado ao reflorestamento e cerrado nativo, em todas as profundidades avaliadas, acarretando aumento na relação areia fina/areia grossa, nessa condição de manejo (Tabela 2).

O conteúdo de argila total aumentou com a profundidade de amostragem em todos os sistemas de cultivo (Tabela 2) de forma que esse aumento deve-se, possivelmente, a fatores ligados à gênese do solo em estudo.

Tabela 1. Valor F dos resultados da análise de variância do fator principal (tipo de manejo M) e do fator secundário (profundidade P), em relação às propriedades físicas do Latossolo Vermelho distrófico, em Uberlândia, Estado de Minas Gerais

| Fonte de Variação ⁽¹⁾ | AG | AF | S | AT | AF/AG | S/A | GF |
|----------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Manejo | 5,3 ^{ns} | 30,7 ^{**} | 1,0 ^{ns} | 2,4 ^{ns} | 7,6* | 0,7 ^{ns} | 39,2 ^{**} |
| Profundidade | 1,1 ^{ns} | 1,5 ^{ns} | 2,3 ^{ns} | 6,1 ^{**} | 1,7 ^{ns} | 2,1 ^{ns} | 106,6 ^{**} |
| Interação | 2,5 ^{ns} | 1,5 ^{ns} | 1,6 ^{ns} | 2,3 ^{ns} | 3,5* | 2,0 ^{ns} | 3,6* |
| CV (M) (%) | 6,5 | 1,0 | 19,0 | 4,1 | 8,1 | 20,4 | 7,2 |
| CV (P) (%) | 4,2 | 2,1 | 12,5 | 6,6 | 4,9 | 15,4 | 7,8 |

AG: areia grossa; AF: areia fina; S: Silte; AT: argila total; GF: grau de floculação

NSi*;**resultado do valor de f não significativo, significativo ($P < 0,01$) e ($P < 0,05$), respectivamente.

Resultados e discussão

Tabela 2. Valores de areia grossa (AG), areia fina (AF), silte (S) e argila total (AT) de um Latossolo Vermelho distrófico, sob condições de cerrado nativo, plantio direto (culturas anuais) e reflorestamento (*Pinus*), em Uberlândia, Estado de Minas Gerais⁽¹⁾.

| Profundidade cm | AG | AF | S | AT | AF/AG | S/A | GF |
|----------------------------------|-------|-------|------|--------|---------|--------|---------|
| g kg ⁻¹ | | | | | | | |
| Vegetação nativa (Cerrado) | | | | | | | |
| 0-10 | 328Aa | 532Ba | 50Aa | 90Ab | 1,62Ab | 0,56Aa | 72,3Aa |
| 10-20 | 315Aa | 530Ba | 55Aa | 97Aab | 1,69Aab | 0,58Aa | 47,0Ab |
| 20-30 | 310Aa | 530Ba | 70Aa | 90Aab | 1,71Aab | 0,78Aa | 45,7Ab |
| 30-40 | 310Aa | 520Ba | 65Aa | 105Aa | 1,68Aa | 0,62Aa | 44,0Ab |
| Plantio direto (culturas anuais) | | | | | | | |
| 0-10 | 280Aa | 552Aa | 70Aa | 85Ab | 2,02Aa | 0,83Aa | 53,0Ba |
| 10-20 | 293Aa | 537Aa | 65Aa | 98Aab | 1,83ABa | 0,67Aa | 37,0Bb |
| 20-30 | 302Aa | 540Aa | 72Aa | 103Aab | 1,81Ba | 0,69Aa | 36,0Bb |
| 30-40 | 300Aa | 535Aa | 60Aa | 105Aa | 1,78Ba | 0,57Aa | 34,7Bb |
| Reflorestamento (<i>Pinus</i>) | | | | | | | |
| 0-10 | 310Aa | 530Ba | 65Aa | 95Ab | 1,71Ab | 0,69Aa | 68,3Aa |
| 10-20 | 325Aa | 520Ba | 65Aa | 90Aab | 1,60Ab | 0,72Aa | 44,0ABb |
| 20-30 | 332Aa | 512Ba | 68Aa | 95Aab | 1,58Ab | 0,72Aa | 36,3Bbc |
| 30-40 | 303Aa | 535Ba | 63Aa | 98Aa | 1,77Aa | 0,64Aa | 35,7Bc |

¹Letra maiúscula compara sistemas de uso do solo na mesma profundidade; letra minúscula compara profundidade no mesmo sistema de uso de solo; médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

Tabela 3. Valor de F dos resultados da análise de variância do fator principal tipo de manejo (M) e do fator secundário na profundidade (P), quanto às propriedades químicas do solo, em Uberlândia, Estado de Minas Gerais

| Fonte de Variação | pH | M.O. | P | K | Ca | Mg | H+Al | SB | CTC | V |
|-------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Manejo | 340,1 ^{**} | 16,8* | 388,4 ^{**} | 248,2 ^{**} | 79,3 ^{**} | 39,4 ^{**} | 106,3 ^{**} | 78,7 ^{**} | 40,1 ^{**} | 128,5 ^{**} |
| Profundidade | 3,2 ^{**} | 65,7 ^{**} | 41,9 ^{**} | 168,3 ^{**} | 66,3 ^{**} | 172,0 ^{**} | 365,9 ^{**} | 100,3 ^{**} | 657,9 ^{**} | 23,7 ^{**} |
| Interação | 4,3 ^{**} | 7,9 ^{**} | 30,6 ^{**} | 29,8 ^{**} | 17,2 ^{**} | 65,1 ^{**} | 205,2 ^{**} | 26,5 ^{**} | 92,9 ^{**} | 21,3 ^{**} |
| CV (M) (%) | 2,4 | 17,0 | 23,1 | 14,1 | 24,7 | 20,7 | 12,2 | 21,7 | 5,8 | 20,6 |
| CV (P) (%) | 3,3 | 22,9 | 21,5 | 10,5 | 15,2 | 8,5 | 3,9 | 11,9 | 3,4 | 9,5 |

NSi*;**resultado do valor de f não significativo, significativo ($P < 0,01$) e ($P < 0,05$), respectivamente.

Tabela 4. Valores de pH, M.O., P, K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC e V de um Latossolo Vermelho distrófico sob condições de cerrado nativo, sistema plantio direto e reflorestamento com *Pinus*, em Uberlândia, Estado de Minas Gerais ⁽¹⁾.

| Profundi-dade | pH | M.O. | P | K | Ca | Mg | H+Al | SB | CTC | V |
|----------------------------------|--------|--------------------|--------------------|--------|-------|-------|------------------------------------|--------|---------|-------|
| Cm | | g dm ⁻³ | mgdm ⁻³ | | | | mmol _c dm ⁻³ | | | % |
| Vegetação nativa (Cerrado) | | | | | | | | | | |
| 0-10 | 4,5Ba | 35Ba | 7Ba | 1,2Ba | 14Aa | 7Aa | 38,0Ba | 22,2Aa | 60,2Ba | 37Ba |
| 10-20 | 4,2Bab | 17Ab | 3Ba | 0,8Bb | 3Bb | 2Bb | 31,0Ab | 6,1Bb | 37,1Ab | 17Bb |
| 20-30 | 4,0Bb | 12Ab | 3Ba | 0,5Bc | 3Bb | 2Bb | 31,3Ab | 5,5Bb | 36,9Ab | 15Bb |
| 30-40 | 4,0Bb | 10Ab | 3Ba | 0,4Bc | 3Bb | 2Bb | 29,3Ab | 5,0Bb | 34,4Ab | 15Bb |
| Plantio direto (culturas anuais) | | | | | | | | | | |
| 0-10 | 5,3Aa | 18Ca | 51Aa | 2,0Aa | 15Aa | 6Ba | 16,7Ca | 23,3Aa | 40,0Ca | 59Aa |
| 10-20 | 5,1Aab | 13Aab | 44Aa | 1,8Aa | 13Aab | 4Ab | 16,0Ba | 19,1Ab | 35,1Ab | 54Aab |
| 20-30 | 5,1Aab | 11Aab | 50Aa | 1Ab | 12Ab | 3,7Ac | 17,7Ba | 17,1Ab | 34,8ABb | 49Abc |
| 30-40 | 4,9Ab | 9Ab | 10Ab | 1Ac | 8Ac | 3,7Ac | 16,3Ca | 12,6Ac | 28,9Bc | 43Ac |
| Reflorestamento (<i>Pinus</i>) | | | | | | | | | | |
| 0-10 | 3,9Ca | 42Aa | 7Ba | 0,5Ca | 5Ba | 2Ca | 61,7Aa | 7,5Ba | 69,2Aa | 11Cb |
| 10-20 | 4,0Ba | 12Ab | 3Ba | 0,4Cab | 3Ba | 2Ba | 31,3Ab | 5,4Ba | 36,7Ab | 15Bab |
| 20-30 | 4,1Ba | 11Ab | 2Ba | 0,2Cb | 3Ba | 2Ba | 27,7Ac | 5,2Ba | 32,9Bc | 16Bab |
| 30-40 | 4,1Ba | 9Ab | 2Ba | 0,2Cb | 3Ba | 2Ba | 23,3Bd | 5,2Ba | 28,6Bd | 18Ba |

¹Letra maiúscula compara sistemas de uso do solo na mesma profundidade; letra minúscula compara profundidade no mesmo sistema de uso do solo; médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05)

O maior grau de floculação ocorreu na vegetação nativa, seguida do reflorestamento e do sistema plantio direto (Tabela 2); nas camadas superficiais (0-10 cm e 10-20 cm), o reflorestamento apresentou grau de floculação semelhante à vegetação nativa, ao passo que nas camadas subsuperficiais esse fato não ocorreu, sendo a vegetação nativa significativamente superior aos demais manejos. O grau de floculação reduziu da camada (0-10 cm) para as mais profundas. Isso ocorreu provavelmente pela menor contribuição da matéria orgânica nas camadas mais profundas do que na superficial, pois esta última é mais beneficiada com a deposição dos restos vegetais, e, conseqüentemente, nela ocorre maior acúmulo de matéria orgânica. O efeito da floculação da argila, em áreas com vegetação nativa, foi constatado também por Carvalho Júnior *et al.* (1998).

A análise de variância das características químicas do solo pH, M.O. (matéria orgânica), P (fósforo), K⁺ (potássio), Ca²⁺ (cálcio), Mg²⁺ (magnésio), (H⁺+Al³⁺) (acidez potencial), SB (soma de bases), CTC (capacidade de troca catiônica) e V%, nos três tipos de manejo e nas quatro profundidades, revelou diferenças entre os tratamentos (Tabela 3). A interação tipo de manejo x profundidade foi significativa, indicando que o efeito do manejo foi dependente da profundidade e vice-versa.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados das características químicas do solo, nos diferentes manejos e profundidades. O valor pH aumentou nas quatro profundidades avaliadas, quando o manejo foi o sistema plantio direto, comparado aos outros tipos de uso. Isso pode ser explicado pela calagem freqüente nessa condição. Apenas na camada subsuperficial do solo (30-40 cm) a acidificação foi mais intensa diferindo da camada superficial de 0-10

cm. Observou-se ainda que o cultivo de *Pinus* foi o sistema que mais acidificou o solo na camada superficial (0-10 cm). A acidificação superficial do solo com o cultivo de *Pinus* também foi constatada por Haag *et al.* (1978) e Lepsch (1980), visto que a decomposição das acículas que cobrem o solo podem baixar o valor pH e aumentar o teor de alumínio, segundo Munhoz *et al.* (1986). De maneira geral, com o aumento da profundidade, o valor pH decresceu no plantio direto e no cerrado nativo e se manteve uniforme com a exploração de *Pinus*.

O teor de M.O. no perfil do solo foi semelhante nos diferentes tipos de manejo, exceto na camada superficial (0-10 cm), em que o *Pinus* apresentou maior valor, seguido da vegetação de cerrado e do sistema plantio direto. Costa Lima *et al.* (1995) observaram também que a influência da M.O. em área com *Pinus* é maior na camada superficial do solo (0-0,10 m). A substituição da vegetação de cerrado pelo plantio direto reduziu o teor de matéria orgânica do solo apenas na camada superficial (0-10 cm). Esse fato foi também constatado em área sob plantio direto, por quatorze anos, por Lima *et al.* (1994). Entretanto, nas camadas mais profundas (abaixo de 10 cm), a introdução de *Pinus* ou plantio direto não alterou significativamente os teores de matéria orgânica observados no cerrado nativo. Isso se deve, possivelmente, ao fato de que a decomposição da matéria orgânica, em subsuperfície, não muda significativamente depois de retirada a floresta nativa (Greeland e Nye, 1959). Tal fato indica que os resíduos vegetais presentes na superfície do solo têm ação restrita à camada superficial (0-10 cm), e o sistema radicular do *Pinus*, embora profundo, não

tem capacidade de incrementar significativamente a matéria orgânica do solo em profundidade.

Observou-se ainda que há um decréscimo no teor de M.O. ao longo do perfil do solo, em todos os manejos, indicando que o acúmulo de material orgânico, proveniente da liteira da vegetação permanente ou dos resíduos das culturas anuais, foi maior na camada superficial e decresceu com a profundidade. Nesse sentido, a diminuição do teor de M.O. com o cultivo de *Pinus*, na vegetação de cerrado e no plantio direto, na camada de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm atingiu 79%, 71% e 51%, respectivamente. Corazza *et al.* (1999) observaram também maior redução da M.O. em profundidade, em área de reflorestamento com *Eucalypto*. Esse maior acúmulo de M.O. na camada superficial do solo é explicado pela maior quantidade de microorganismos fúngicos, que são mais eficientes na assimilação e na retenção do carbono, devido à maior proporção de carbono imobilizada na biomassa fúngica, ao invés de ser liberado como CO₂. Além disso, a biomassa fúngica é mais estável, pois tem maior quantidade de células formando paredes, as quais são mais recalcitrantes à decomposição (Holland e Coleman, 1987 citados por Lima *et al.*, 1994).

Para o P, observou-se que o sistema plantio direto manteve maiores concentrações daquele elemento no solo. Isso pode ser explicado pelas adições freqüentes de P na adubação de semeadura das culturas anuais ao longo do tempo de cultivo. Os valores de P mantiveram-se uniformes no perfil do solo, exceto na camada subsuperficial (30-40 cm) sob plantio direto, que apresentou decréscimo, provavelmente devido à maior fixação causada pela maior acidez.

Da mesma forma que para o P, o sistema plantio direto apresentou maior concentração de K no solo, em função das fertilizações anuais. No *Pinus*, houve redução na quantidade de K no solo, comparado à vegetação de cerrado, caracterizando o poder de dreno de K do reflorestamento. Além disso, a manta orgânica da vegetação de cerrado apresentou valores mais elevados de potássio que a do *Pinus* (Lopes *et al.*, 1983). Em todos os sistemas de manejo com aumento da profundidade, decresceu a concentração de potássio no solo.

Para o Ca, o sistema plantio direto proporcionou maior acúmulo desse elemento, exceto na camada superficial do solo (0-10 cm), onde foi semelhante à vegetação de cerrado. Houve ainda uma queda na concentração de Ca com a profundidade - exceto no *Pinus*, que foi uniforme em todas as camadas do solo.

Na vegetação nativa e no sistema plantio direto, as maiores concentrações de Mg foram determinadas na camada de 0-10 cm, decrescendo com a profundidade. No caso do *Pinus*, as quantidades de Mg, ao longo do perfil, não variaram (Tabela 4).

Comparando-se os três tipos de manejo, o sistema plantio direto foi o que apresentou os menores valores de H⁺+Al³⁺, provavelmente devido à prática da calagem. No cultivo de *Pinus* e na vegetação de cerrado, houve maior concentração de H⁺+Al³⁺, na camada de 0-10cm. Com o aumento da profundidade, a concentração de H⁺+Al³⁺ diminuiu, exceto no sistema plantio direto, que apresentou valor homogêneo no perfil do solo. A maior acidez potencial na camada superficial, em detrimento da subsuperficial, também foi constatada por Lopes *et al.* (1984) em *Pinus* com dezenove anos de idade.

O cultivo pelo sistema plantio direto possibilitou os maiores valores de S.B no perfil do solo, exceto na camada superficial (0-10 cm), onde os valores foram semelhantes à vegetação de cerrado. Nota-se que o manejo com *Pinus* proporcionou os menores valores de soma de bases, indicando que o reflorestamento, apesar do conhecido enraizamento profundo, tem pouca capacidade de resgatar nutrientes dessas camadas e mobilizá-los para a superfície do solo, quando da deposição do material vegetal. Esses resultados discordam daqueles de Guimarães e Gomes (1957), que afirmam terem os reflorestamentos capacidade de mobilizar nutrientes em profundidade. O decréscimo nos valores de S.B. com a profundidade de amostragem foi significativo, exceto no cultivo com *Pinus*.

Quanto a CTC, a diferença mais marcante foi observada na camada superficial, na qual o *Pinus* apresentou o maior valor para essa variável, seguido da vegetação de cerrado e do sistema plantio direto. Maiores valores da CTC em solo sob reflorestamento, comparado ao sistema plantio direto, na camada superficial do solo, também foram constatados por Prata *et al.* (1996). Isso pode ser explicado pelo maior teor de matéria orgânica no solo sob *Pinus*, conforme discutido anteriormente. De maneira geral, para todos os usos de solo, houve decréscimo da CTC com a profundidade de amostragem. Esse fenômeno pode ser explicado devido a CTC acompanhar a distribuição da matéria orgânica no perfil do solo e a conhecida relação de dependência entre as duas variáveis em solos tropicais (Fassbender, 1975).

O sistema plantio direto foi o que apresentou os maiores valores de V%, como ocorreu para S.B., especialmente na camada superficial. Esse acúmulo de nutrientes na camada 0-10 cm no sistema plantio

direto é amplamente relatado na literatura (Sindiras e Pavan, 1985). Isso decorre das práticas da calagem e da adubação efetuadas em pequena profundidade, aliadas à deposição de resíduos de culturas sobre a superfície, e que aí permanecem pelo não-revolvimento do solo. Para o *Pinus*, observou-se que, na camada superficial (0-10 cm), houve menor valor de V%. Esse fato está de acordo com o que ocorreu para as demais variáveis, como pH, H+Al, SB, discutidas anteriormente, visto existir uma relação estreita entre esses atributos químicos. Os resultados demonstraram que o cultivo de *Pinus* não manteve a fertilidade do solo e, nem o manto orgânico, não contribuindo consistentemente para alterar aspectos químicos do solo. Isso pode ser explicado pelo fato de que grande aporte de nutrientes num reflorestamento, como *Pinus*, está estocado na biomassa acima do solo, e o manto orgânico tem quantidades desprezíveis de nutrientes (Poggiani *et al.*, 1985). De maneira geral, para todos os sistemas de manejo do solo, houve decréscimo dos valores de V% com a profundidade de amostragem.

Pela análise de variância, os fatores manejo do solo, a profundidade e a interação apresentaram resultados significativos na alteração da concentração de micronutrientes do solo, exceto a interação para o cobre (Tabela 5).

A maior concentração de B foi observada na vegetação de cerrado, ao passo que no plantio direto e no reflorestamento foram semelhantes quanto à concentração desse nutriente no perfil do solo, exceto na camada de 10-20 cm, onde a vegetação de cerrado e plantio direto foram semelhantes, e isso resultou em interação entre os fatores (Tabela 6). Avaliando a concentração de B no perfil do solo, independentemente do sistema de uso, o maior valor foi obtido na camada de 0-10 cm de profundidade, seguida da 10-20 cm, e as demais camadas subsuperficiais foram inferiores e semelhantes.

Tabela 5. Valor de F dos resultados da análise de variância do fator principal tipo de manejo (M) e do fator secundário na profundidade (P), quanto às propriedades químicas (micronutrientes) do solo

| Fonte de Variação | B | Cu | Mn | Zn | Fe |
|-------------------|--------|---------|---------|---------|--------|
| Manejo | 19,8* | 127,0** | 438,3** | 185,8** | 50,4** |
| Profundidade | 69,6** | 6,5** | 645,3** | 138,1** | 71,5** |
| Interação | 5,0** | 2,5ns | 77,2** | 14,0** | 30,5** |
| CV (M) (%) | 29,2 | 14,1 | 7,5 | 16,7 | 20,8 |
| CV (P) (%) | 10,1 | 17,8 | 9,9 | 22,6 | 16,2 |

NSi*,** resultado do valor de f não significativo, significativo (P<0,01) e (P<0,05), respectivamente.

A maior concentração de B no sistema plantio direto, na camada superficial do solo, está associada ao teor de matéria orgânica, visto que esta é considerada a fonte mais importante desse nutriente

em solos tropicais. Cabe salientar que todos os sistemas de uso do solo apresentaram concentração considerada baixa do nutriente no solo (< 0,20 mg dm⁻³) segundo Rajj *et al.* (1996).

Tabela 6. Valores de B, Cu, Mn, Zn e Fe de um Latossolo Vermelho distrófico textura média, sob condições de cerrado nativo, sistema plantio direto e reflorestamento com *Pinus*, em Uberlândia, Estado de Minas Gerais

| Profundidade (cm) | B | Cu | Mn mg dm ⁻³ | Zn | Fe |
|----------------------------------|---------|---------|------------------------|---------|----------|
| Vegetação nativa (Cerrado) | | | | | |
| 0-10 | 0,20Aa | 0,30Ba | 21,7Aa | 0,93Ba | 48,00Ba |
| 10-20 | 0,14Ab | 0,23Ba | 5,0Ab | 0,23Bb | 32,00Ab |
| 20-30 | 0,13Abc | 0,23Bab | 4,7Ab | 0,20Bb | 31,00Ab |
| 30-40 | 0,11Ac | 0,20Bb | 4,2Ab | 0,20ABb | 26,67Ab |
| Plantio direto (culturas anuais) | | | | | |
| 0-10 | 0,11Ba | 0,40Aa | 6,7Ba | 2,23Aa | 15,33Ca |
| 10-20 | 0,10ABa | 0,37Aa | 2,6Bb | 0,70Ab | 14,67Ba |
| 20-30 | 0,07Bb | 0,30Aab | 2,4Ab | 0,70Ab | 14,33Ba |
| 30-40 | 0,07Bb | 0,30Ab | 1,3Bb | 0,40Ac | 13,67Ba |
| Reflorestamento (<i>Pinus</i>) | | | | | |
| 0-10 | 0,12Ba | 0,10Ca | 14,0Ca | 0,83Ba | 80,00Aa |
| 10-20 | 0,07Bb | 0,20Ca | 4,4Ab | 0,17Bb | 24,00ABb |
| 20-30 | 0,53Bb | 0,10Cab | 4,2Ab | 0,17Bb | 21,67ABb |
| 30-40 | 0,53Bb | 0,10Cb | 4,1Ab | 0,13Bb | 20,00ABb |

*Letra maiúscula compara sistemas de uso do solo na mesma profundidade; letra minúscula compara profundidade no mesmo sistema de uso de solo; médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

O sistema plantio direto apresentou a maior concentração de Cu, seguido da vegetação de cerrado e do reflorestamento, na média das profundidades analisadas (Tabela 6). Segundo Rajj *et al.* (1996), a concentração desse elemento é média no sistema plantio direto (0,3-0,8 mg dm⁻³) e baixa nos demais sistemas de uso (<0,20 mg dm⁻³). A concentração de Cu nas camadas 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm foram semelhantes e com maior valor desse elemento, sendo que o menor valor foi obtido na camada de 30-40 cm de profundidade.

Em geral, a concentração de Mn no perfil do solo apresentou o maior valor na vegetação de cerrado, seguindo-se o reflorestamento e o sistema plantio direto. Entretanto, nas camadas subsuperficiais (20-30 cm e 30-40 cm) a vegetação de cerrado e o reflorestamento foram semelhantes, resultando na interação dos fatores envolvidos (Tabela 6). A concentração desse elemento na vegetação de cerrado e no reflorestamento é considerada alta (>5 mg dm⁻³) e média no sistema plantio direto (1,3-5,0 mg dm⁻³), segundo Rajj *et al.* (1996).

A maior concentração de Mn na vegetação de cerrado e no reflorestamento, em relação ao sistema plantio direto, deve-se provavelmente ao efeito da calagem no último, o que resulta em valor pH mais alto com reflexos na menor disponibilidade desse micronutriente. A vegetação de cerrado e o reflorestamento, por não receberem aplicação de

calcário, apresentaram menor valor pH, favorecendo a maior disponibilidade do Mn do solo.

Independentemente do sistema de uso do solo, a maior concentração de Mn ocorreu na camada superficial 0-10 cm de profundidade, visto que essa camada sofre maior influência do ambiente, seja pela aplicação de calcário, será pela deposição de material orgânico na superfície do solo, e, conseqüentemente, tem-se a ciclagem do nutriente (Haag, 1987).

Considerando-se todo o perfil do solo analisado, houve maior concentração de Zn no sistema plantio direto, seguindo-se o reflorestamento e a vegetação de cerrado, os quais foram semelhantes. Entretanto, na camada de 30-40 cm, houve uma redução da concentração desse elemento no sistema plantio direto, aproximando-se da vegetação de cerrado (Tabela 6). Este fato resultou em interação dos fatores em estudo. A concentração de Zn no sistema plantio direto é considerada média (0,6-1,2 mg dm⁻³), e no reflorestamento e vegetação de cerrado é considerada baixa (0-0,5 mg dm⁻³), de acordo com Rajj *et al.* (1996).

A maior concentração de Zn no sistema plantio direto deve-se, provavelmente, às aplicações freqüentes da fórmula NPK+Zn na época de semeadura das culturas anuais (Rajj *et al.*, 1996), fato que não ocorre nos demais sistemas de uso do solo em estudo.

Qualquer que seja o sistema de uso do solo, a maior concentração de Zn ocorreu na camada superficial (0-10 cm de profundidade). Isso se deve a pouca mobilidade do Zn no perfil do solo, devido à adsorção específica desse metal, especialmente com os óxidos e com a matéria orgânica do solo (Sims e Patrick, 1978).

O uso do solo com reflorestamento e vegetação de cerrado foi semelhante, revelando maior concentração de Fe no perfil do solo analisado. Entretanto, na camada superficial (0-10 cm), o reflorestamento foi superior aos demais sistemas de uso, o que resultou em interação positiva (Tabela 5). De maneira geral, a camada superficial apresentou a maior concentração desse elemento, exceto no sistema plantio direto, em que a concentração de Fe foi homogênea no perfil do solo. (Tabela 6). Esse acúmulo maior de Fe na camada superficial do solo sob reflorestamento, deve-se ao fenômeno da ciclagem, por meio do fornecimento desse nutriente pela serrapilheira, visto que Valeri (1988) encontrou 74% do Fe total da parte área do *Pinus*, presente nesse compartimento. Segundo os níveis estabelecidos por Rajj *et al.* (1996), todos os sistemas de uso do solo apresentaram concentração alta de Fe (>12 mg dm⁻³).

Da mesma forma que ocorreu com a concentração de Mn, a de Fe no reflorestamento e

na vegetação de cerrado foi maior do que no sistema plantio direto. Portanto, o que foi discutido para o Mn pode ser transposto para o Fe, ou seja, no sistema plantio direto, por receber aplicações freqüentes de calcário, eleva-se o valor pH, reduzindo a disponibilidade do Fe, fato que não ocorre com os demais sistemas de uso do solo estudados nesta investigação.

Conclusão

Em sistema de plantio direto, ocorreu maior conteúdo de areia fina. Em todos os sistemas de manejo, ocorreu aumento do conteúdo de argila total e redução do grau de floculação de argila com a profundidade de amostragem.

O sistema plantio direto foi o manejo que apresentou maior neutralização da acidez do solo. Entretanto, o teor de matéria orgânica, na camada superficial, sofreu decréscimos.

O reflorestamento com *Pinus*, comparado ao Cerrado nativo, teve o teor de matéria orgânica aumentado, assim como a acidez, especialmente na camada superficial e sem alteração para as camadas subsuperficiais.

As maiores concentrações de B e Mn do solo foram observadas na vegetação de cerrado; o sistema plantio direto apresentou a maior concentração de Zn e Cu, além de P e K, e o reflorestamento e a vegetação de cerrado apresentou maior concentração de Fe. Para o Ca, o sistema plantio direto proporcionou maior acúmulo desse elemento, exceto na camada superficial do solo, onde foi semelhante à vegetação de cerrado. No *Pinus*, houve redução na quantidade do K no solo, comparado à vegetação de cerrado, caracterizando o poder de dreno de K do reflorestamento, assim como para o Mg, especialmente na camada superficial do solo.

Referências

- BRUM, E. T. *Relações entre a altura dominante e fatores do sítio, em povoamentos de Pinus elliottii. Engelm. na região de Ponte Alta do Norte, SC.* 1979. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1979.
- CARVALHO JÚNIOR, I.A. *et al.* Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensados em um Latossolo Vermelho textura média, na região dos cerrados. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.22, p.505-514, 1998.
- CAVENAGE, A. *et al.* Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro, sob diferentes culturas. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, 23, p.997-1003, 1999.

- CORAZZA, E.J. *et al.* Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.23, p.425-432, 1999.
- COSTA LIMA, V. *et al.* Efeito da substituição de campo natural por *Pinus* na dinâmica do carbono no solo. *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, Curitiba, 14, n.1/2, p.7-12, 1995.
- DE HOOGH, R. J. *et al.* Avaliação de sítio para *Araucária angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em povoamentos artificiais. *Brasil Florestal*, v.10, n.37, p.19-71, 1979.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análises de solos*. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1997.
- FASSBENDER, H.W. *Química de solos, com ênfase em solos de América Latina*. Turrialba: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas de la OEA, 1975.
- FERNANDES, M.R. *Alterações em propriedades de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, fase cerrado, decorrentes da modalidade de uso e manejo*. 1982. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1982. 65p.
- GREELAND, D.J. *et al.* Increase in the carbon and nitrogen contents of tropical soil under natural fallow. *J. Soil Sci.*, London, v.9, p.284-299, 1959.
- GUIMARÃES, R.F. *et al.* Comportamento de espécies de *Eucalyptus* em solo arenito pobre. São Paulo. Cia de Estradas de Ferro, Serviço Florestal, 1957. 38p. (Boletim, 10).
- HAAG, H.P. *A nutrição mineral e o ecossistema*. In: CASTRO, P.R.C. (Ed.). *Ecofisiologia da produção agrícola*, Piracicaba: Potafós, p.49-69. 1987.
- HAAG, H.P. *et al.* Ciclagem de nutrientes em florestas implantadas de *Eucalyptus* e *Pinus*. II- contribuição de nutrientes na manta. *O Solo*, Piracicaba, v.70, n.2, p.28-31, 1978.
- HAMBLIM, A.P. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. *Adv. Agron.*, San Diego, v.38, p.95-158, 1985.
- HOPPE, J.M. *Relações entre dados analíticos do solo, análise foliar e dados de incremento de Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., na Flona de Passo Fundo, RS. 1980. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 90 p.
- LAL, R. *et al.* The vanishing resource. In: LAL, R.; PIRCE, F.J. (Ed.) *Soil management for sustainability*. Ankeny: *Soil and Water Conservation Society*, 1991, p.1-5.
- LEPSCH, I.F. Influência do cultivo de *Eucalyptus* e *Pinus* nas propriedades químicas de solos sob cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.4, p.103-107, 1980.
- LIMA, V.C.; *et al.* Conteúdo de carbono e biomassa microbiana em agroecossistema: comparação entre métodos de preparo do solo. *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, Curitiba, v.13, n.1/2, p.297-302, 1994.
- LOPES, M.I.M.S. *et al.* Influência do cultivo de *Pinus* sobre a manta orgânica e propriedades químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro primitivamente sob vegetação de cerrado: Efeito sobre o pH e teores de H⁺ e Al⁺⁺⁺ do solo. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, Piracicaba, v.41, p.155-171, 1984.
- LOPES, M.I.M.S. *et al.* Influência do cultivo de *Pinus* sobre a manta orgânica e propriedades químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro primitivamente sob vegetação de cerrado: Efeito sobre a quantidade e composição da manta. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, Piracicaba, v.40, p.423-436, 1983.
- LOWRY, G. L. Black. Spruce quality as related to soil and other site conditions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, v.39, n.1, p.125-131, 1975.
- MADER, D. L. Soil-site productivity for natural stands of white Pine in Massachusetts. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.40, n.1, p.112-115, 1976.
- MUNHOZ, F.G. *et al.* Utilização agrícola das acículas de *Pinus* sp. *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, Curitiba, v.8, n.1, p.59-63, 1986.
- NEMETH, J. C. *et al.* Site factors and net primary productivity of young Loblolly Pine and slash plantations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v.38, n.6, p.968-970, 1974.
- PARFITT, R.L. *et al.* Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma*, v.75, p.1-12, 1997.
- PIMENTEL-GOMES, F. *Curso de Estatística Experimental*, 13 ed. Piracicaba: Nobel, 1990.
- POGGIANI, F. *Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantação florestais de Eucalyptus e Pinus: implicação silviculturais*. 1985. Tese (Livre Docência) - Esalq, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.
- PRADO, R.M. *et al.* Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.36, p.197-203, 2001.
- PRATA, F. *et al.* Influência dos sistemas de plantio direto, convencional e reflorestamento na CTC de um Latossolo Vermelho-Escuro na região de Ponta Grossa-PR. *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, Curitiba, v.15, n.2, p.75-83, 1996.
- RAIJ, B.van. *et al.* *Análise química para avaliação da fertilidade do solo*. Campinas: Instituto Agronômico, 2001.
- RAIJ, B.van. *et al.* (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1996. (Boletim Técnico, 100).
- SIMS, J.L. *et al.* The distribution of micronutrient cations in soil under conditions of varying redox potential and pH. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.42, p.258-262, 1978.
- SINDIRAS, N. *et al.* Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.9, p.249-254, 1985.
- VALERI, S.V. *Exportação de biomassa e nutrientes de povoamento de Pinus taeda L., desbastados em diferentes idades*. 1988. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, 1988.

Received on August 09, 2002.

Accepted on March 26, 2003.