

## Fluxo difusivo de fósforo e zinco influenciado pela compactação de dois latossolos

Sérgio Ricardo Silva<sup>1</sup>  
Nairam Félix de Barros<sup>2</sup>  
Caetano Marciano de Souza<sup>3</sup>

### RESUMO

A compactação pode afetar o transporte de nutrientes no solo, em especial os de menor mobilidade. Este trabalho foi realizado em condições controladas para avaliar os efeitos da compactação do solo com diferentes conteúdos de água sobre sua densidade e o fluxo difusivo de fósforo e de zinco. Foram utilizados um Latossolo Vermelho de textura média (LV<sub>1</sub>) e um Vermelho de textura argilosa (LV<sub>2</sub>). O ensaio consistiu de seis tratamentos para cada solo, correspondendo a cinco níveis de umidade para compactação e uma testemunha sem compactação, com delineamento inteiramente casualizado. A unidade experimental foi composta de anel de PVC com 18,5 cm de altura e 7,2 cm de diâmetro interno, com volume útil de 651 cm<sup>3</sup>, que serviu de câmara de difusão. Uma dose de fósforo, correspondente a 100 mg dm<sup>-3</sup>, e uma de zinco, 20 mg dm<sup>-3</sup>, foram aplicadas aos solos. Os conteúdos de água utilizados na compactação (UC) dos solos foram: 0,04; 0,07; 0,10; 0,13; e 0,16 kg kg<sup>-1</sup> para o LV<sub>1</sub> e 0,10; 0,16; 0,22; 0,28 e 0,34 kg kg<sup>-1</sup> para o LV<sub>2</sub>. A compactação do solo nos vasos de PVC foi realizada utilizando-se uma prensa CBR, sendo aplicada uma pressão estática de 125 kPa. Posteriormente, o conteúdo de água no solo foi elevado até o equivalente de umidade. Para a avaliação do fluxo difusivo de fósforo e de zinco foram utilizadas, respectivamente, lâminas de resina de troca aniônica e de troca catiônica. O ensaio de difusão foi conduzido por 15 dias em condições de laboratório. Decorrido esse tempo, as lâminas de resina foram retiradas da câmara, e os elementos extraídos pela agitação das lâminas com 20 mL de uma solução de NaCl 1 mol L<sup>-1</sup> + HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> durante uma hora. A estimativa do fluxo difusivo de P (FDP) e de Zn (FDZn) foi realizada pela quantificação dos nutrientes adsorvidos às suas respectivas resinas. Os resultados foram submetidos às análises de variância e regressão. O aumento da umidade do solo no momento da compactação ocasionou aumento da densidade em ambos os solos. O FDP e o FDZn foram favorecidos pela compactação do solo. Os resultados indicaram a maior resistência do solo argiloso aos efeitos da compactação e a importância da composição textural e da matéria orgânica nesse processo.

**Palavras-chave:** Difusão de nutrientes, densidade do solo, resina de troca iônica.

### ABSTRACT

#### Effect of soil compaction on diffusive flux of phosphorus and zinc in two oxisols

Soil compaction can affect nutrient transport in the soil, particularly the less mobile ones. An experiment was carried out in controlled conditions in order to evaluate the effects of soil compaction, under different gravimetric water contents, on soil bulk density and diffusive flux of P and Zn. Two Oxisols were used: a loam Oxisol (LV<sub>1</sub>) and a clayey Oxisol (LV<sub>2</sub>). The experiment consisted of six treatments in each soil, corresponding to five soil moisture contents under compaction and a control, in a complete randomized design. The experimental unit consisted of a PVC pipe (18.5

Recebido para publicação em agosto de 2005 e aprovado em setembro de 2008

<sup>1</sup> Veracel Celulose S/A. Rodovia BA 272, Km 24, Cx. P. 21. 45820-970 Eunápolis, BA. E-mail: sergio.silva@vercel.com.br

<sup>2</sup> Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa. 36570-000 Viçosa, MG. Bolsista do CNPq. E-mail: rfbarras@ufv.br

<sup>3</sup> Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa. 36570-000 Viçosa, MG. E-mail: cmsouza@ufv.br

cm in height and 7.2 cm of internal diameter), with an effective volume of 651 cm<sup>3</sup>, which was used as a diffusion chamber. A P rate of 100 mg dm<sup>-3</sup> and a Zn rate of 20 mg dm<sup>-3</sup> were added to the soils. The gravimetric water contents used in the compaction of the soils ( $U_c$ ) corresponded to: 0.04, 0.07, 0.10, 0.13 and 0.16 kg kg<sup>-1</sup> for loam texture Oxisol and 0.10, 0.16, 0.22, 0.28 and 0.34 kg kg<sup>-1</sup> for clayey Oxisol. Soil compaction in the PVC pipes was obtained with a CBR press and static pressure of 125 kPa. The soil gravimetric water content was raised to the moisture equivalent. Films of anionic and cationic resins were used for the evaluation of the diffusive flux of P and Zn, respectively. The diffusion experiment was carried out for 15 days in the laboratory. After this period, resin films were removed from the chamber and the adsorbed elements were extracted by shaking for 1 hour in 20 mL of a 1 mol L<sup>-1</sup> NaCl + 0.1 mol L<sup>-1</sup> HCl solution. Estimates of the P and Zn diffusive fluxes (PDF and ZnDF) were obtained by quantification of nutrients adsorbed to the respective resins. Data were examined by analysis of variance and regression analysis. Soil bulk density increased with soil moisture during compaction. PDF and ZnDF were favored by soil compaction. The results indicated a higher resistance of the clayey soil to the effects of compaction and highlight the importance of soil texture and organic matter in this process.

**Key words:** nutrient diffusion, soil bulk density, ionic-exchange resin.

## INTRODUÇÃO

Um dos problemas no manejo do maquinário agrícola é decidir quando as operações mecanizadas devem ser realizadas, considerando as condições de umidade do solo. A aplicação de determinada pressão sem o prévio conhecimento de sua capacidade de suporte, para dada condição de umidade, pode levar ao emprego de uma pressão que exceda essa capacidade, resultando em compactação adicional do solo (Dias Júnior, 2000; Dias Júnior & Pierce, 1996). A compactação pode reduzir o crescimento de plantas por seu efeito adverso sobre o crescimento de raízes e conseqüente diminuição na absorção de água e de nutrientes (Ishaq *et al.*, 2001; Nadian *et al.*, 1996; Silva *et al.*, 2002). Além disso, a compactação pode interferir na movimentação de água e de nutrientes no solo, reduzindo a disponibilidade deles para as plantas. Portanto, pode-se antecipar que em solos compactados a produtividade agrícola ou florestal pode ser comprometida temporariamente ou de maneira permanente.

A compactação, ao interferir com a movimentação da água, pode reduzir a transpiração das plantas e, conseqüentemente, o fluxo de massa. Acima de certo nível ela reduz também a difusão de nutrientes. O fluxo difusivo (FD) é o processo de maior importância para o transporte de P (Novais & Smyth, 1999) e de Zn (Oliveira *et al.*, 1999), dada a baixa concentração desses nutrientes no solo. O FD de nutrientes é uma função da densidade do solo que está diretamente relacionada com a compactação. Novais & Smyth (1999) levantam também a possibilidade de que em solos tropicais com elevada capacidade de sorção de ânions elementos como o fósforo teriam sua difusão reduzida em razão de a compactação aproximar o íon da superfície de sorção.

A difusão pode ser avaliada por meio de técnicas que simulam a absorção de nutrientes pela planta. Isso é possível pela utilização de resinas de troca iônica em contato com o solo (Costa, 1998; Nunes *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 1999; Oliveira *et al.*, 2000; Pegoraro, 2003). As resinas servem de dreno para os nutrientes da solução do solo, gerando um gradiente de concentração e, portanto, simulam a presença de uma raiz.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da compactação do solo, com diferentes umidades, sobre a densidade e a difusão de P e Zn de dois latossolos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados um Latossolo Vermelho de textura média (LV<sub>1</sub>), da região de João Pinheiro, MG, e outro Vermelho de textura argilosa (LV<sub>2</sub>), de Sete Lagoas, MG. As amostras de solo foram coletadas na camada superficial (0-0,2 m), destorroadas, homogeneizadas, secas ao ar e passadas em peneira de malha de 2 mm, para posterior caracterizações química e física (Tabela 1), segundo EMBRAPA (1997).

O ensaio consistiu de seis tratamentos para cada solo, correspondendo a cinco umidades para compactação ( $U_c$ ) e uma testemunha sem compactação. Os tratamentos, com três repetições, foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado. A unidade experimental foi composta de anel de PVC com 18,5 cm de altura e 7,2 cm de diâmetro interno, com volume útil de 651 cm<sup>3</sup>, que serviu de câmara de difusão.

Uma dose de fósforo correspondente a 100 mg dm<sup>-3</sup> (Novais & Smyth, 1999) e uma de zinco a 20 mg dm<sup>-3</sup> (Oliveira *et al.*, 1999) foram aplicadas aos solos. Os nutrientes foram aplicados em solução, utilizando-se como fonte de fósforo Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O e como fonte de zinco ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O.

Os conteúdos de água utilizados na compactação dos solos foram: 0,04; 0,07; 0,10; 0,13; e 0,16 kg kg<sup>-1</sup> (100% do equivalente de umidade) para o LV<sub>1</sub> e 0,10; 0,16; 0,22; 0,28 e 0,34 (100% do equivalente de umidade) para o LV<sub>2</sub>. Estes valores de umidade aproximam-se do intervalo de água no solo entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente.

A compactação do solo nos anéis de PVC foi realizada em laboratório de geotecnia, utilizando-se uma prensa CBR com anel dinâmico com capacidade para 500 kg. Foi aplicada uma pressão estática de 125 kPa, a qual equivale, aproximadamente, à pressão de contato dos rodados de um trator florestal "Skidder" com o solo (Greacen & Sands, 1980; Lima *et al.*, 2000). Os anéis de PVC tiveram o fundo fechado com lâmina de isopor de 1,0 cm de espessura, fixada com fita de polietileno. Após a compactação, foi calculada a densidade resultante a partir do novo volume ocupado pelo solo. Pelo conhecimento prévio da massa de cada vaso (tubo de PVC + fundo de isopor) e do solo, calculou-se, por meio de pesagem, a quantidade adicional de água necessária para elevar o conteúdo de água no solo até o equivalente de umidade, de forma que todos os tratamentos a serem submetidos ao ensaio de difusão apresentassem a mesma umidade. Depois da adição de água, foi realizado um período de incubação de 10 dias, com as câmaras de difusão completamente vedadas com filme plástico, para permitir a uniformização da umidade na massa de solo.

Para a avaliação do fluxo difusivo de fósforo (FDP) e de zinco (FDZn), foram utilizadas, respectivamente, lâminas de resina de trocas aniônica (IONICS 204UZRA) e de troca catiônica (IONICS CR 61-CZR-442) pré-condicionadas e tratadas para uso, conforme Rajj *et al.* (1987). As lâminas tinham área de 10 cm<sup>2</sup> (5,0 x 2,0 cm) e foram dispostas horizontalmente na superfície do solo, como preconizado por Costa (1998), sendo cobertas com uma lâmina de isopor para aumentar o seu contato com o solo, evitar a entrada de luz e inibir o desenvolvimento de algas. A seguir, cada câmara de difusão foi envolvida por um saco plástico com o objetivo de evitar a perda de água.

O ensaio de difusão foi conduzido em condições de laboratório, com temperatura controlada a 21 ± 2 °C. Decorridos 15 dias, as lâminas de resina foram retiradas da câmara e lavadas com jatos de água para remoção do solo aderido. Em seguida, o excesso de água nas lâminas foi absorvido por papel-filtro. O fósforo e o zinco foram extraídos das resinas pela agitação individual de cada lâmina com 20 mL de uma solução de NaCl 1 mol L<sup>-1</sup> + HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> durante uma hora, em agitador horizontal a 150 rotações por minuto. A concentração do fósforo foi determinada por colorimetria segundo Braga & Defelipo (1974), e a do zinco por espectrofotometria de absorção atômica. A estimativa do FDP e do FDZn foi realizada pela

quantificação do fósforo ou do zinco adsorvido à resina, por centímetro quadrado, dividida por 15 dias.

Os dados foram submetidos, individualmente para cada solo, à análise de variância e de regressão. Ajustaram-se os modelos de regressão linear, quadrático e quadrático base raiz quadrada. Para a escolha dos modelos, os coeficientes foram testados pelo teste F com base no quadrado médio do resíduo da análise de variância. Finalmente, para dois ou mais modelos com coeficientes significativos realizou-se a seleção com base no maior R<sup>2</sup>.

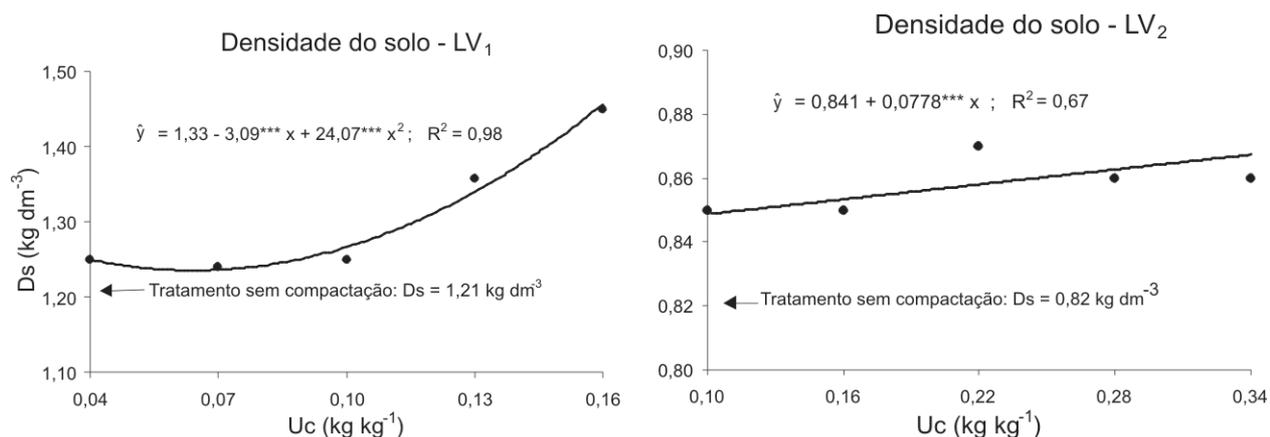
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve aumento da densidade do solo (D<sub>s</sub>) devido à compactação realizada com valores crescentes de umidade (U<sub>c</sub>), atingindo acréscimos de até 19,8 e 5,7%, respectivamente no LV<sub>1</sub> e LV<sub>2</sub>, em relação ao tratamento sem compactação (Figura 1). Resultados semelhantes foram encontrados por Silva *et al.* (1986), os quais observaram nos dois latossolos estudados que, para a aplicação de uma mesma energia de compactação, a densidade aumentou com a umidade até atingir um máximo. Esses resultados demonstram a maior sensibilidade do LV<sub>1</sub> à deformação pela compactação e a importância da umidade do solo nesse processo. A melhor distribuição percentual das frações texturais desse solo e a maior proporção de areia fina e muito fina (Tabela 1) permitiram melhor ajuste de partículas ("empacotamento"), principalmente quando se adicionou mais água, pois a água facilita esse ajuste

**Tabela 1** - Características químicas e físicas de amostras dos dois Latossolos Vermelhos

Características	LV <sub>1</sub> <sup>(6)</sup>	LV <sub>2</sub> <sup>(6)</sup>
pH <sup>(1)</sup>	5,1	5,3
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(2)</sup>	1,4	4,8
Zn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(2)</sup>	0,8	1,0
P <sub>REM</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(3)</sup>	24,1	9,2
Matéria orgânica (dag kg <sup>-1</sup> ) <sup>(4)</sup>	3,2	5,3
Argila (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(5)</sup>	290	700
Silte (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(5)</sup>	90	80
Areia muito grossa (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(5)</sup>	1	43
Areia grossa (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(5)</sup>	18	39
Areia média (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(5)</sup>	335	56
Areia fina (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(5)</sup>	229	57
Areia muito fina (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(5)</sup>	37	25
Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(5)</sup>	1,21	0,82
Densidade de partículas (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(5)</sup>	2,63	2,65
Equivalente de umidade (kg kg <sup>-1</sup> ) <sup>(5)</sup>	0,16	0,34
Classificação textural	Franco-argilo arenosa	Muito argilosa

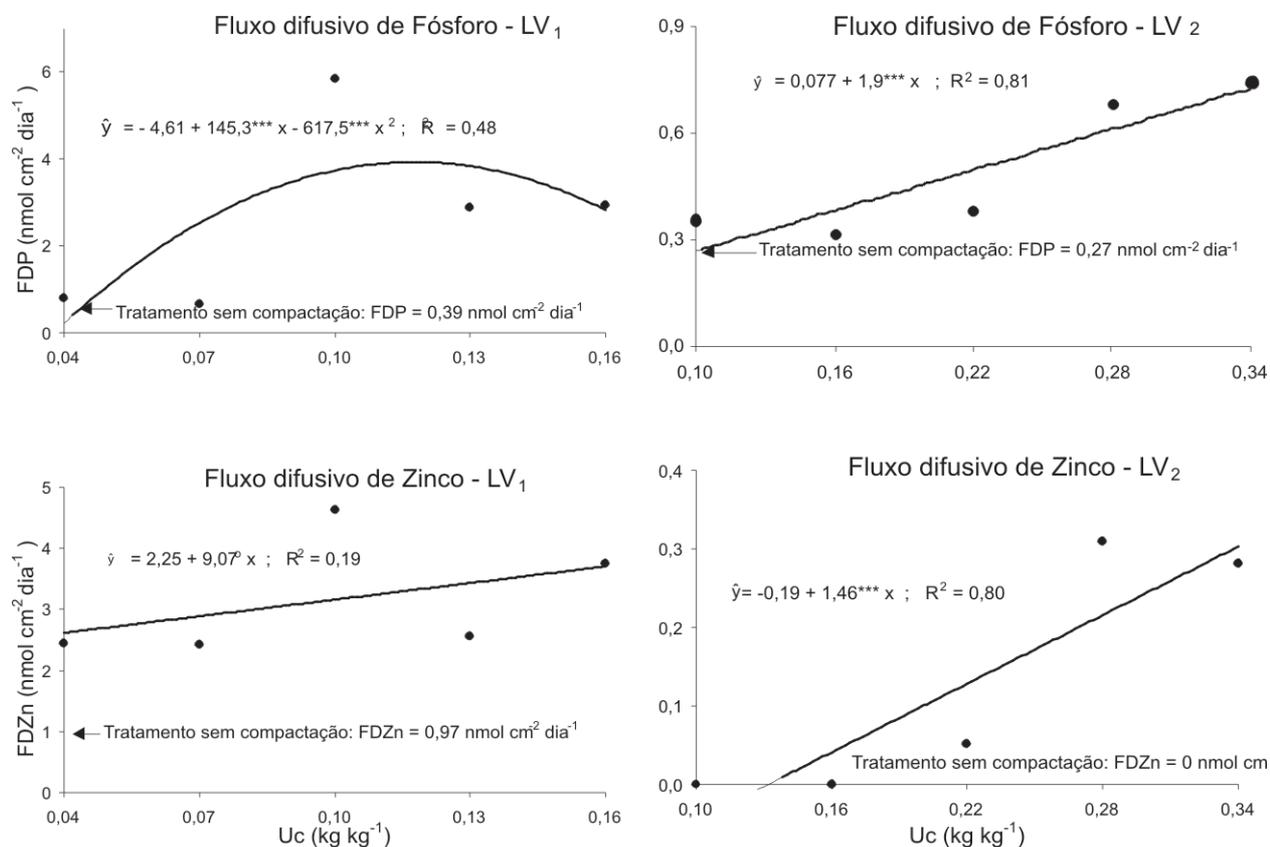
<sup>(1)</sup> pH em água, relação 1:2,5; <sup>(2)</sup> Extrator Mehlich-1; <sup>(3)</sup> Fósforo remanescente (Alvarez *et al.*, 2000); <sup>(4)</sup> Walkley & Black (1934); <sup>(5)</sup> EMBRAPA (1997); <sup>(6)</sup> LV<sub>1</sub> = Latossolo Vermelho franco-argilo-arenoso; e LV<sub>2</sub> = Latossolo Vermelho muito argiloso.



**Figura 1.** Densidade dos solos LV<sub>1</sub> e LV<sub>2</sub> compactados com diferentes umidades (U<sub>c</sub>).

(Mantovani, 1987; Panayiotopoulos & Mullins, 1985). Além disso, o menor teor de matéria orgânica do LV<sub>1</sub> o torna mais suscetível à compactação. De acordo com Lopes (1989), os solos arenosos, apesar de apresentarem menor tendência à compactação que os argilosos, quando contêm altas proporções de areia fina, são facilmente compactados. Sob uma carga, a areia de tamanho amplamente distribuído empacota mais estreitamente, não apenas sob conteúdos de umidade próximos à saturação, mas também sob menores umidades (Panayiotopoulos & Mullins, 1985).

Houve aumento do fluxo difusivo de fósforo (FDP) e de zinco (FDZn) em resposta à compactação do solo com U<sub>c</sub> crescente (Figura 2). O aumento do fluxo difusivo desses nutrientes pode ser atribuído ao aumento da densidade do solo com o da U<sub>c</sub> (Figura 1). Segundo Oliveira *et al.*, 1998, com o aumento da densidade do solo, a difusão aumenta até atingir um máximo e depois decresce. Esse aumento deve-se à maior aproximação entre as partículas do solo e a superfície das resinas, o que favorece a continuidade do filme de água e diminui a distância que o íon deve percorrer até alcançar a membrana de resina iônica utilizada neste



**Figura 2 -** Fluxo difusivo de fósforo (FDP) e de zinco (FDZn) nos solos LV<sub>1</sub> e LV<sub>2</sub> compactados com diferentes umidades (U<sub>c</sub>).

estudo. As alterações na difusão de um íon quando um solo é submetido à compactação, aumentando-se a densidade, são atribuídas a mudanças no fator de impedância, que envolvem a tortuosidade (Costa, 1998). Warncke & Barber (1971) observaram que a tortuosidade foi reduzida com o aumento da densidade do solo, ocorrendo redução do comprimento do caminho de difusão do elemento.

Uma vez que o teor inicial de P em ambos os solos era baixo (Tabela 1) e foi utilizada na adubação fosfatada a mesma dose de P (100 mg kg<sup>-1</sup>), verificou-se que os maiores valores de FDP no LV<sub>1</sub> foram devidos à menor adsorção de fosfato nesse solo, que apresenta menor teor de argila, maior P remanescente (Tabela 1), e conseqüentemente, menor capacidade de adsorção de fosfato. Portanto, pode-se deduzir que são necessárias doses mais elevadas desse nutriente no LV<sub>2</sub> para que o fluxo difusivo de P não seja limitante para o crescimento adequado de plantas.

O fluxo difusivo de zinco teve comportamento semelhante ao observado para fósforo, sendo que no LV<sub>2</sub> somente nos tratamentos compactados com maiores umidades foi possível a extração de zinco pela resina catiônica, com valores crescentes de FDZn a partir da U<sub>c</sub> de 0,22 kg kg<sup>-1</sup>. Solos mais argilosos apresentam maior número de sítios de troca iônica, acarretando maior adsorção de Zn e, como conseqüência, menor fluxo difusivo que os solos arenosos (Clarke & Graham, 1968). Isso explica os menores valores de FDZn no LV<sub>2</sub>, que possui elevado teor de argila (700 g kg<sup>-1</sup>), quando comparado ao LV<sub>1</sub> (290 g kg<sup>-1</sup>), uma vez que o pH e o teor inicial de Zn (fatores que também influenciam a difusão) nos dois solos eram muito próximos (Tabela 1), sendo utilizada na adubação a mesma dose desse elemento. Segundo Alvarez *et al.* (1996), a maior parte do zinco aplicado como fertilizante é fixada ao solo, ou quelatada em formas estáveis, sendo apenas uma pequena fração disponível para a planta. A adsorção de Zn por argilas silicatadas é influenciada pela presença de óxidos de Fe e de Al (Ferreira & Cruz, 1991), os quais têm sido apontados como os componentes do solo controladores da concentração de Zn na solução (Shuman, 1986).

A semelhança de comportamento dos elementos P e Zn, em relação ao fluxo difusivo, é atribuída ao fato de a adsorção ser o principal mecanismo de controle da dinâmica desses nutrientes no solo (Novais & Smyth, 1999; Oliveira *et al.*, 1999).

## CONCLUSÕES

O aumento da umidade do solo no momento da compactação ocasionou acréscimos da densidade do solo.

O FDP e o FDZn foram favorecidos pelo aumento da compactação do solo

A difusão de P e Zn foi mais limitada no solo argiloso (LV<sub>2</sub>), em razão de sua maior capacidade adsorviva.

## REFERÊNCIAS

- Alvarez JM, Obrador A & Rico MI (1996) Effects of chelated zinc, soluble and coated fertilizers, on soil zinc status and zinc nutrition of maize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 27:7-19.
- Alvarez VVH, Novais RF, Dias LE & Oliveira JA (2000) Determinação e uso do fósforo remanescente. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 25:27-32.
- Braga JM & Defelipo BV (1974) Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, 21:73-85.
- Clarke AL & Graham ER (1968) Zinc diffusion and distribution coefficients in soil as affected by soil texture, zinc concentration and pH. *Soil Science*, 105:409-418.
- Costa JPV (1998) Fluxo difusivo de fósforo e de potássio em Latossolos. Tese de Doutorado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 67p.
- Dias Júnior MS (2000) Compactação do solo. In: Novais RF, Alvarez V VH & Schaefer CEGR (Eds.) *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. V1. p.55-94.
- Dias Júnior MS & Pierce FJ (1996) O processo de compactação do solo e a sua modelagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 20:175-182.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2ª ed. Rio de Janeiro. 212p.
- Ferreira ME & Cruz MCP (1991) Micronutrientes na agricultura. In: 1º Simpósio sobre Micronutrientes na Agricultura, Piracicaba, SP. Anais, POTAFOS/CNPq. 734p.
- Greacen EL & Sands R (1980) Compaction of forests soil: a review. *Australian Journal of Soil Research*, 17:163-189.
- Ishaq M, Ibrahim M, Hassan A, Saeed M & Lal R (2001) Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. *Soil and Tillage Research*, 60:153-161.
- Lima JSS, Souza AP, Machado CC, Vieira LB & Fernandes HC (2000) Avaliação da compactação do solo em um sistema de colheita de madeira. *Revista Árvore*, 24:276-282.
- Lopes AS (1989) *Manual da fertilidade do solo*. São Paulo, ANDA/POTAFOS. 155p.
- Mantovani EC (1987) Compactação do solo. *Informe Agropecuário*, 13:52-55.
- Nadian H, Smith SE, Alston AM & Murray RS (1996) The effect of soil compaction on growth and P uptake by *Trifolium subterraneum*: interactions with mycorrhizal colonisation. *Plant Soil*, 182:39-49.
- Novais RF & Smyth TJ (1999) Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 399p.
- Nunes FN, Novais RF, Silva IR, Gebrim FO & São José JFB (2004) Fluxo difusivo de ferro em solos sob influência de doses de fósforo e de níveis de acidez e umidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:423-429.
- Oliveira CV, Bahia VG & Paula MB (1998) Compactação do solo devido à mecanização florestal: causas, efeitos e práticas de controle. *Informe Agropecuário*, 191:46-48.
- Oliveira MFG, Novais RF, Neves JCL, Alves VMC & Vasconcellos CA (1999) Fluxo difusivo de zinco em amostras de solo influenciado por textura, íon acompanhante e pH do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23:609-615.

- Oliveira FH, Novais RF, Smyth TJ & Neves JC (2000) Aluminum diffusion in Oxisols as influenced by soil water matric potential, pH, lime, gypsum, potassium chloride, and calcium phosphate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31:2523-2533.
- Panayiotopoulos KP & Mullins CE (1985) Packing of sands. *Journal of Soil Science*, 36:129-139.
- Pegoraro RF (2003) Fluxo difusivo de micronutrientes catiônicos em resposta a adição de compostos orgânicos ao solo. *Dissertação de Mestrado*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 68p.
- Raij B van, Quaggio JA, Cantarella H, Ferreira ME, Lopes AS & Bataglia OC (1987) *Análise de solos para fins de fertilidade*. Campinas, Fundação Cargill. 170p.
- Shuman LM (1986) Effects of ionic strength and anions on zinc adsorption by two soils. *Soil Science Society America Journal*, 50:1434-1442.
- Silva AP, Libardi PL & Camargo AO (1986) Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 10:91-95.
- Silva SR, Barros NF, Novais RF & Pereira PRG (2002) Eficiência nutricional de potássio e crescimento de eucalipto influenciados pela compactação do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:1001-1010.
- Walkley A & Black IA (1934) An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37:29-38.
- Warncke DD & Barber SA (1971) Diffusion of Zn in soils: II. The influence of soil bulk density and its interaction with soil moisture. *Soil Science Society America Proceeding*, 36:42-46.