

COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE PARÂMETROS DE MOBILIDADE DE SOLUTOS NO SOLO OBTIDOS DE AMOSTRAS DE SOLO COM E SEM ESTRUTURA (B)

**JONATHAS BATISTA GONÇALVES SILVA¹; PAULO AFONSO FERREIRA²;
ANTONIO TEIXEIRA DE MATOS² E PAULO ROBERTO CECON²**

¹ DESA/UFJF. Rua José Lourenço Kelmer, Campus Universitário - São Pedro, Juiz de Fora - MG, 36037-000. Fone: (32) 2102 3419. Email: jonathasbsilva@gmail.com

² DEA/UFV. Av. P H Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-000. Fone: (31) 3899-2200. Email (s): pafonso@ufv.br; atmatos@ufv.br, cecon@ufv.br

1 RESUMO

Objetivou-se com este trabalho comparar os valores dos parâmetros de mobilidade de solutos no solo, determinados a partir de amostras com estrutura, com aqueles determinados com amostras destorroadas. Foram coletadas amostras de solo de um Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico típico caulinitico fase terraço e de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, ambos encontrados no município de Viçosa – MG. Os ensaios de transporte de solutos foram realizados no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa. Verificou-se que as médias dos parâmetros de mobilidade de solutos no solo obtidos a partir de amostras com estrutura diferiram das médias obtidas a partir de amostras destorroadas dos dois solos. Os resultados obtidos para os parâmetros de transporte de solutos comprovaram a hipótese de que na determinação de determinados parâmetros é necessário manter inalterada a estrutura do solo, quando se deseja fazer inferências dos dados às condições em campo.

Palavras-chave: curva de efluente, amostras com estrutura, fator de retardamento, coeficiente dispersivo-difusivo

**SILVA, J. B. G.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; CECON, P. R.
COMPARISON BETWEEN VALUES OF SOIL SOLUTE TRANSPORT
PARAMETERS FROM SOIL SAMPLES WITH AND WITHOUT STRUCTURE (B)**

2 ABSTRACT

The objective of this study was to compare values of soil solute transport parameters from structured (undisturbed) samples with those from sieved and repacked (disturbed) samples. Soil samples were collected from an eutrophic Alfissol soil and a dystrophic red-yellow Oxisol, both found in Viçosa – MG. The analyses of solute transport were performed in the Laboratory of Soil Physics in the Department of Agricultural Engineering at the Viçosa Federal University, MG. The means of the soil solute transport parameters obtained from structured samples differed from those from disturbed samples in the two soils. The results of solute transport parameters support the hypothesis that to determine some specific

parameters, keeping the soil core unaltered is mandatory when the objective is to make inference from data concerning actual field conditions.

Keywords: effluent curve, structured samples, retardation factor, dispersion-diffusion coefficient

3 INTRODUÇÃO

O sucesso na aplicação dos modelos físico-matemáticos que descrevem o movimento e a concentração residente de solutos no solo depende do grau de confiabilidade dos parâmetros de transporte envolvidos. Parâmetros como o fator de retardamento, coeficiente dispersivo-difusivo e o coeficiente de distribuição, os quais expressam a capacidade de um soluto em se mover no solo, devem ser determinados com a melhor exatidão possível (VAN GENUTCHEN; WIERENGA, 1986).

De acordo com Oliveira et al. (2000), o processo de amostragem do solo constitui-se na maior preocupação na obtenção desses parâmetros em colunas de solo. Na determinação de características químicas e de algumas propriedades físicas como o teor de água, a granulometria, a massa específica de partículas, entre outras, é possível utilizar amostras deformadas. Todavia, quando o interesse são as propriedades cujo valor é altamente influenciado pela estrutura do solo como a condutividade hidráulica, os parâmetros de transporte de solutos, a porosidade total, a micro e macro porosidade é recomendável manter as condições do solo “*in situ*” inalteradas, principalmente a sua estrutura.

Parâmetros de transporte de solutos no solo não devem ser determinados com dados de entrada oriundos de amostras com estrutura alterada, quando se emprega modelos matemáticos para simular o movimento e a concentração residente de solutos no solo nas simulações para condições de campo. No entanto, a maioria dos trabalhos é realizada com amostras de solo destorreado, o que impede de se fazer inferências, em termos de valores absolutos, nas condições de campo. De acordo com Ferreira (2007), o arranjo geométrico das partículas que constituem a matriz do solo está diretamente relacionado com o espalhamento ou a dispersão do soluto como resultado dos desvios entre as velocidades de suas partículas, dentro das linhas de corrente, em relação à velocidade média do escoamento.

Rossi et al. (2007), comparando valores de parâmetros de transporte do íon nitrato, determinados utilizando-se amostras de solo com estrutura e destorreadas, afirmaram que os dados obtidos com amostras destorreadas não foram representativos para nenhum dos parâmetros de transporte do íon nitrato, confirmando ser recomendável usar amostras com estrutura inalterada.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho comparar os valores dos parâmetros de transporte dos íons potássio e magnésio, obtidos de amostras com estrutura retiradas com um método desenvolvido, com aquelas oriundas de amostras destorreadas de um Argissolo e um Latossolo e simular a distribuição de concentrações residentes dos íons potássio e magnésio em perfis desses solos empregando o programa computacional Disp.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho utilizaram-se dois solos, um Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico (PVAe) típico caulínítico fase terraço e um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd),

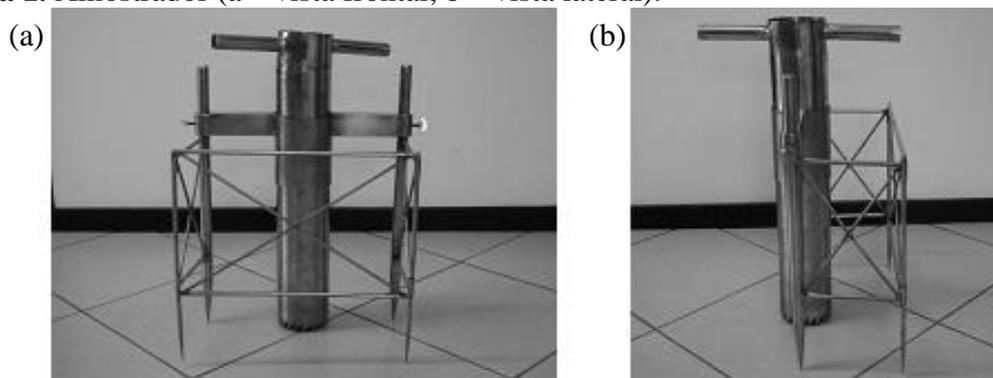
ambos encontrados no município de Viçosa – MG. A caracterização física e química das amostras de solo foi realizada de acordo com Embrapa (1997, 1999). Na Tabela 1 apresenta-se a caracterização dos solos.

Tabela 1. Caracterização física e química do Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVAd) e do Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico (PVAe)

Característica	LVAd	PVAe
Areia grossa (dag kg ⁻¹)	19	2
Areia fina (dag kg ⁻¹)	7	1
Silte (dag kg ⁻¹)	4	25
Argila (dag kg ⁻¹)	70	72
Densidade do solo (kg dm ⁻³)	1,03	1,06
Densidade das partículas (kg dm ⁻³)	2,52	2,67
Porosidade total (dm ³ dm ⁻³)	0,60	0,60
pH em água (1: 2,5)	4,84	6,07
Potássio (cmol _c dm ⁻³)	0,07	0,07
Sódio (cmol _c dm ⁻³)	0,09	-
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	0,67	2,32
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,24	0,44
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	3,1	0,00
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	11,22	2,5
Fósforo (mg dm ⁻³)	2,50	0,4
Carbono orgânico (dag kg ⁻¹)	1,31	1,92
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,98	2,83
CTC _t (cmol _c dm ⁻³)	4,08	2,83
CTC _T (cmol _c dm ⁻³)	12,20	5,33
V (%)	8,03	53,1
m (%)	75,98	0,0

As amostras com estrutura foram retiradas utilizando-se um método prático e de baixo custo de amostragem de solo, que é capaz de manter a estrutura natural da amostra inalterada. Foi utilizado um amostrador que é constituído de componentes fixo e móvel. O componente fixo é composto por um suporte de fixação no solo e uma braçadeira de sustentação. O componente móvel constitui-se de um conjunto de segmentos de tubo de aço inox, tendo uma de suas extremidades providas de alavancas de acionamento e a outra denteada em forma de serrote. Na Figura 1 apresenta-se o amostrador desenvolvido.

Figura 1. Amostrador (a – vista frontal; b – vista lateral).



As amostras com estrutura foram retiradas numa faixa de profundidade de 0,20-0,60 m. As etapas da amostragem utilizando-se o método desenvolvido estão apresentadas a seguir:

- primeiramente foram feitas escavações de seção quadrada de 0,80 x 0,80 m, com 0,60 m de profundidade, deixando-se um monólito ao centro. Posteriormente realizou-se um talhamento no monólito a fim de que este possuísse um diâmetro pouco superior a 0,12 m. Tal procedimento evita a realização de um grande esforço, que pode ocasionar a quebra da amostra;

- em seguida a parte fixa do amostrador foi montada tomando-se o cuidado desta permanecer em nível;

- a parte móvel do amostrador foi então encaixada na parte fixa e deu-se início a retirada da amostra.

- alcançada a profundidade de 0,60 m a parte móvel do amostrador era retirada, permanecendo ao centro da escavação a amostra de solo;

- a amostra era, então, envolta em filme de PVC e, a seguir, seccionada na base e devidamente embalada para o transporte até o laboratório.

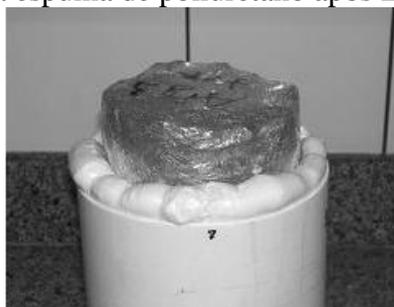
A coleta das amostras de solo destorreado foi realizada simultaneamente com a coleta das amostras com estrutura, utilizando-se parte do material oriundo do talhamento da coluna de solo, na faixa de profundidade de 0,20 a 0,60 m.

Os ensaios de transporte de solutos foram realizados no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Ao se montar as colunas de solo com amostras de solo destorreado, as amostras foram secas e posteriormente passadas em uma peneira de malha de dois milímetros. Segmentos de tubos de PVC de 0,20 m de comprimento e 48 mm de diâmetro foram utilizados no preenchimento das colunas de solos.

Na confecção das colunas de solo a partir de amostras com estrutura, foram utilizados segmentos de tubo de PVC de 0,28 m de comprimento e 150 mm de diâmetro interno. No preenchimento do espaço entre a amostra de solo e a parede interna do tubo de PVC utilizou-se espuma de poliuretano. Foi aplicada a espuma de poliuretano até esta preencher 1/3 da altura do segmento de tubo de PVC. Após 24 horas a espuma já estava seca e expandida até a extremidade superior do segmento de tubo de PVC (Figura 2).

Figura 2. Coluna de solo com a espuma de poliuretano após 24 horas de aplicação.



As colunas com solo foram saturadas de forma ascendente com uma solução diluída ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$) de cálcio. As colunas foram imersas até dois terços de seu comprimento por 24 horas.

Utilizou-se uma solução de trabalho (solução contaminante), multiespécie de potássio e magnésio. A solução de trabalho foi preparada com sais de cloreto e água destilada, sendo as concentrações de 20 mg L^{-1} para o magnésio e 400 mg L^{-1} para o potássio.

Foram aplicados 2,22 volumes de poros da solução de trabalho recolhendo-se continuamente 16 alíquotas do efluente de 0,14 de um volume de poros da coluna de solo montada com amostras inalteradas. Nos permeâmetros montados com amostras de solo destorroado foram aplicados 2 volumes de poros da solução de trabalho recolhendo-se 12 alíquotas do efluente de 0,16 de um volume de poros.

As concentrações de potássio e magnésio dos efluentes coletados das colunas de solo foram determinadas no Laboratório de Espectrometria Atômica, utilizando-se um Espectrofotômetro de Plasma, no Departamento de Solos na UFV.

Conhecendo as concentrações do magnésio e do potássio (C), calcularam-se as concentrações relativas (C/Co) para cada íon, sendo Co a concentração dos íons na solução de trabalho.

Os valores dos fatores de retardamento, coeficientes dispersivos-difusivos e dos coeficientes de distribuição foram calculados utilizando-se o programa computacional Disp. O Disp foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV (BORGES JÚNIOR; FERREIRA, 2006), o qual ajusta soluções matemáticas da equação diferencial de transporte de solutos no solo aos dados experimentais.

Na determinação das curvas de efluente para o íon potássio e magnésio adotou-se o modelo A-1 do programa Disp, que considera concentração determinadas no efluente,

$$C/C_0 = \frac{1}{2} \cdot \operatorname{erf} \left[\left(\frac{P}{4 \cdot R \cdot np} \right)^{1/2} \cdot (R - np) \right] + \frac{1}{2} \cdot e^P \cdot \operatorname{erf} \left[\left(\frac{P}{4 \cdot R \cdot np} \right)^{1/2} \cdot (R + np) \right] \quad (1)$$

Em que,

- C - concentração do soluto na solução, M L⁻³;
- C₀ - concentração dos íons na solução contaminante;
- erf - função erro complementar, adimensional;
- P - número de Peclet, adimensional;
- R - fator de retardamento, adimensional;
- np - número de volume de poros, adimensional.

A metodologia empregada para obtenção das curvas de efluentes é descrita por Ferreira (2007).

As simulações da concentração residente (Cr) dos íons potássio e magnésio em função da profundidade no perfil do solo foram realizadas utilizando-se os resultados obtidos a partir das curvas de efluentes. Utilizou-se o modelo A-2 do programa computacional Disp que trabalha com a concentração residente do soluto na fase líquida do solo para obter as simulações (Equação 2).

$$Cr = \frac{1}{2} \cdot \operatorname{erf} \left[\left(\frac{P}{4 \cdot R \cdot np} \right)^{1/2} \cdot (R - np) \right] + \left(\frac{P \cdot np}{\pi \cdot R} \right)^{1/2} \cdot e^{\left[\frac{P}{4 \cdot R \cdot np} (R - np)^2 \right]} - \frac{1}{2} \cdot \left(1 + P + \frac{P \cdot np}{R} \right) \cdot e^P \cdot \operatorname{erf} \left[\left(\frac{P}{4 \cdot R \cdot np} \right)^{1/2} \cdot (R + np) \right] \quad (2)$$

O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado na determinação dos parâmetros de transporte de solutos no solo em colunas de solo. Os dados obtidos nos ensaios de mobilidade e condutividade hidráulica foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5 % de significância. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa computacional SAEG, versão 9.1.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor médio do fluxo e da velocidade de escoamento da solução de trabalho obtidos no PVAe foram de $32,16 \text{ cm}^3 \text{ cm}^2 \text{ h}^{-1}$ e $23,60 \text{ cm h}^{-1}$ em amostras com estrutura e $5,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^2 \text{ h}^{-1}$ e $9,33 \text{ cm h}^{-1}$ em amostras destorroadas. No LVAd os valores médios do fluxo e da velocidade de escoamento obtidos foram de $18,70 \text{ cm}^3 \text{ cm}^2 \text{ h}^{-1}$ e $31,17 \text{ cm h}^{-1}$ em amostras com estrutura e $14,02 \text{ cm}^3 \text{ cm}^2 \text{ h}^{-1}$ e $23,37 \text{ cm h}^{-1}$ em amostras destorroadas. Observou-se que nas amostras com estrutura tanto o fluxo quanto a velocidade de escoamento da solução são maiores em relação aos valores obtidos nas amostras destorroadas. Isto se explica porque as amostras com estrutura contêm caminhos preferenciais para a solução do solo, podendo, assim, afetar o fluxo e a velocidade de escoamento.

As curvas de efluentes dos íons potássio e magnésio, obtidos a partir de amostras com estrutura e amostras destorroadas do PVAe e do LVAd, estão apresentadas nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

Figura 3. Curvas de efluente dos íons de potássio e magnésio (PVAe). - Amostras com estrutura: (a) efluente de potássio; (b) efluente de magnésio. - Amostras destorroadas: (c) efluente de potássio; (d) efluente de magnésio.

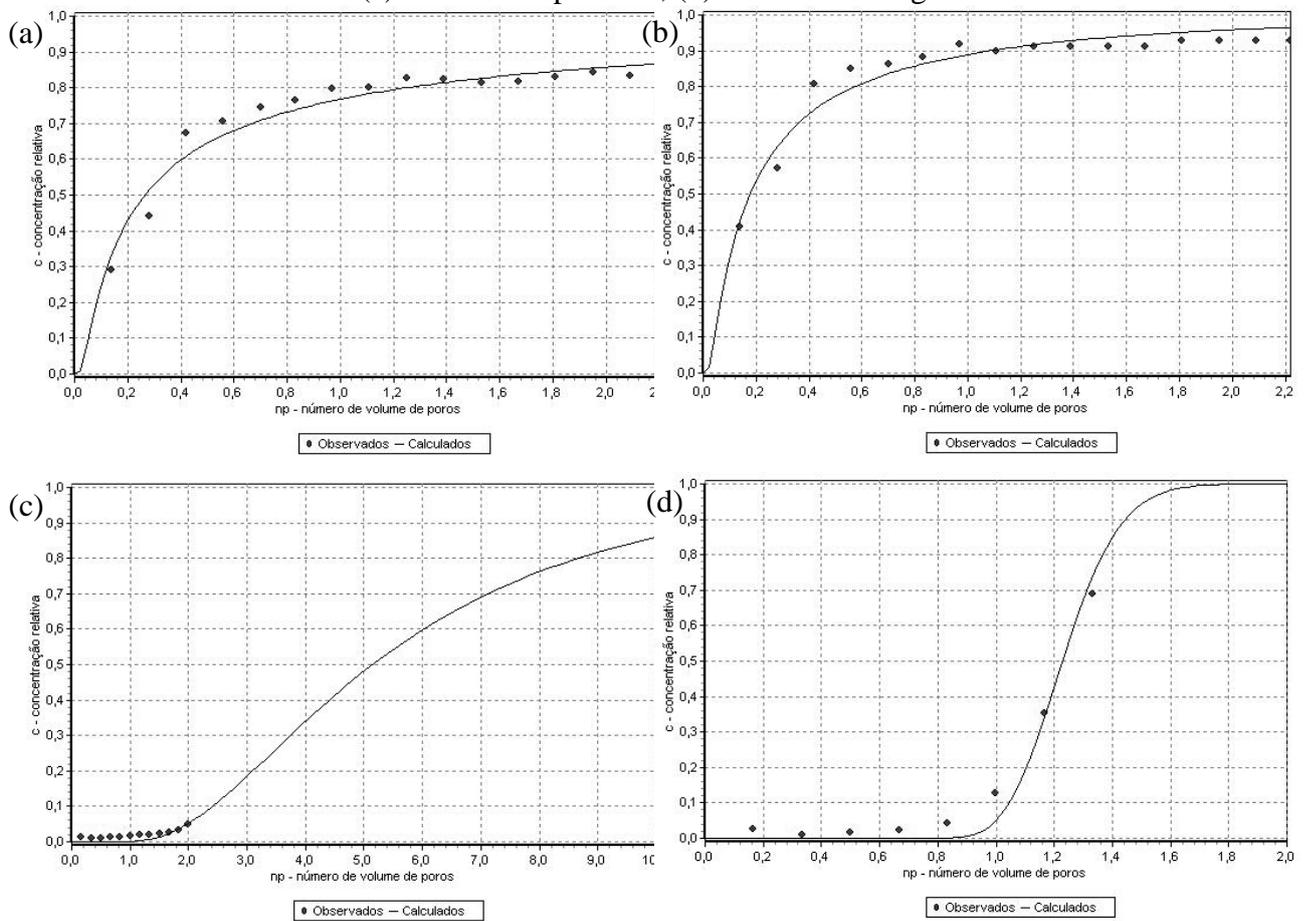
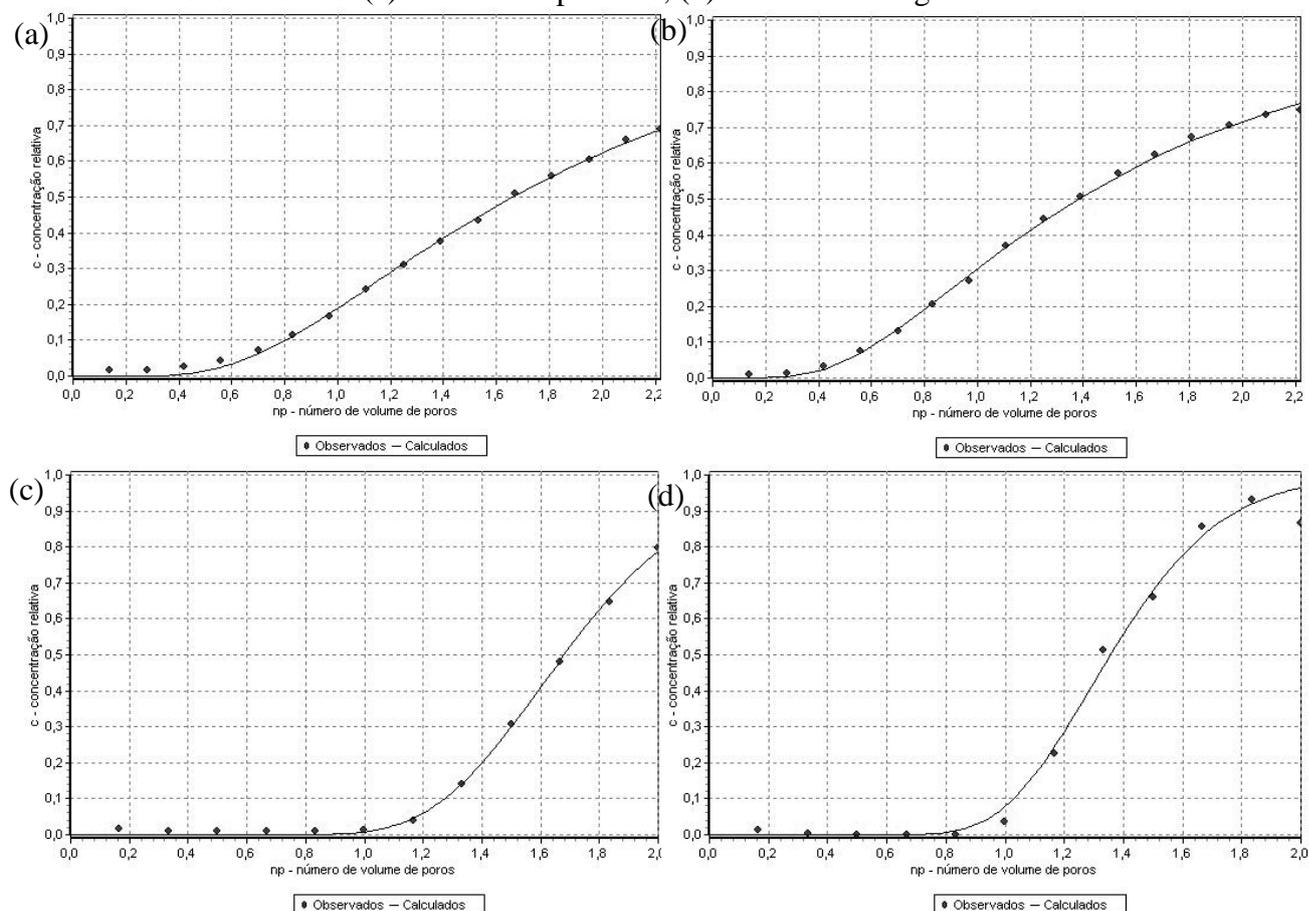


Figura 4. Curvas de efluente dos íons potássio e magnésio (LVAd). - Amostras com estrutura: (a) efluente de potássio; (b) efluente de magnésio. - Amostras destorroadas: (c) efluente de potássio; (d) efluente de magnésio.



Observou-se em ambos os solos que as curvas de efluentes obtidas a partir de amostras com estrutura possuem menor declividade e estão mais deslocadas para a direita, em relação às curvas obtidas a partir de amostras destorroadas, evidenciando assim maior dispersividade e menor fator de retardamento dos solutos em amostras com estrutura, respectivamente. Amostras com estrutura preservam a existência de um meio heterogêneo, com poros de diferentes tamanhos e formas, contribuindo assim para maior dispersividade, o que não se observa nas amostras destorroadas, onde se tem um meio homogêneo (ROSSI et al., 2007). Carmo et al. (2010) verificaram maior dispersividade em um Neossolo quando comparado a um Latossolo, associando tal comportamento à textura dos solos, uma vez que o Neossolo possuía distribuição maior dos tamanhos das partículas (frações de areia).

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios obtidos da dispersividade de ambos os íons, nas amostras com estrutura e destorroadas do PVAe e do LVAd.

Tabela 2. Valores médios obtidos de dispersividade para os íons potássio e magnésio, em amostras com estrutura e destorroadas do Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico (PVAe) e do Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd)

Amostras	PVAe		LVAd	
	Potássio	Magnésio	Potássio	Magnésio
Com estrutura	194,16	107,66	17,07	0,50
Destorroadas	3,68	0,15	7,65	0,47

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios do fator de retardamento (R), coeficiente dispersivo-difusivo transformado (D') e do coeficiente de distribuição (Kd), obtidos a partir de amostras com estrutura (A1) e amostras destorroadas (A2) dos PVAe e LVAd, para os íons potássio e magnésio.

Tabela 3. Valores médios do fator de retardamento (R), do coeficiente dispersivo-difusivo transformado (D') e do coeficiente de distribuição (Kd), obtidos para o íon potássio a partir de amostras com estrutura (A1) e amostras destorroadas (A2) do Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico (PVAe) e Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd)

Solo	Potássio						Magnésio					
	R		K _d		D'		R		K _d		D'	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
PVAe	1,16b	6,43a	0,09b	3,1a	3,94a	1,42b	0,46b	1,25a	-0,31b	0,14a	3,09a	0,05b
LVAd	1,97a	1,72b	0,56a	0,42b	2,07a	1,04b	1,70a	1,39b	0,41a	0,22b	2,16a	0,99a

*As médias seguidas por uma mesma letra minúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo Teste de Tukey.

*D' = log (D)

Os valores do R dos íons potássio e magnésio obtidos neste trabalho foram semelhantes àqueles determinados por Melo et al. (2006), Santos et al. (2010), Silva et al. (2012) e Souza et al. (2011) ao avaliarem o deslocamento miscível do potássio e magnésio em colunas de solo.

Os valores obtidos de R e do K_d, de ambos os íons, são maiores nas amostras destorroadas em relação aos valores obtidos nas amostras com estrutura no PVAe. Esse resultado está associado ao fato dos agregados serem menores nas amostras destorroadas, aumentando a exposição da sua superfície específica, o que aumenta a área total de contato entre a solução de trabalho e a fase sólida do solo. O mesmo comportamento foi verificado por Moreira et al. (2010), que obtiveram maiores valores de R ao comparar os valores desse coeficiente determinado a partir de permeâmetros confeccionados com resíduo de construção civil com partículas de granulometrias distintas.

Outra explicação para os maiores valores de R e K_d determinados a partir de amostras destorroadas é a velocidade de escoamento da solução de trabalho, que foi menor nas amostras destorroadas, aumentando assim o tempo de interação entre os solutos e os colóides do solo. Segundo Tito et al. (2012), quanto menor a densidade de fluxo e velocidade de avanço da solução na coluna de solo, maior é o tempo de contato entre os íons e os colóides do solo promovendo maior oportunidade de retenção dos solutos. O mesmo comportamento foi determinado por Rossi et al. (2007), que compararam valores do fator de retardamento, dispersividade e do coeficiente de dispersão para o íon nitrato considerando amostras com estrutura e destorroadas. No LVAd os valores de R e do K_d obtidos em amostras com

estrutura foram maiores em relação aos valores desses parâmetros determinados em amostras destorroadas. Acredita-se que houve maior difusão intra-agregados dos íons nas amostras com estrutura, o que resultou em maiores valores do fator de retardamento e do coeficiente de distribuição no LVAd.

Em amostras com estrutura obtiveram-se maiores valores do coeficiente dispersivo-difusivo em relação às amostras destorroadas do PVAe e do LVAd. As maiores dispersividades dos íons e velocidade de escoamento da solução de trabalho em amostras com estrutura foram fatores determinantes para que fossem obtidos valores maiores do coeficiente dispersivo-difusivo nessa modalidade de amostra.

Rossi et al. (2007) compararam valores do fator de retardamento, dispersividade e do coeficiente de dispersão para o íon nitrato em dois latossolos, considerando amostras com estrutura e destorroadas. Neste trabalho os autores obtiveram valores superiores do fator de retardamento e do coeficiente dispersivo nas amostras destorroadas, enquanto a dispersividade foi maior nas amostras com estrutura. Os autores afirmam que os parâmetros obtidos a partir de amostras destorroadas não são representativos, uma vez que não representam as condições naturais do solo.

As curvas de concentrações residente apresentadas nas Figuras 5 e 6, apresentam o deslocamento dos íons potássio e magnésio em perfil de 1,00 m de profundidade de um PVAe e de um LVAd, após 1:00 e 5:00 horas de aplicação contínua da solução de trabalho.

Figura 5. Concentrações residente dos íons em perfil de 1,00 m de profundidade de um Argissolo, após 1:00 e 5:00 horas de aplicação da solução de trabalho: (a) potássio; e (b) magnésio.

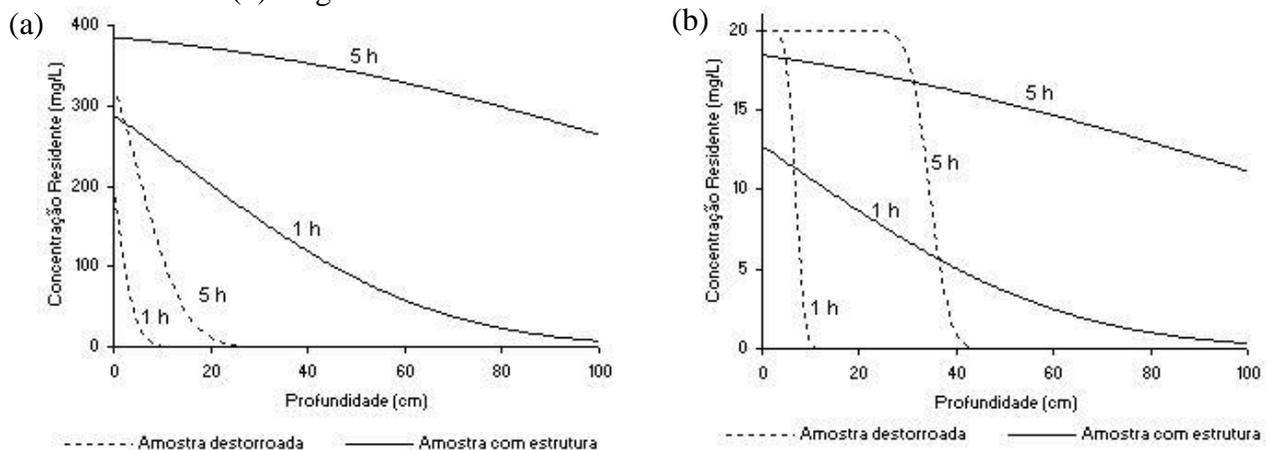
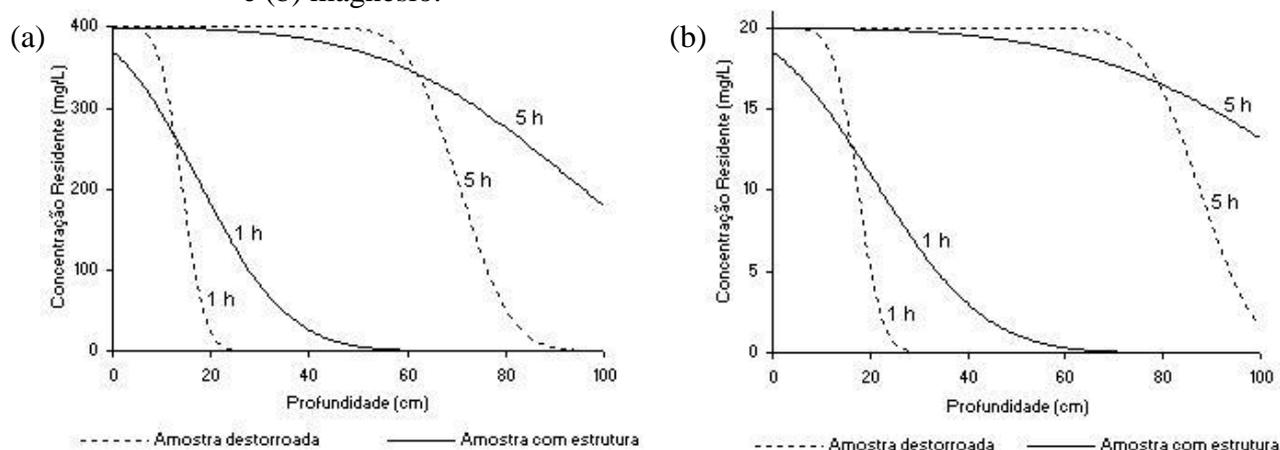


Figura 6. Concentrações residente dos íons em perfil de 100 cm de profundidade de um Latossolo após 1:00 e 5:00 horas de aplicação da solução de trabalho: (a) potássio; e (b) magnésio.



De acordo com as Figuras 5 e 6 verificara-se que as concentrações residentes dos íons potássio e magnésio foram maiores quando as simulações foram realizadas a partir das informações obtidas das amostras de solo com estrutura, para maiores profundidades. Segundo Oliveira et al. (2010), a mobilidade de solutos no solo está inversamente relacionada à sua adsorção à fração sólida ou às condições do meio que favoreçam a precipitação dos íons. Portanto, os menores valores do fator de retardamento associados à existência de caminhos preferenciais que favoreçam o fluxo e a velocidade de escoamento da solução de trabalho em amostras com estrutura do PVAe, são responsáveis pela ocorrência de maior concentração residente dos íons em maiores profundidades. Por outro lado, o fato de o fator de retardamento ser semelhante tanto nas amostras com como nas sem estrutura do LVAd, embora sejam estatisticamente distintos a 5% de significância, implica que o maior avanço dos íons para o caso de amostras com estrutura está estritamente relacionado aos maiores valores da velocidade de escoamento e a consequente dispersividade dos íons nessa modalidade de amostra.

Os resultados obtidos para os parâmetros de transporte de solutos comprovaram a hipótese de que na determinação desses parâmetros é necessário manter inalterada a estrutura do solo quando se deseja fazer inferências dos dados às condições em campo. Também não deixam dúvidas de que ao alterar a estrutura natural do solo tanto o padrão de escoamento da solução quanto dos íons nela contidos ficam alterados produzindo, assim, resultados que não devem ser utilizados em programas computacionais para simular condições de campo.

6 CONCLUSÕES

- As médias dos parâmetros de mobilidade de solutos no solo (R , D e K_d) obtidos a partir de amostras com estrutura diferem das médias obtidas a partir de amostras destorroadas, nos dois solos.
- As concentrações residentes são sensivelmente maiores quando as simulações são realizadas a partir dos parâmetros obtidos de amostras com estrutura, para maiores profundidades. Essas diferenças entre as concentrações residentes obtidas a partir de amostras com estrutura e destorroadas estão associadas à maior dispersividade dos íons e velocidade de escoamento da solução de trabalho em perfis com estrutura inalterada.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; FERREIRA, P. A. Equações e programa computacional para cálculo do transporte de solutos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 604-611, 2006.

CARMO, A. I.; ANTONINO, A. C. D.; NETTO, A. M.; CORRÊA, M. M. Caracterização hidrodispersiva de dois solos da região irrigada do Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p.698-704, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, 1999. 370 p.

FERREIRA, P. A. **Transporte de solutos no solo**. Viçosa: UFV, 2007. 30 p.

MELO, R. F.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; RUIZ, H. A.; OLIVEIRA, L. B. Deslocamento miscível de cátions básicos provenientes da água residuária de mandioca em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 456-465, 2006.

MOREIRA, D. A.; MARTINEZ, M. A.; SOUZA, J. A. R.; MATOS, A. T.; REIS, C.; BARROS, F. M. Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão de metais pesados em resíduos da construção civil e demolição. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 5, n. 2, p.77-86, 2010.

OLIVEIRA, L. F. C.; LEMKE-DE-CASTRO, M. L.; RODRIGUES, C.; BORGES, J. D. Adsorção e deslocamento do íon cádmio em solos do cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 848-855, 2010.

OLIVEIRA, L. F. C.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; RUIZ, H. A.; MATOS, A. T. Metodologia de amostragem de solo para a obtenção da condutividade hidráulica e da curva de eluição de solutos. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 8, n. 2, p. 848-855, 2000.

ROSSI, P.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N. Curvas de distribuição de efluentes do íon nitrato em amostras de solo deformadas e indeformadas. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 675-682, 2007.

SANTOS, J. S.; LIMA, V. L. A.; BORGES JÚNIOR, J. C. F.; SILVA, L. B. D.; AZEVEDO, C. A. V. Mobilidade de solutos em colunas de solo com água residuária doméstica e de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 11, p. 1226-233, 2010.

SILVA, N. F.; LELIS NETO, J. A.; TEIXEIRA, M. T.; CUNHA, F. N.; MIRANDA, J. H.; COELHO, R. D. Distribuição de solutos em colunas de solo com vinhaça. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 340 - 350, 2012. Edição especial.

SOUZA, A. L.; MATSURA, E. E.; MIRANDA, J. H.; COLOMBO, A. Ajuste de parâmetros de transporte de solutos no solo utilizando Matlab 6.5. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 6, p. 1064-1074, 2011.

TITO, G. A.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. Mobilidade do zinco e do cobre em Argissolo com aplicação de argila bentonita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 938-945, 2012.

Van GENUCHTEN, M. T.; WIERENGA, P. J. Solute dispersion: coefficients and retardation factors. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: ASA, SSSA, 1986. p. 1025-1031. Part 1: Physical and mineralogical methods.