

## Determinação de Parâmetros Hidrodispersivos em Solos da Zona da Mata de Pernambuco

Albert Einstein Spíndola Saraiva de Moura<sup>1</sup>, José Francisco de Carvalho<sup>1</sup>, Suzana Maria Gico Lima Montenegro<sup>2</sup>, André Inácio do Carmo<sup>3</sup>, Adriana Guedes Magalhães<sup>1</sup>, Carmem Cristina Mareco de Sousa<sup>1</sup>, Antônio Celso Dantas Antonino<sup>2</sup>, José Aécio Correia de Araujo<sup>1</sup>, Rogério Oliveira de Melo<sup>1</sup>  
aessmoura@yahoo.com.br; carvalho.jcarvalho20@gmail.com; suzanam@ufpe.br; andreinaciocarmo@yahoo.com.br; agmguedes@gmail.com; crismareco@hotmail.com; acda@ufpe.br; jacorreadearaujo@gmail.com; agrorom@hotmail.com

Recebido: 31/12/11 - revisado: 10/09/12 - aceito: 29/04/13

### RESUMO

A realização de estudos de caracterização hidrodinâmica e hidrodispersiva para descrever o movimento de solutos no solo é de grande importância, frente ao uso indiscriminado de fertilizantes e pesticidas nas áreas agrícolas. O objetivo deste trabalho foi estudar o deslocamento de soluções miscíveis por meio de uma solução de KBr (59,49 g L<sup>-1</sup>) em colunas de solos (Espodossolo e Argissolo) compactadas, provenientes da Zona da Mata do Estado de Pernambuco. Aplicou-se um pulso de 1,0 volume de poros, na vazão de 12.10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, sob condições de saturação e fluxo em regime estacionário. Utilizou-se o modelo da convecção-dispersão (CDE) para se determinar os parâmetros hidrodispersivos (D,R). O modelo CDE se ajustou bem aos pontos da curva de eluição; os valores da velocidade média da água nos poros foram praticamente iguais para os dois solos e o processo dominante foi o convectivo-dispersivo.

**Palavras-chave:** Curva de eluição. Coeficiente de dispersão. Fator de retardamento

### INTRODUÇÃO

A água, em seu estado líquido, dissolve e transporta diversos poluentes químicos, solutos, que estão em suspensão na atmosfera em direção ao solo. Além desse processo de transferência, os solutos podem se movimentar por meio da diferença de concentração entre pontos na solução do solo, e em função da variação de velocidade de escoamento do meio poroso.

O conhecimento do funcionamento hidrodinâmico do solo é de fundamental importância para prevenção e remediação dos danos causados ao meio ambiente, uma vez que o solo é um dos principais destinatários dos resíduos gerados, devendo-se dar maior atenção ao uso indiscriminado de fertilizantes e pesticidas, haja vista que podem contaminar o lençol freático (CARMO et al., 2010).

O estudo dos processos de transferência de sais, fertilizante, pesticidas e outras substâncias químicas no solo têm sido realizados, por meio de experimentos em campo e laboratório, utilizando para isso, colunas de solo deformado e indeformado (MILFONT et al., 2006; CARMO et al., 2010).

De acordo com Costa et al. (2006), um dos principais problemas encontrados no estudo dos processos de transferência de solutos em condições naturais de campo é a dificuldade em se determinar as variáveis e os parâmetros envolvidos (D e R), em função do seu elevado custo. Com isso, dar-se preferência a realização de experimentos em colunas de solo para avaliação desses processos e para a identificação e estimativa dos respectivos parâmetros hidrodispersivos.

Uma extensa quantidade de modelos de simulação do movimento de solutos no perfil do solo foi desenvolvida, embora exista ainda grande dificuldade em envolver todas as características pertinentes ao meio ambiente, a fim de se obter um modelo real e capaz de prever o processo de deslocamento e retenção dos solutos nesse meio.

Existem vários métodos para a determinação dos parâmetros hidrodispersivos que regem o transporte de solutos no solo, tais como: método de otimização não-linear dos mínimos

<sup>1</sup> - Departamento de Engenharia Agrícola/UFRPE

<sup>2</sup> - Departamento de Engenharia Civil/UFPE

<sup>3</sup> - Departamento de Engenharia Nuclear/UFPE

quadrados (PARKER e VAN GENUCHTEN, 1984); método dos momentos (FEIKE; DANE, 1992), além de outros.

Esses métodos se baseiam no ajuste da solução analítica da equação da convecção-dispersão (CDE) aos pontos da curva de eluição obtida em ensaios de deslocamento de líquidos miscíveis (MILFONT et al., 2006).

Estudos que visam obter medidas de movimento de solutos são baseados na teoria de deslocamento de líquidos miscíveis, visto que a teoria considera um fluido que contém um íon a ser pesquisado, e este é deslocado pelo mesmo fluido sem o íon, através de um volume de solo (NIELSEN; BIGGAR, 1961).

Para essa estimativa são utilizados programas numéricos, como CFITIM (VAN GENUCHTEN, 1981) ou CXTFIT (TORIDE et al., 1995), que servem para o ajuste de soluções analíticas da equação de transporte a curvas experimentais de eluição, obtidas pela relação entre a concentração relativa  $C/C_0$  e o tempo acumulado ou o volume de efluente coletado  $V/V_0$  (INOUE et al., 2000).

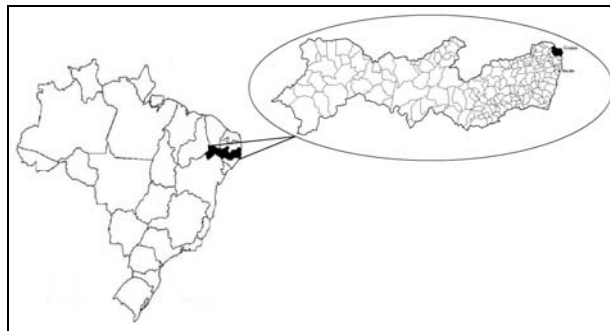
Este estudo consistiu na caracterização hidrodinâmica e hidrodispersiva de dois solos provenientes do município de Goiana-PE situado na região da zona da mata, no Nordeste do Brasil, a partir de ensaios de deslocamento miscível em colunas de solo deformado.

A escolha dos solos se deveu ao fato de se tratarem de solos representativos deste local e por esta região se encontrar em grande desenvolvimento agrícola, especialmente no setor de cana-de-açúcar, o que tem levado ao emprego de grandes quantidades de pesticidas e fertilizantes.

Assim, a realização de estudos de caracterização hidrodispersiva para descrever o movimento da água através dos referidos solos se torna imprescindível para subsidiar o desenvolvimento de futuros trabalhos no que tange à determinação do tempo de permanência dos solutos aplicados.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área selecionada para coleta dos solos pertence à Usina Santa Tereza, Goiana, PE, localizada na Mesorregião Mata e Microrregião Mata Setentrional do Estado de Pernambuco, situada nas coordenadas 7° 33' 38" de latitude Sul e 35° 00' 09" de longitude Oeste.



**Figura 1 - Localização do município de Goiana no Estado de Pernambuco**

Foram coletadas amostras deformadas de um Espodossolo (textura arenosa) e de um Argissolo Amarelo (textura argilosa). As amostras foram coletadas na camada superficial (0 a 0,2m) e em seguida, foram secas na temperatura ambiente, destorroadas e peneiradas em peneira com malha de  $2.10^{-3}$ m. Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em tubos de PVC de 0,05 m diâmetro e 0,2m de altura, de tal forma a atingir a massa específica aparente encontrada no campo para cada solo.

As colunas foram hermeticamente fechadas e conectados a uma bomba peristáltica. A saturação ocorreu por fluxo ascendente e a injeção da solução lixiviante e traçadora ocorreu por fluxo descendente.

Segundo Bebé et al (2009), os solos foram classificados conforme EMBRAPA (2006), como Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico espessarênicos (arenoso) e Argissolo Amarelo Distrocoeso latossólico (argiloso)

Utilizou-se como solução lixiviante  $\text{CaCl}_2$ , com concentração salina próxima a da solução do solo, para que os colóides das amostras de solo não sofressem desestabilização, comprometendo a permeabilidade devido à diminuição da força iônica (LACERDA et al., 2005). Como solução traçadora utilizou-se o KBr a 59,49 g.L<sup>-1</sup>. A salinidade da solução do solo foi determinada conforme EMBRAPA (1997), sendo a condutividade elétrica do solo argiloso e do solo arenoso de 0,43 dS.m<sup>-1</sup> e 0,28 dS.m<sup>-1</sup>, respectivamente.

Aplicou-se um pulso de 1,0 volume de poros de solução traçadora (KBr) na vazão de  $1,2.10^{-4}$  m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. A progressão do avanço do soluto foi acompanhada medindo-se a concentração do efluente (C) ao longo do tempo. A evolução da razão  $C/C_0$  em função do número de volumes de

poros  $V/V_0$  do efluente coletado forneceu a curva de eluição.

Os valores do tempo de aplicação do pulso ( $t_0$ ) e da densidade de fluxo de Darcy ( $q$ ) foram medidos durante a realização dos ensaios. Calculou-se a velocidade média da solução nos poros usando-se:

$$v = q\theta_s^{-1} \quad (1)$$

Em que:

$v$  = velocidade média da água nos poros;

$q$  = densidade de fluxo de Darcy;

$\theta_s$  = umidade na saturação.

O coeficiente de dispersão hidrodinâmica ( $D$ ) e o fator de retardamento ( $R$ ) foram determinados pelo ajuste da curva de eluição, por meio do modelo CDE. A equação de convecção-dispersão é escrita como:

$$R \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{P_e} \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{\partial C}{\partial z} \quad (2)$$

Em que:

$C$  – concentração do soluto, expressa em massa de soluto por volume de solução,  $ML^{-3}$ ;

$z$  – coordenada espacial,  $L$ ;

$t$  – tempo,  $T$ ;

$P_e$  – número de Peclet;

$R$  – fator de retardamento.

A condição de contorno superior para concentrações de fluxo com injeção do tipo pulso pode ser escrita conforme:

$$\frac{1}{p_e} \frac{\partial C}{\partial z} + C = \begin{cases} C_0 & \text{para } 0 < t < t_0 \\ 0 & \text{para } t > t_0 \end{cases} \quad (3)$$

Sendo  $C$  a concentração em função da profundidade  $z$  (altura da coluna de solo) e do tempo  $t$  (tempo de injeção do soluto),  $C_0$  a concentração do soluto injetado e  $P_e$  o número de Péclét.

Intuitivamente, a condição de sistema finito é a mais apropriada para analisar dados de experimentos de laboratório em coluna de solo (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2004). No entanto, Parker e van Genuchten (1984) recomendam que soluções analíticas para colunas de solo semi-infinitas sejam sempre utilizadas para

representar concentrações de fluxo, mesmo para colunas de laboratório pequenas.

A condição de contorno inferior para um sistema finito assume uma distribuição contínua de concentração em  $z = L$ , enquanto a condição de contorno superior não assume essa mesma distribuição (MONTENEGRO & MONTENEGRO, 2004).

A condição de contorno inferior para sistemas semi-infinitos no caso de concentração de fluxo é escrita como

$$\frac{\partial C}{\partial z}(\infty, t) = 0 \quad (4)$$

A condição inicial usualmente especificada para experimentos de deslocamento de soluto é escrita como

$$C(Z, 0) = 0 \quad (5)$$

Os parâmetros hidrodispersivos foram determinados utilizando o programa CXTFIT 2.0, que utiliza o método de otimização não-linear dos mínimos quadrados na estimativa dos parâmetros de transporte de solutos.

A análise estatística foi realizada com base no desempenho dos valores observados e ajustados, considerando-se os seguintes indicadores estatísticos: coeficiente de correlação ( $r$ ); índice de concordância ( $d$ ) e índice de desempenho ( $c$ ).

A precisão é dada pelo coeficiente de correlação que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média. Já a exatidão, está relacionada com o afastamento dos valores estimados em relação aos observados. Matematicamente, essa aproximação é dada por um índice designado de concordância (WILLMOTT et al., 1985). Seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, a unidade, para concordância perfeita. O índice de concordância pode ser obtido pela equação 06.

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|E_i - O_m|) + (|O_i - O_m|)} \right] \quad (6)$$

Em que:

$d$  = índice de concordância, adimensional, variando de 0 a 1;

$E_i$  = valor estimado pelas funções;

$O_i$  = valor observado;

$O_m$  = média dos valores observados.

Segundo Oliveira et al (2008), o índice de desempenho (c) foi proposto por Camargo & Sentelhas (1997) com critérios, conforme a Tabela 1, para indicar o desempenho dos métodos, reunindo os índices de precisão “r” e de exatidão “d”, através do produto entre esses dois índices.

**Tabela 1 – Critério de interpretação do desempenho dos ajustes**

Valores de “c”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Suficiente
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição das frações texturais e as características físicas dos solos estudados estão apresentadas nas Tabelas 2 e 3. Conforme a classificação textural da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), o Espodossolo foi classificado como de textura arenosa e o Argissolo Amarelo como de textura argilosa.

**Tabela 2 - Distribuição das frações texturais.**

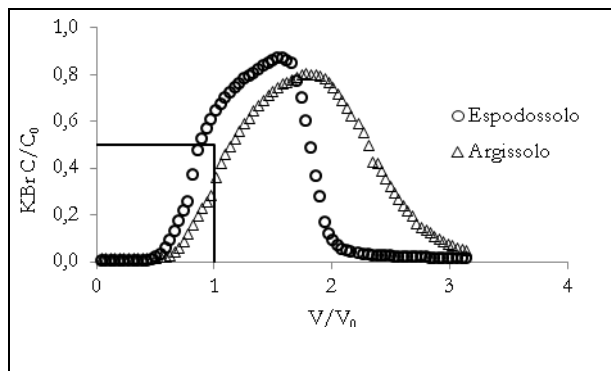
Solo	Arcia (g.kg <sup>-1</sup> )	Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	Argila (g.kg <sup>-1</sup> )
Espodossolo	932	28	40
Argissolo	555	86	359

**Tabela 3 - Características físicas dos solos.**

Solo	$d_s$ (g.cm <sup>-3</sup> )	$d_p$ (g.cm <sup>-3</sup> )	$V_p$ (cm <sup>3</sup> )	$\epsilon$
Espodossolo	1,3	2,45	173,1	0,47
Argissolo	1,5	2,59	155,7	0,42

$d_s$ : densidade do solo;  $d_p$ : densidade de partícula;  $V_p$ : volume de poros;  $\epsilon$ : porosidade

As curvas de eluição experimentais do KBr no Espodossolo e no Argissolo estão apresentadas na Figura 2, na forma de concentração adimensional ( $C/C_0$ ) em função do volume relativo de poros ( $V/V_0$ ).



**Figura 2 - Curva média de eluição experimental do KBr no Espodossolo e no Argissolo.**

Observa-se na Figura 2 que a curva de eluição do Argissolo se apresenta deslocada para a direita e a curva do Espodossolo deslocada para a esquerda do ponto referente à 0,5 de  $C/C_0$  e 1,0  $V/V_0$ . Os valores de  $V/V_0$  para o Espodossolo e para o Argissolo, correspondentes a 0,5  $C/C_0$ , são  $0,87 \pm 0,03$ , e  $1,13 \pm 0,02$ , respectivamente.

Segundo Costa et al. (2006) e Ferreira et al. (2006), para um meio totalmente saturado, onde toda a água é considerada móvel, a curva de eluição de um traçador ideal passa pelo ponto (0,5  $C/C_0$ ; 1,0  $V/V_0$ ).

Quando o valor for maior que 1,0, isto é, quando a curva do efluente se apresentar deslocada para a direita, significa que, ao escoar através do perfil do solo, parte do soluto foi adsorvido, resultando em um número do fator de retardamento maior que a unidade.

Ainda na Figura 2, observa-se que houve um pequeno retardamento na ascensão da curva de eluição do solo argiloso, em relação ao solo arenoso, possivelmente em função de uma leve adsorção dos íons brometos com os minerais desse solo, conforme pode ser constatado pelo valor do fator de retardamento na tabela 3.

Na Tabela 4, encontram-se os valores médios das condições experimentais e dos parâmetros hidrodispersivos dos ensaios de deslocamento miscível com o KBr nos dois tipos de solos.

**Tabela 4 - Parâmetros hidrodispersivos dos ensaios de deslocamento do KBr no espodossolo e no argissolo**

Solo	$v$ (m s <sup>-1</sup> )	$K_s$ (m s <sup>-1</sup> )	R	D (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	$\lambda$ (m)	$P_e$
Espodossolo	$4,49.10^{-5} \pm 0,02$	$8,33.10^{-5} \pm 0,04$	$0,98 \pm 0,04$	$3,12.10^{-7} \pm 0,10$	$6,95.10^{-3} \pm 0,07$	$29,48 \pm 0,04$
Argissolo	$4,48.10^{-5} \pm 0,08$	$9,70.10^{-5} \pm 0,03$	$1,28 \pm 0,06$	$5,83.10^{-7} \pm 0,13$	$1,30.10^{-2} \pm 0,20$	$15,35 \pm 0,19$

(X  $\pm$  CV): Média  $\pm$  coeficiente de variação;  $v$  – velocidade média linear da água nos poros;  $K_s$  – condutividade hidráulica saturada; D – coeficiente de dispersão hidrodinâmico; R – fator de retardamento;  $\lambda$  – dispersividade;  $P_e$  – número de Péclet

Observa-se na Tabela 4 que as velocidades médias da água nos poros para os dois solos foram praticamente iguais.

Verifica-se ainda na Tabela 4 que o valor médio do coeficiente de dispersão do Espodossolo é maior do que o argissolo, caracterizando assim um efeito mais pronunciado da dispersão para aquele solo. Esse resultado é condizente com o trabalho de Bedmar et al. (2009) onde maiores valores de dispersão foram encontrados em horizontes de solo com maiores teores de argila.

No caso do solo mais argiloso, o coeficiente de dispersão foi maior que o do arenoso, e isso pode ser justificado devido ao fato daquele solo possuir uma textura mais fina (microporos), que são bastante efetivos na dispersão de solutos, conforme os trabalhos de Bronly et al. (2007) e Vanderborght & Vereecken (2007).

Segundo Ruiz et al. (2010), a dispersão ocorre em função das diferentes velocidades de escoamento dentro de poros individuais, decorrente da viscosidade da água, e dos diferentes tamanhos e formas dos poros no solo.

De acordo com Fried (1975), os valores de dispersividade atribuídos para a dispersividade em condições de laboratório para amostras deformadas estão entre 0,5 e 2 cm.

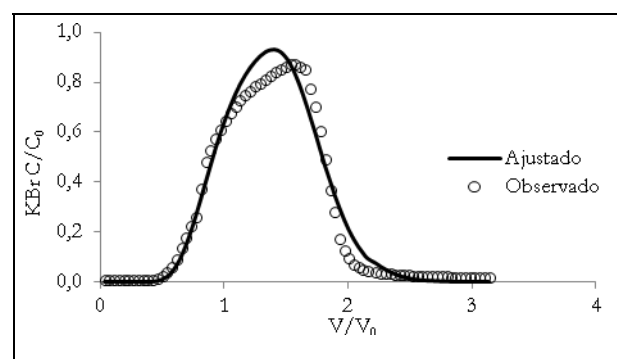
Em relação ao fator de retardamento R, nota-se, no Espodossolo, que o valor está bastante próximo à unidade, indicando que os íons brometo não sofreram qualquer tipo de interação (adsorção/exclusão aniônica).

Com base nos valores do fator de retardamento encontrados para ambos os solos, verifica-se que o KBr comportou-se como um bom traçador químico, representando assim, uma boa ferramenta na avaliação dos parâmetros hidrodispersivos, corroborando com os resultados de Carmo et al. (2010) e Milfont et al. (2008).

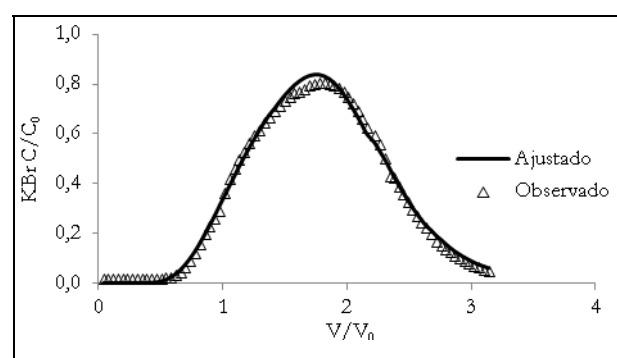
Em relação ao número de Péclet, verifica-se que tanto para o Espodossolo quanto para o

Argissolo, os valores ficaram acima de 10, indicando que o processo predominante foi o convectivo-dispersivo (NOVY QUADRI et al., 1993).

Nas Figuras 3 e 4 estão apresentadas as curvas médias de eluição do KBr observadas e ajustadas pelo modelo CDE para o Espodossolo e para o Argissolo.



**Figura 3 - Curvas médias de eluição do KBr observada e ajustada pelo CDE no Espodossolo.**



**Figura 4 - Curvas médias de eluição do KBr observada e ajustada pelo CDE no Argissolo.**

Observa-se nas Figuras 3 e 4 que o modelo CDE realizou um bom ajuste aos pontos das curvas

de eluição do KBr. O resultado da avaliação da precisão, da exatidão e do desempenho está apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5 - Desempenho dos dados concentração relativa estimados frente aos observados.**

Solo	r	d	c	Desempenho
Espodossolo	0,9871	0,9932	0,9804	ótimo
Argiloso	0,9980	0,9989	0,9969	ótimo

## CONCLUSÕES

O valor do fator de retardamento (R) foi maior no Argissolo pelo fato deste apresentar uma maior densidade de solo ( $d_s$ ), enquanto que no Espodossolo, os valores de R ficaram próximos da unidade.

O modelo CDE se ajustou bem aos pontos da curva de eluição dos ensaios realizados, com coeficiente de determinação de 0,97 para ambos os solos.

O número de Peclet foi maior do que 10 para os dois tipos de solos, pelo fato dos mesmos apresentarem praticamente a mesma velocidade média da água nos poros e baixos coeficientes de difusão hidrodinâmica, indicando assim, que o processo predominante foi o convectivo-dispersivo.

Os valores da velocidade média da água nos poros ficaram próximos nos dois solos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação da UFRPE, ao Departamento de Energia Nuclear (DEN/UFPE), à CAPES, à FACEPE e ao CNPq pela concessão de bolsas.

## REFERÊNCIAS

BEBÉ, F. V.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, G. B.; OLIVEIRA, V. S. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.6, p. 781-787, 2009.

BEDMAR, F.; COSTA, J. L.; GIMÉNEZ, D. Column tracer studies in surface and subsurface horizons of two typic argiudolls. *Soil Science*, v. 173, n. 4, p. 237 – 247, 2008.

BROMLY, M.; HINZ, C.; AYLMOORE, L. A. G. Relation of dispersivity to properties of homogeneous saturated repacked soil columns. *European Journal of Soil Science*, v. 58, n. 1, p. 293-301, 2007.

CAMARGO, A.P; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.5, n.1, maio, p. 89-97, 1997.

CARMO, A. I.; ANTONINO, A. C. D.; NETTO, A. M.; CORRÊA, M. M. (2010). *Caracterização hidrodispersiva de dois solos da região irrigada do Vale do São Francisco*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.6, p.582–588.

COSTA, C. T.; ANTONINO, A. C. D.; NETTO, A. M. Ensaios de deslocamento de líquidos miscíveis na determinação dos parâmetros hidrodispersivos de um solo aluvial. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.11, n.2, p.111-122, 2006.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1006, 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. *Manual de métodos de análises de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997, 212p.

FEIKE, L. J. ; DANE, J. H. Moment method applied to solute transport with binary and ternary exchange. *Soil Science Society of America Journal*, v.56, p.667 - 674, 1992.

FERREIRA, P. A.; GARCIA, G. O.; MATOS, A. T.; RUIZ, H. A.; BORGES JUNIOR, J. C. F. Transporte no solo de solutos presentes na água residual de café conilon. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 28, n. 1, p. 29 – 35, 2006.

FRIED, J. J. *Groundwater pollution*. New York, Elsevier, 1975.

- INOUE, M.; SIMUNEK, J.; SHIOZAWA, S.; HOPMANS, J. W. Simultaneous estimation of soil hydraulic and solute transport parameters from transient infiltration experiments. *Adv. WaterResource*, v.23, p.677-688, 2000.
- LACERDA, B. N.; ZERO, V. M.; BARILLI, J.; MORAES, M. H.; BICUDO, S. J. Efeito de sistemas de manejo na estabilidade de agregados de um Nitossolo Vermelho. *Engenharia Agrícola*, v.25, n.3, p.686-695, 2005.
- MILFONT, M. L.; ANTONINO, A. C. D.; MARTINS, J. M. F.; NETTO, A. M.; GOUVEIA, E. R.; CORREA, M. M. Transporte do paclobutrazol em colunas de solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.5, p.2165-2175, 2008.
- MILFONT, M. L.; ANTONINO, A. C. D.; MARTINS, J. M. F.; NETTO, A. M.; CORRÊA, M. M. Caracterização hidrodispersiva de dois solos do Vale do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.1, n. único, p.81-87, 2006.
- MONTENEGRO, S. M. G. L. & MONTENEGRO, A. A. Aproveitamento sustentável de aquíferos aluviais no semi-árido. In: CABRAL, J. J. S. P.; FERREIRA, J. P. L.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; COSTA, W. D.(Org.). Água subterrânea: aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento. Recife: Editora Universitária da UFPE, v. 1, 2004, p. 61-126.
- NIELSEN, D. R. & BIGGAR, J. W. Miscible displacement in soils: I. Experimental information. *Soil Science.Society. America*. v.25, p.1-5, 1961.
- OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; AZEVEDO, J. R. G.; SANTOS, F. X. Evapotranspiração de referência na bacia do riacho Gameleira, PE, utilizando-se lisímetro e métodos indiretos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.3, n.1, p.58-67, 2008.
- NOVY, Q. M. B. *L'infiltrométriemultidisques pour la caractérisation hydro-dispersive des sols non saturés: modélisation des transferts et applications*. 1993. Thèse (Doctorat) – Université Joseph Fourier. Grenoble, 1993.
- PARKER, J. C.; VAN GENUCHTEN, M. TH. Flux-averaged and volume averaged concentrations in continuum approaches to solute transport. *Water Resource Research*, v.20, p.866-872, 1984.
- RUIZ, H. A.; FERREIRA, P. A.; ROCHA, G. C.; BORGES JUNIOR, J. C. F. *Transporte de solutos no solo*. In: van LIER, Q. J. Física do solo. Viçosa/MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010., Cap. 6, p. 213 - 240.
- TORIDE, N.; LEIJ, F. J.; VAN GENUCHTEN, M. TH. *The CXTFIT code for estimating transport parameters from laboratory or field tracer experiments*. Version 2.0, Research Report N°. 137, U. S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, CA, 1995.
- VANDERBORGHT, J. & VEREECKEN, H. *Review of dispersivities for transport modeling in soils*. Vadose Zone Journal, v. 6, p. 29 - 52, 2007.
- VAN GENUCHTEN, M. TH. *Non-equilibrium transport parameters from miscible displacement experiments*. Research Report N°. 119, U. S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, CA, 1981.
- WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E. *Statistics for the evaluation and comparison for models*. Journal of Geophysical Research, Ottawa, v90, n C5, p 8995-9005, 1985.

# Determining Hydrodispersive Parameters In Soils From The Zona Da Mata In Pernambuco

## ABSTRACT

Hydrodynamic and hydrodispersive characterization studies to describe the movement of solutes in soil is very important, since there has been indiscriminate use of fertilizers and pesticides in the agricultural areas. The objective of this work was to study the displacement of miscible solutes by a KBr solution (59, 49 g L<sup>-1</sup>) in compacted soil columns (Spodosol and Argisol ).from Zona da Mata in the state of Pernambuco. A pulse of one pore volume was applied, in the 12.10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> flux under saturated conditions and steady state flow. The convection-dispersion model (CDE) was used to determine the hydrodispersive parameters (D,R). The CDE model presented a good fit to the experimental breakthrough curve; the values of average water velocity in the pores were similar for both soils, and the dominant process was convective-dispersive.

**Keywords:** Breakthrough curve; dispersion coefficient; delaying factor