

DESLOCAMENTO MISCÍVEL DE AMÔNIO, ASSOCIADO A DIFERENTES ÂNIONS, EM AGREGADOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO CULTIVADO COM MILHO

COELHO, F. C.¹, RUIZ, H. A.², FERREIRA, P. A.², FRANÇA, G. E. de³, ARAÚJO, C. A. de S.⁴ e DUARTE, M. A.⁵

¹Prof. Assoc.-LFIT/CCTA/UENF (fcoelho@uenf.br), ²Prof. Tit.-UFV (hruiz@mail.uf.br), ³ Pesq. CNPMS/EMBRAPA (franca@cnpms.embrapa.br), ⁴Prof. CEFET Petrolina, ⁵Bols. de Aperf. FAPEMIG

Palavras-chave: amônio, transporte, agregados, Latossolo Vermelho-Escuro

O manejo excessivo do solo pode reduzir o tamanho dos agregados, afetando a estrutura e a dinâmica de água e de nutrientes no solo. no espaço interagregados, o fluxo de massa constitui o principal mecanismo de transporte de nitrogênio no solo (SANTOS, 1986), enquanto, no espaço intragregados, em razão da maior retenção de água, o movimento do nitrogênio pode processar-se principalmente por difusão. Diversos modelos matemáticos, baseados em curvas de efluente, tem sido propostos para descrever o transporte de solutos no solo. O formato e a posição das curvas de efluente dependem, para um mesmo tipo de solo, do tamanho dos agregados e da magnitude da velocidade convectiva BIGGAR e NIELSEN (1967) trabalhando com classes de agregados de solo de 0,25 a 0,5; 0,5 a 1,0; e 1,0 a 2,0 mm constataram, após o deslocamento de uma solução de CaCl₂ com uma de CaSO₄, que as curvas de efluente tornavam-se mais horizontais com o aumento do tamanho dos agregados, ou seja, os valores da relação entre as concentrações da solução após a eluição e as concentrações da solução antes da eluição (C/C_0) eram menores quando a percolação se processava nos agregados maiores. Também, as curvas de efluente deslocavam-se para a direita a medida em que a velocidade convectiva do fluido aumentava, com aumento mais tardio da concentração do efluente. O objetivo deste trabalho foi descrever o transporte do amônio em diferentes classes de agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro, quando aplicado na forma de sulfato, nitrato ou cloreto por comparação dos coeficientes de retardamento do amônio e pelo ajuste de dois modelos teóricos que consideram o transporte por difusão e por dispersão. Foi retirada uma amostra de solo um Latossolo Vermelho-Escuro álico, A moderado, textura argilosa, fase relevo suave ondulado, cerrado, sob área limpa, previamente cultivada com milho durante vários anos, localizada no Centro Nacional de Pesquisa do Milho e Sorgo/EMBRAPA, Sete Lagoas, MG. Esta foi composta de quatro amostras simples retiradas em locais diferentes da área, na profundidade de 0-10 cm. Realizou-se um experimento de laboratório, cujos tratamentos corresponderam a um fatorial 3 x 5, sendo: três fontes de NH₄⁺ ((NH₄)₂SO₄, NH₄Cl e NH₄NO₃) e cinco classes de agregados (2,0 a 1,0; 1,0 a 0,5; 0,5 a 0,25; 0,25 a 0,105; e < 0,105 mm). A unidade experimental foi constituída de uma coluna de vidro de 2 cm de diâmetro interno e 25 cm de comprimento com a extremidade inferior afunilada e conectada a uma mangueira de látex com pinça de Hoffmann para regular a vazão. Foi utilizada lã de vidro sobreposta a uma tela plástica na parte inferior para se evitar qualquer perda de solo. As colunas foram preenchidas com agregados até os 5 cm da borda superior sendo cobertos com lã de vidro para evitar o contato direto com o fluido deslocador. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições. As cinco classes de agregados foram separadas por peneiramento a seco, sendo, posteriormente, caracterizadas quanto a composição

granulométrica, a densidade aparente, o pH em água, o carbono orgânico, a CTC efetiva e a CTC total (EMBRAPA, 1979) (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização química e física dos agregados do Latossolo Vermelho-Escuro

Característica					
	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,105	< 0,105
pH em água (1:2,5)	5,2	5,1	5,1	5,0	5,0
CTC efetiva (mmol dm ⁻³)	23,3	25,9	28,4	28,6	27,6
CTC total (mmol dm ⁻³)	92,9	99,3	110,9	114,1	117,1
Carbono orgânico (kg kg ⁻¹) ⁽¹⁾	0,025	0,028	0,032	0,033	0,040
Granulometria (kg kg ⁻¹) ⁽²⁾					
- Areia	0,31	0,25	0,17	0,14	0,04
- Silte	0,16	0,20	0,27	0,24	0,28
- Argila	0,53	0,55	0,56	0,62	0,69
Densidade aparente (kg dm ⁻³) ⁽³⁾	0,92	0,94	0,93	0,91	0,90

(1) Método de Walkley e Black (JACKSON, 1958).

(2) Método da pipeta (EMBRAPA, 1979).

(3) Método da proveta (EMBRAPA, 1979).

As colunas contendo os agregados foram fixadas verticalmente numa estrutura apropriada, onde foram submetidas a duas horas de vácuo e a seguir, lentamente, de baixo para cima, saturadas com uma solução de CaCl₂ 0,005 mol L⁻¹, usando-se um conjunto de alimentação automático (frasco de Mariotte). Terminada a saturação, o sistema de alimentação foi acondicionado na extremidade superior da coluna, deixando-se percolar a solução de CaCl₂ até obtenção de velocidade constante na eluição, uniformizada e próxima daquela das colunas com agregados de menor tamanho. Posteriormente, aplicou-se um pulso de sete volumes de poros de (NH₄)₂SO₄ ou NH₄Cl ou NH₄NO₃ à 0,01 mol L⁻¹ de NH₄⁺ (C₀), para cada classe de agregados, quando o nível da solução de CaCl₂ desceu até a extremidade da coluna de agregados. Foram coletadas frações correspondentes a 0,3 volume de poros do efluente (p). Determinou-se nas soluções efluentes as concentrações de NH₄⁺ (C) (ALVES et al., 1993). Com o valor de C, calculou-se a relação C/C₀ para cada fração p, traçando-se curvas experimentais de eluição. O volume de poros de cada coluna foi determinado com base na massa dos agregados secos e empacotados, conforme método da proveta para densidade do solo (EMBRAPA, 1979), e no volume da amostra (2,0 cm de diâmetro x 20,0 cm). Para caracterizar o transporte de amônio nos agregados utilizou-se um modelo que considera a predominância da dispersão e um modelo que considera a transferência de soluto por difusão e dispersão (KIRKHAM e POWERS, 1972) descritos a seguir:

(a) modelo que considera a predominância da dispersão (modelo 1):

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left[\frac{R - p}{2 \left[ERp / (vL)^{1/2} \right]} \right] \right\} \quad (\text{Eq. 1})$$

(b) modelo que considera a transferência de soluto por difusão e por fluxo de massa (modelo 2):

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \left\{ \operatorname{erfc} \left[\frac{R - p}{2(DRp/vL)^{1/2}} \right] + e^{vL/D} \operatorname{erfc} \left[\frac{R + p}{2(DRp/vL)^{1/2}} \right] \right\} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que C = concentração do soluto (g cm⁻³); C₀ = concentração do soluto no fluido deslocador (g cm⁻³); erf = função erro; p = número de volume de poros (adimensional); E =

coeficiente de dispersão calculado pela fórmula: $E = \frac{vL}{4pS^2}$; S_2 = declividade da curva experimental a um volume de poros ($p = 1$); v = velocidade de avanço (cm s⁻¹); L = comprimento da coluna de solo (cm); erfc = função erro complementar; D = coeficiente de difusão (cm² S⁻¹) obtido pela expressão: $D = vL/(4pS_2)$. Como o material de solo utilizado adsorve amônio incluiu-se o fator de retardamento (R), nos modelos teóricos. Esse fator foi estimado ajustando-se equações de regressão aos dados experimentais e verificando o valor p que permite $C/C_0 = 0,5$ (van GENUCHTEN e WIERENGA, 1986). A seguir foi feita a modelagem dos dados experimentais obtendo-se curvas teóricas de eluição. Com os valores dos fatores de retardamento realizou-se a análise de variância seguida teste de contrastes entre as fontes de NH_4^+ . Foram calculados a velocidade de avanço das soluções eluídas nas colunas, as declividades das curvas de eluição experimentais para $C/C_0 = 0,5$, o fator de retardamento e o coeficiente dispersivo-difusivo (Tabela 2). Pelos resultados dos contrastes não houve diferença entre as fontes de NH_4^+ , que apresentaram fatores de retardamento sem diferença estatística ($P > 0,05$). Na maioria dos tratamentos que tiveram como fonte de amônio o nitrato de amônio houve uma superposição das curvas obtidas por meio dos modelos teóricos (Figura 1). Isto ocorreu para as demais fontes de NH_4^+ de forma semelhante (dados não mostrados) o que indicou que o transporte do amônio no solo foi predominantemente por dispersão. A diferença entre os modelos 1 e 2 está relacionada ao efeito da difusão (Eq. 1 e 2), conseqüentemente, como houve justaposição das curvas este fenômeno foi insignificante. A predominância da dispersão no transporte do amônio era esperada, no entanto, esperava-se também alguma contribuição da difusão nos agregados maiores, de forma a explicar o movimento do cátion da superfície dos agregados para o interior, assim como já foi observado para o nitrato por van GENUCHTEN e WIERENGA em 1986. Os resultados obtidos confirmam o trabalho de ANTONOPOULOS (1993) que validou um modelo baseado no método de elementos finitos, em que se considerou o transporte de amônio por dispersão, a nitrificação e a desnitrificação; concluindo que o transporte do amônio no solo foi predominantemente por dispersão. Seu modelo foi validado para diferentes solos sob regime de inundação permanente. Entretanto, resultados contrastantes são encontrados na literatura quanto a predominância do fluxo de massa no transporte de amônio. TEO et al. (1994) em experimento de campo realizado em Stuttgart, Arkansas (E.U.A.), em condições inundadas para cultivo de arroz, determinaram a importância relativa do fluxo de massa e da difusão no movimento de macronutrientes até as raízes do arroz. Eles concluíram que a difusão foi o fator dominante que controlou a disponibilidade de NH_4^+ , P , e K nos solos estudados, sob regime de inundação. Observando as curvas de eluição (Figura 1) nota-se que na fase inicial de eluição (até aproximadamente 2,5 volumes de poros) houve um maior retardamento do NH_4^+ , certamente pela maior taxa de adsorção, neste momento em que os sítios de adsorção ainda não estavam saturados por este cátion. Nestas condições, em praticamente todas as classes de agregados e soluções de eluição avaliadas, os modelos teóricos tenderam a superestimar os valores de C/C_0 , enquanto, a partir deste valor houve uma subestimação da relação C/C_0 . ARAÚJO (1997) também observou que estes mesmos modelos teóricos superestimaram os valores de C/C_0 para agregados de LVE eluído com solução de KH_2PO_4 , não sendo verificado, entretanto, nenhuma região em que os modelos teóricos subestimaram os valores de C/C_0 .

LITERATURA CITADA

ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. S. A rapid and sensitive flow injection

- technique for the analysis of ammonium in soil extracts. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 24:277-284, 1993.
- ANTONOPOULOS, V. Z. Simulation of water and nitrogen dynamics in soils during waste water applications by using a finite-element model. *Water Resources Management*, 7 :237-251, 1993.
- ARAÚJO, C. A. S. *Movimento de fósforo e de macronutrientes catiônicos em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro*. Viçosa, UFV, 1997. 124p. (Tese de Doutorado).
- BIGGAR, J. W.; NIELSEN, D. R. Miscible displacement and leaching phenomenon. In: HAGAN, R. M.; HAISE, H. R. e EDMINSTER, T. W. (eds.), *Irrigation of agricultural lands*, Madison, American Society of Agronomy, 1967. p.254-274.
- COELHO, A. M. Fertirrigação. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F. e VIANA, P. A. eds. *Quimigação - aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação*. Brasília, EMBRAPA – SPI, 1994. 315 p.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. s.n.p.
- JACKSON, M. L. Organic matter determination for soil. In: JACKSON, M. L. ed. *Soil chemical analysis*, New Jersey, Pretece-Hal, 1958. p. 205-226.
- KIRKHAM, D.; POWERS, W. L. *Advanced soil physics*. New York, John Willey-Interscience, 1972. 534p.
- SANTOS, C. R. *Movimento vertical de nitrato, amônio, cloreto e potássio em colunas de solo irrigado*. Viçosa, UFV, 1986. 66p. (Tese Mestrado)
- SVEDA, R.; REHCIGL, J. E.; NKEDI-KIZZA, P. Evaluation of various nitrogen sources and rates on nitrogen movement, Pensacola bahiagrass production, and water quality. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 23:17-20, 1992.
- TEO, Y. H.; BEYROUTY, C. A.; NORMAN, R. J.; GBUR, E. E. Nutrient supplying capacity of a paddy rice soil. *J. Plant Nutr.*, 17:1983-2000, 1994.
- van GENUCHTEN, M. Th.; WIERENGA, P. J. Solute dispersion: coeficientes and retardation factors. In: KLUTE, A., ed., *Methods of soil analysis*. Madison; ASA, SSSA. 1986. p. 1025-1031.

Tabela 2 - Velocidade de avanço (v), declividade da curva de eluição experimental para C/Co = 0,5 (S), fator de retardamento (R) e coeficiente dispersivo-difusivo (D), para amônio fornecido com diferentes ânions acompanhantes nas diferentes classes de agregados

Agregados mm	v cm h ⁻¹	S ⁽¹⁾	R ⁽¹⁾	D cm ² h ⁻¹
Sulfato de amônio.				
2,0 - 1,0	3,44	0,36	2,48	42,27
1,0 - 0,5	3,50	0,35	2,86	45,50
0,5 - 0,25	3,52	0,31	3,35	58,33
0,25 - 0,105	3,48	0,33	3,19	50,89
< 0,105	3,31	0,30	2,90	58,56
Cloreto de amônio				
2,0 - 1,0	3,72	0,34	2,38	51,24
1,0 - 0,5	3,36	0,47	2,57	24,22
0,5 - 0,25	3,48	0,42	2,77	31,41
0,25 - 0,105	3,79	0,32	3,06	58,94
< 0,105	2,85	0,32	2,85	57,69
Nitrato de amônio				
2,0 - 1,0	3,52	0,35	2,61	45,76
1,0 - 0,5	4,41	0,40	2,25	43,89
0,5 - 0,25	3,71	0,38	2,97	40,91
0,25 - 0,105	3,84	0,41	2,77	36,38
< 0,105	2,99	0,33	2,98	43,72

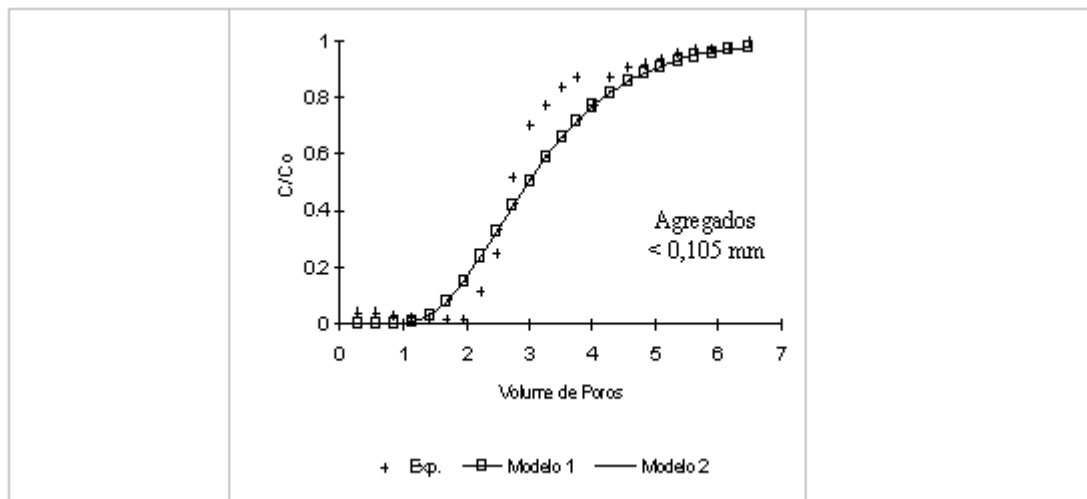
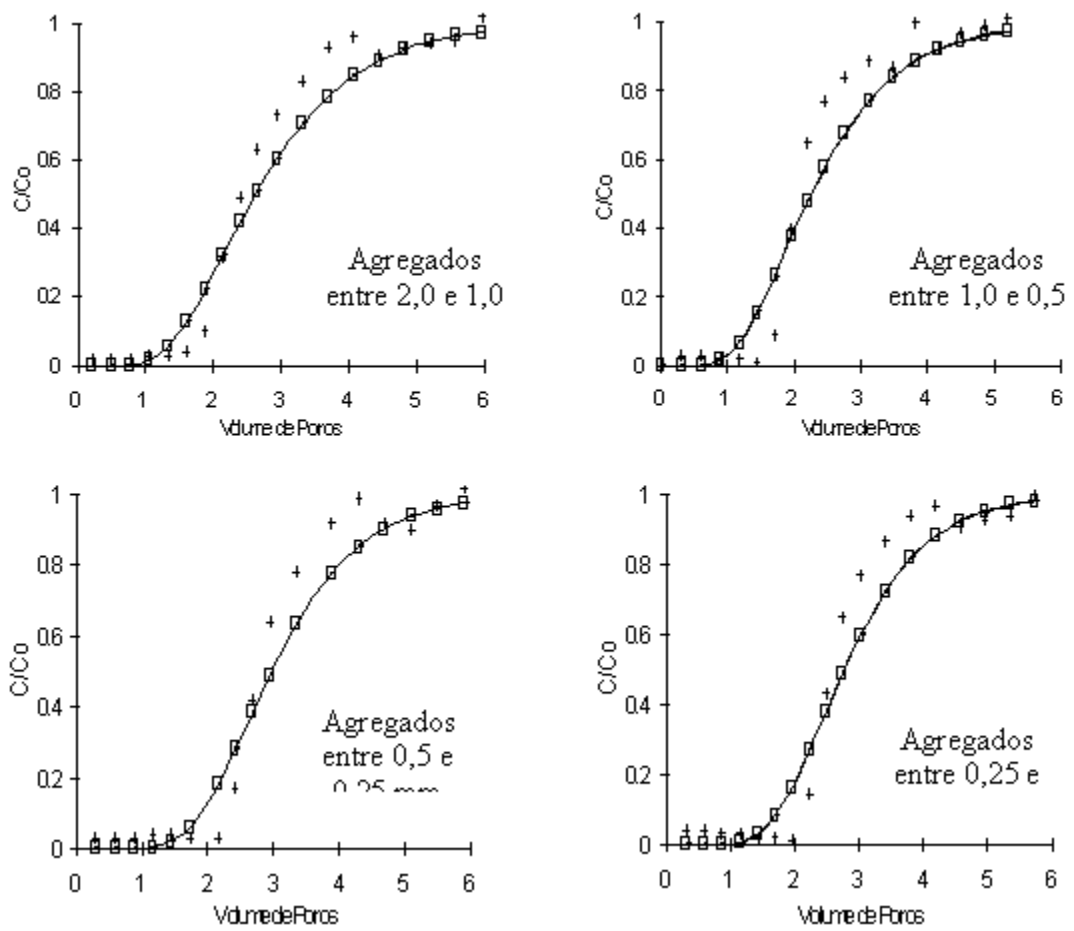


FIGURA 1 - Curvas de eluição para amônio, experimentais (Exp.) e calculadas pelos modelos 1 e 2, para cada classe de agregados, tendo como fonte de amônio o nitrato de amônio.