

ELUIÇÃO DE MAGNÉSIO, CÁLCIO E POTÁSSIO DE ACORDO COM O TEMPO DE DIFUSÃO EM COLUNAS COM AGREGADOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO TÍPICO⁽¹⁾

C. A. S. ARAÚJO⁽²⁾, H. A. RUIZ⁽³⁾, D. J. SILVA⁽⁴⁾, P. A. FERREIRA⁽⁵⁾,
V. H. ALVAREZ V.⁽³⁾ & A. F. C. BAHIA FILHO⁽⁶⁾

RESUMO

O transporte de nutrientes até às raízes é essencialmente efetuado por fluxo de massa e difusão. À medida que os nutrientes presentes na solução móvel ou de interagregados vão-se exaurindo, eles se movimentam por difusão do interior para a superfície dos agregados. Com o objetivo de determinar a quantidade de Mg, Ca e K no efluente de colunas com agregados de um Latossolo Vermelho distrófico típico, em resposta ao tempo de difusão, realizou-se um experimento utilizando água destilada como eluente. Os tratamentos corresponderam a um arranjo fatorial 4 x 5, sendo quatro classes de agregados (2,0-1,0; 1,0-0,5; 0,5-0,25; e 0,25-0,105 mm) e cinco tempos de difusão (0, 1, 2, 4 e 6 dias). As colunas receberam um volume de água destilada igual a 10 vezes o seu volume de poros, recolhendo-se cinco frações de dois volumes de poros de efluente nos intervalos indicados para cada tempo de difusão. Os agregados menores liberaram mais Mg, Ca e K para a solução nos espaços interagregados que os maiores. A quantidade de Mg, Ca e K eluída aumentou com o tempo de difusão, a partir da segunda fração analisada.

Termos de indexação: transporte de nutrientes, lixiviação, Oxissolos.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor junto à Universidade Federal de Viçosa – UFV. Recebido para publicação em abril de 2002 e aprovado em fevereiro de 2003.

⁽²⁾ Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Petrolina – CEFET. CEP 56314-520 Petrolina (PE). E-mail: casa@cefetpet.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36571-000 Viçosa (MG). Bolsista do CNPq. E-mail: hruiz@mail.ufv.br; vhav@mail.ufv.br

⁽⁴⁾ Pesquisador da Embrapa Semi-Árido. CEP 56300-970 Petrolina (PE). E-mail: davi@cpatsa.embrapa.br

⁽⁵⁾ Professor do Departamento de Engenharia Agrícola, UFV. Bolsista do CNPq. E-mail: pafonso@mail.ufv.br

⁽⁶⁾ Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo. CEP 35701-970 Sete Lagoas (MG). E-mail: bahia@cnpmc.embrapa.br

SUMMARY: *MAGNESIUM, CALCIUM AND POTASSIUM IN SOLUTION LEACHED FROM COLUMNS WITH AGGREGATES OF A BRAZILIAN RODHIC HAPLUSTOX IN RELATION TO DIFFUSION TIME*

Nutrient transport to roots is basically performed by mass flow and diffusion. As the nutrients in the mobile solution (inter-aggregate solution) are depleted, they move by diffusion from the interior to the aggregate surface. This study quantified Mg, Ca, and K in effluents from aggregates of a Brazilian Rodhic Haplustox, in relation to diffusion time, using distilled water as eluate. Treatments were established in a 4 x 5 factorial scheme: four aggregate classes (2.0-1.0, 1.0-0.5, 0.5-0.25, and 0.25-0.105 mm) and five diffusion times (0, 1, 2, 4, and 6 days). The columns that corresponded to zero day received an eluate volume equal to ten times the pore volume, collected in five effluent fractions, each one with two pore-volumes. In the remaining experimental units, elutions were accomplished with two pore-volumes at intervals indicated for each diffusion time. Smaller aggregates released more Mg, Ca, and K to the inter-aggregate solution than larger ones. Eluted cation quantities increased with diffusion time, as from the second analyzed fraction.

Index terms: solute nutrient, leachate, Latosols.

INTRODUÇÃO

Os processos de intemperismo levam à formação de solos com baixa disponibilidade de nutrientes, dentre os quais se destacam os macronutrientes catiônicos. Esses processos provocam, também, a redução da capacidade de troca catiônica e, nos Latossolos, a formação de uma estrutura microgranular.

A solução que se movimenta no perfil dos Latossolos, dependendo da sua localização nos espaços inter ou intra-agregados, apresenta diferentes velocidades de avanço, sendo denominada solução *móvel* ou *imóvel*, respectivamente (van Genuchten & Wierenga, 1976; Rao et al., 1980).

A absorção de nutrientes pelas plantas exige seu transporte até à superfície radicular, com destaque para os mecanismos de fluxo de massa e difusão (Fried & Shapiro, 1961). A quantificação da contribuição do fluxo de massa e da difusão no suprimento de nutrientes revela que as quantidades de Ca e de Mg transportadas por fluxo de massa excedem as exigências das plantas. Já o K é transportado predominantemente por difusão (Barber, 1974; Ruiz, 1986).

Ruiz et al. (1999), no entanto, ao corrigirem a acidez do solo com K₂CO₃, verificaram que o fluxo de massa supriu as exigências das plantas de arroz em K. O mecanismo predominante no transporte de um nutriente é determinado pela sua atividade na solução que se desloca, em direção às raízes, em resposta a uma diferença de potencial. Quando a quantidade do nutriente transportada até às raízes iguala ou excede a absorvida, o fluxo de massa é o único mecanismo presente. Nesse caso, o excesso de nutriente acumula-se na rizosfera (Barber, 1974).

A difusão torna-se importante, quando a concentração do nutriente junto às raízes é muito baixa (Barber, 1962).

Nos Latossolos, o movimento de macronutrientes catiônicos em direção às raízes abrange duas etapas. Na primeira, o transporte do interior até à superfície do agregado ocorre por difusão na solução imóvel. Na segunda, da superfície dos agregados até às raízes, o deslocamento na solução móvel é realizado, necessariamente, por fluxo de massa. Quando a exigência nutricional da planta excede a quantidade transportada por fluxo de massa, a difusão é o mecanismo complementar que pode até superar em importância o fluxo de massa, como observado para o K por Ruiz et al. (1999).

O objetivo deste trabalho foi determinar a quantidade de Mg, Ca e K no efluente de diferentes classes de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico típico, cultivado com milho por mais de 20 anos, em relação ao tempo de difusão, por meio de um experimento em colunas, com utilização de água destilada como eluente, visando estimar o movimento desses cátions no interior dos agregados.

MATERIAL E MÉTODOS

No experimento realizado em laboratório com colunas de percolação, utilizaram-se quatro classes de agregados de um Latossolo Vermelho distrófico típico, cultivado com milho por mais de vinte anos. As amostras de solo foram coletadas de quatro locais de amostragem diferentes, na área localizada no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Embrapa, município de Sete Lagoas, estado de

Minas Gerais, na camada de 0-5 cm. Em cada bloco experimental, utilizou-se material de um local de amostragem.

Após separação por via seca, os agregados nas classes de 2,0 a 1,0, de 1,0 a 0,5, de 0,5 a 0,25 e de 0,25 a 0,105 mm foram caracterizados física e quimicamente (Quadro 1). A mineralogia da fração argila foi determinada por meio de amostras orientadas (Whitting, 1965). Não houve variação mineralógica qualitativa entre as classes de agregados, constituídas de caulinita, goethita, hematita, gibbsita e ilita.

No ensaio, foi utilizada água destilada como eluente. Os tratamentos corresponderam a um arranjo fatorial 4 x 5, constituído pelas quatro classes de agregados mencionadas e cinco diferentes tempos de difusão (0, 1, 2, 4 e 6 dias), contados a partir do término da saturação das colunas, dispostos em um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. As eluições nas colunas de solo foram feitas, por cinco vezes, em intervalos de tempo iguais aos estabelecidos para a ocorrência da difusão.

A unidade experimental foi constituída de um cilindro de vidro de 2 cm de diâmetro interno e 30 cm de comprimento, cuja extremidade inferior, afunilada, foi preenchida com lã de vidro, para evitar perda de material de solo. Uma mangueira plástica, munida de um regulador de vazão, semelhante àquele de sorro hospitalar, foi introduzida na extremidade afunilada, a fim de proporcionar o controle da velocidade média de escoamento nas colunas com os agregados maiores e, assim, deixá-la próxima àquela da coluna preenchida com os agregados de menor tamanho. A velocidade de escoamento nas colunas foi mantida aproximadamente constante durante as cinco eluições.

Essas colunas foram preenchidas com agregados até os 5 cm da borda superior, e os materiais foram cobertos com lã de vidro, para evitar o impacto direto do eluente sobre os agregados. A seguir, as colunas foram fixadas verticalmente e saturadas com água destilada no sentido ascendente, para diminuir ao máximo a presença de ar nos poros, usando-se um conjunto de alimentação automático (frasco de Mariotte). Posteriormente, o sistema de alimentação foi interligado à extremidade superior da coluna, possibilitando o início do movimento vertical descendente, em meio saturado.

As unidades experimentais correspondentes ao tempo de difusão zero receberam, de uma só vez, todo o volume de eluente correspondente a dez volumes de poros do material da coluna. O efluente foi coletado continuamente em cinco frações de dois volumes de poros. O volume de poros do solo na coluna foi estimado empregando $V_p = \pi r^2 h (1 - D_s/D_p)$, em que r é o raio interno da coluna, h a altura do solo na coluna, D_s a densidade do solo determinada pelo método da proveta e D_p a densidade das partículas (EMBRAPA, 1979).

Nas colunas restantes, após decorrido o tempo de difusão estabelecido para cada tratamento (1, 2, 4 e 6 dias), foram realizadas eluições totalizando dois volumes de poros de efluente, numa única amostra. Este procedimento foi repetido, nos intervalos correspondentes a cada tratamento, até totalizar cinco eluições e volume total de efluente igual a 10 volumes de poros.

Cada fração de dois volumes de poros de efluente foi acondicionada em recipiente plástico, com tampa de pressão, e congelada. Ao final do ensaio, determinou-se a concentração de Mg e Ca no efluente, por espectrofotometria de absorção atômica

Quadro 1. Caracterização química e física dos agregados do Latossolo Vermelho distrófico típico, antes da realização do ensaio

Característica	Classe de agregados (mm)			
	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,105
pH em água (1:2,5)	5,2	5,1	5,1	5,0
Complexo sortivo (cmol _c dm ⁻³)				
Mg ²⁺ (1)	0,20	0,25	0,28	0,25
Ca ²⁺ (1)	0,72	0,75	0,85	0,90
K ⁺ (2)	0,19	0,21	0,21	0,21
Al ³⁺ (1)	1,22	1,28	1,50	1,50
H + Al (3)	8,18	8,62	9,75	10,05
Carbono orgânico (dag kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	2,5	2,8	3,2	3,3
Análise granulométrica (%)				
Areia	31	25	17	14
Silte (5)	16	20	27	24
Argila (5)	53	55	56	62

⁽¹⁾ Extrator KCl 1 mol L⁻¹ (Vettori, 1969). ⁽²⁾ Extrator Mehlich-1 (Vettori, 1969). ⁽³⁾ Extrator acetato de cálcio (Vettori, 1969). ⁽⁴⁾ Método de Walkley & Black (Jackson, 1958). ⁽⁵⁾ Método da pipeta (EMBRAPA, 1979).

e a de K, por fotometria de chama. Considerando a concentração desses cátions e o volume lixiviado, calculou-se a quantidade retirada por fração de efluente.

Após a última eluição, os agregados de cada coluna foram secos ao ar e desagregados em almofariz. Nesse material, foram determinados o Mg e Ca trocáveis, após extração com KCl 1 mol L⁻¹ e o K disponível, utilizando-se o extrator Mehlich-1.

Os resultados foram analisados estatisticamente, desdobrando-se os graus de liberdade referentes às classes de agregados, em contrastes ortogonais. A resposta ao tempo de difusão, dentro de cada classe de agregado, foi analisada por regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas duas primeiras lixiviações, o eluente retirou menos Mg dos agregados maiores (2,0-1,0 mm), como

evidenciado pelos valores dos contrastes que comparam esses agregados com os das outras classes (Quadro 2). Esse comportamento não se repetiu nas três lixiviações posteriores, pela diminuição acentuada nas quantidades de Mg eluídas. Observa-se, em consequência, que a quantidade total de Mg no lixiviado é muito afetada pelas lixiviações iniciais.

Considerando o tempo de difusão, houve uma resposta diferenciada entre a lixiviação inicial e as restantes (Figura 1). A primeira apresentou uma tendência à diminuição da quantidade de Mg e, as subseqüentes, um marcante incremento com o tempo de difusão. Entende-se que, na lixiviação inicial, o eluente retirou dos agregados o Mg localizado próximo à superfície externa, certamente em maior concentração, num solo com histórico de correções da acidez e adubações repetidas ao longo de mais de 20 anos em que foi cultivado com milho. O decréscimo da concentração com o tempo mostra a possibilidade de re-difusão para o interior dos agregados em resposta ao gradiente de concentração.

Quadro 2. Quantidade de Mg, Ca e K no efluente após lixiviações com dois volumes de poros (L₁, L₂, L₃, L₄ e L₅) e quantidade total de Mg, Ca e K no efluente (Total = L₁ + L₂ + L₃ + L₄ + L₅ = 10 volumes de poros), para as diferentes classes de agregados (médias dos valores dos cinco tempos de difusão)⁽¹⁾

Codificação	Classe de agregados						Total
		L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	
	mm	µg					
		Mg					
A ₁	2,0-1,0	36	16	14	15	15	96
A ₂	1,0-0,5	48	23	17	14	14	116
A ₃	0,5-0,25	65	22	18	14	14	133
A ₄	0,25-0,105	82	28	21	18	20	169
		Contrastes ortogonais					
3A ₁ - A ₂ - A ₃ - A ₄		-87**	-25**	-14	-1	-3	-130**
2A ₂ - A ₃ - A ₄		-51**	-4	-5	-4	-6	-70*
A ₃ - A ₄		-17*	-6	-3	-4	-6	-36*
		Ca					
A ₁	2,0-1,0	104	34	25	28	37	228
A ₂	1,0-0,5	131	71	43	36	36	317
A ₃	0,5-0,25	202	51	34	34	38	359
A ₄	0,25-0,105	241	63	68	43	57	472
		Contrastes ortogonais					
3A ₁ - A ₂ - A ₃ - A ₄		-262**	-83	-70	-29	-20	-464**
2A ₂ - A ₃ - A ₄		-181**	28	-16	-5	-23	-197
A ₃ - A ₄		-39	-12	-34*	-9	-19	-113 ^o
		K					
A ₁	2,0-1,0	879	584	366	321	272	2.422
A ₂	1,0-0,5	934	642	365	315	259	2.515
A ₃	0,5-0,25	1.000	638	432	354	285	2.709
A ₄	0,25-0,105	1.015	728	460	391	344	2.938
		Contrastes ortogonais					
3A ₁ - A ₂ - A ₃ - A ₄		-312*	-256**	-159**	-97*	-72	-896**
2A ₂ - A ₃ - A ₄		-147	-82	-162**	-115**	-111**	-617**
A ₃ - A ₄		-15	-90	-28	-37	-59	-229**

⁽¹⁾ Valores subscritos, de 1 até 5, indicam a seqüência de lixiviações, da primeira até à quinta, respectivamente. * e **: Significativos a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

O histórico da área, com correção do solo por mais de 20 anos, leva a considerar a presença de maior teor de nutrientes na superfície, frente ao teor no interior dos agregados, criando o gradiente apontado. O fato de as colunas permanecerem saturadas durante os períodos mencionados favoreceu essa difusão e readsorção.

A maior solubilização de Mg na lixiviação inicial, fundamentalmente da superfície dos agregados, possibilitou a dissolução, nas lixiviações posteriores, do nutriente localizado no interior dos agregados.

Observa-se que as quantidades eluídas aumentaram com o tempo de difusão (Figura 1). A importância do transporte intra-agregado para disponibilizar o Mg às plantas é reforçada pela progressiva diminuição da quantidade eluída no tempo de difusão zero, com o decorrer das lixiviações. Os agregados de menor tamanho (0,25-0,105 mm) sofreram maiores eluições. Nesses materiais, mais argilosos e com maior capacidade de troca catiônica, a maior interação íon-colóide seria compensada pela menor distância por percorrer, até atingir a solução móvel.

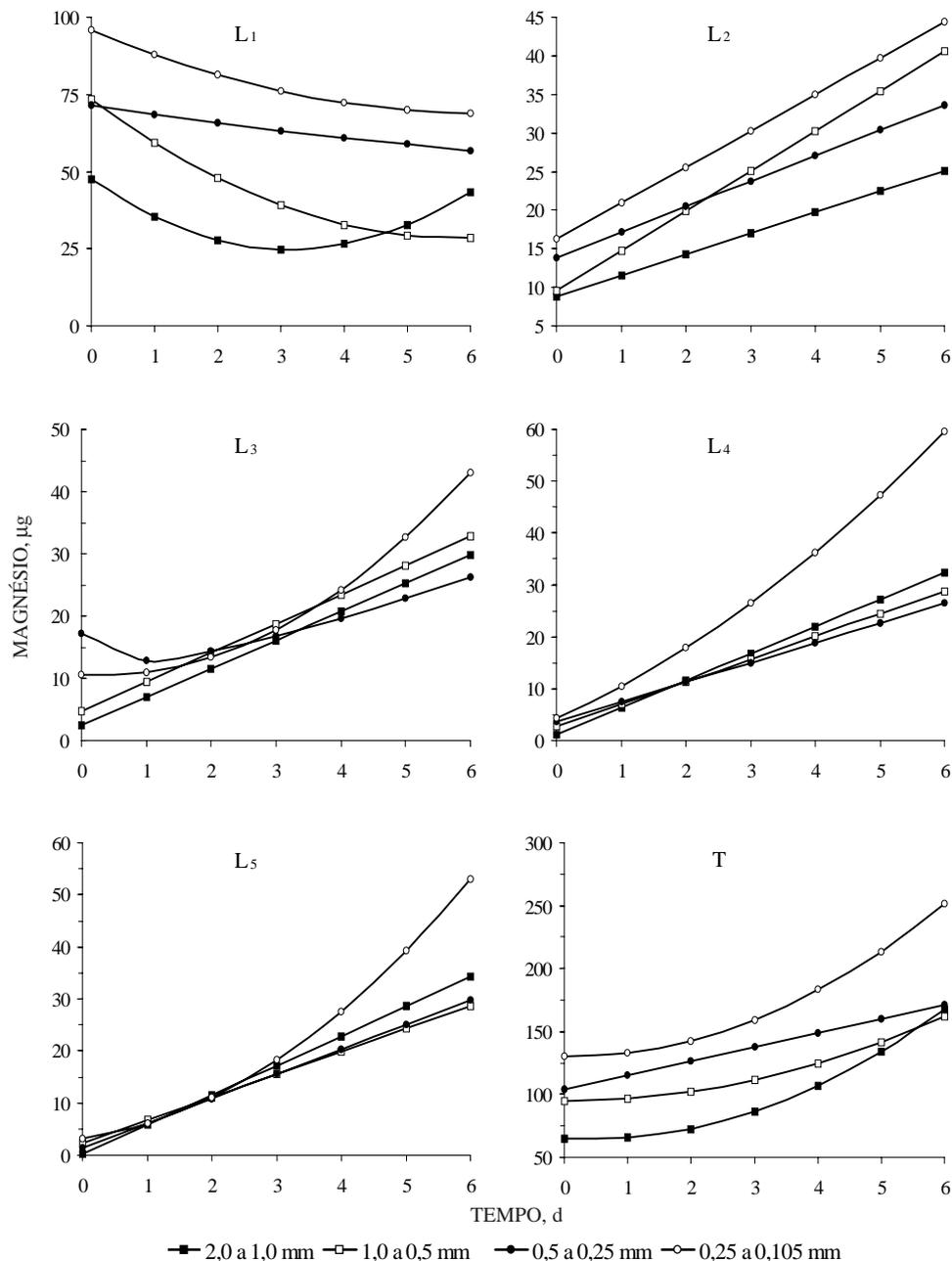


Figura 1. Quantidade de Mg no efluente após lixiviações com dois volumes de poros (L_i) e quantidade total de Mg ($T = \sum L_i$), em relação ao tempo de difusão, para as diferentes classes de agregados.

O comportamento dos outros macronutrientes catiônicos foi semelhante ao do Mg, especialmente no que diz respeito ao Ca (Figura 2). O K apresentou maior diferenciação entre as classes de agregados, com maiores quantidades eluídas nos agregados de menor tamanho. Esses resultados estão em conformidade com os obtidos por Horn & Taubner (1989), em agregados de um Vertissolo-câmbico. Considerando o tempo de difusão, a partir da segunda lixiviação, a quantidade eluída no tempo de difusão zero foi apreciavelmente inferior às eluídas nos outros intervalos (Figura 3).

O quadro 3 apresenta quantidades médias dos macronutrientes catiônicos no efluente, após cada lixiviação. Esses valores foram calculados determinando-se a média, para as quatro classes de agregados, das quantidades apresentadas no quadro 2. Posteriormente, transformaram-se essas médias de μg para μmol_c a fim de permitir a comparação entre os três cátions lixiviados.

A quantidade total de K lixiviada correspondeu a 3,94 vezes àquela do Ca (Quadro 3). Contudo, o teor inicial de K trocável, em média, foi 3,93 vezes menor que o do Ca (Quadro 1). A maior quantidade

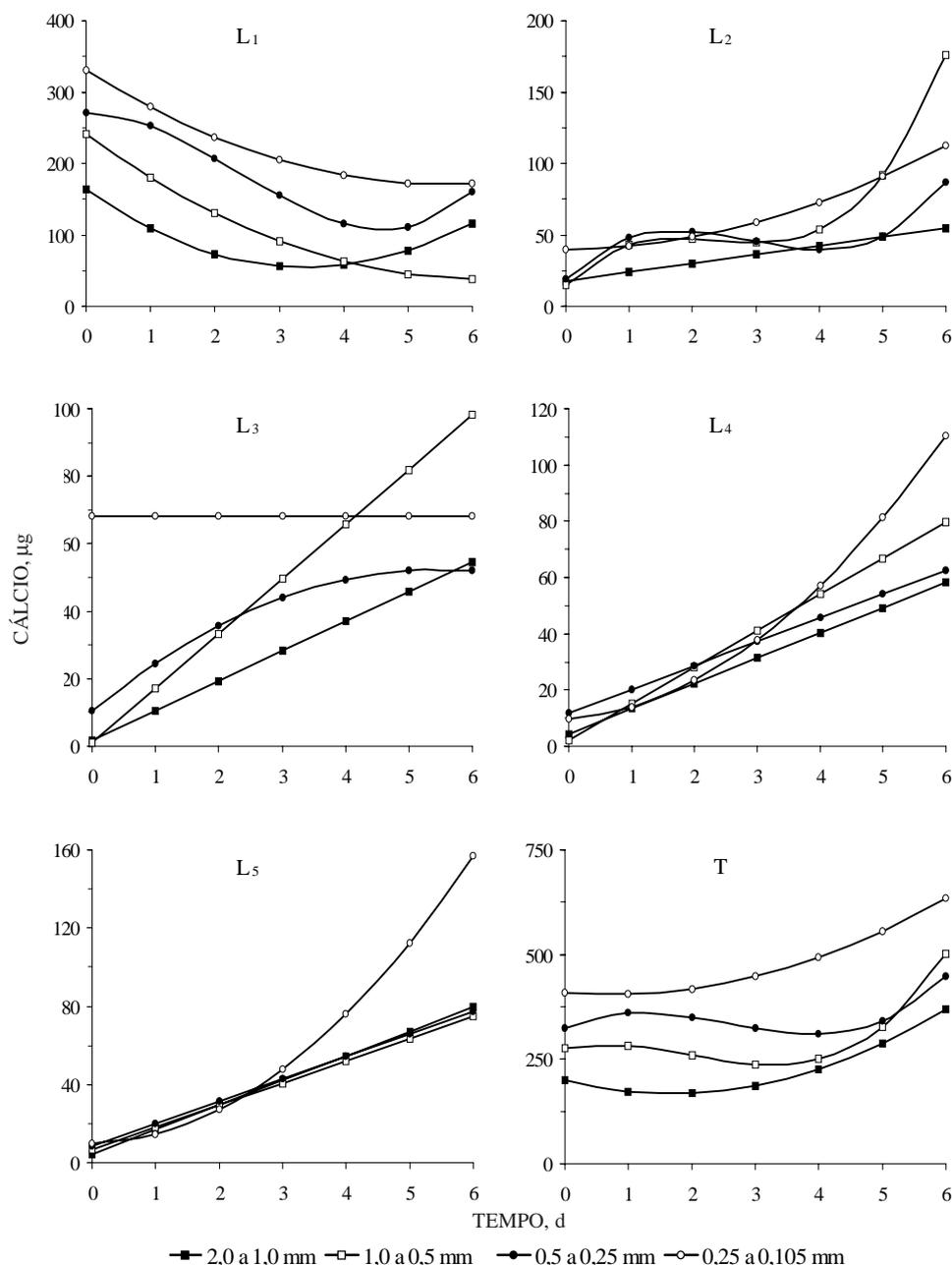


Figura 2. Quantidade de Ca no efluente após lixiviações com dois volumes de poros (L_i) e quantidade total de Ca ($T = \sum L_i$), em relação ao tempo de difusão, para as diferentes classes de agregados.

de K transportada na solução imóvel, até à superfície dos agregados, pode ser atribuída à menor atração íon:colóides e ao maior coeficiente de difusão do K com relação ao Ca (0,56 e 2,5, respectivamente), como sugerido por Ruiz (1986). Esse autor considerou também que o Mg teria comportamento intermediário, em relação aos dois elementos apontados.

Neste trabalho, a eluição de Mg correspondeu a 0,64 vez a do Ca (Quadro 3) e a disponibilidade média a 0,30 (Quadro 1). Determinando a relação eluição/disponibilidade para o Mg frente ao Ca, o índice calculado, de 2,13, confirma essa consideração.

Os teores de Mg, Ca e K nas amostras de solo no final do ensaio diminuíram com as lixiviações, frente aos teores iniciais (Quadros 1 e 4). Não obstante, não houve, em geral, diferenças entre classes de agregados, pois eventuais contrastes significativos não permitiram evidenciar uma tendência definida. Em relação ao tempo de difusão, a resposta foi também pouco acentuada.

A análise dos dados referentes às quantidades de K e Ca desorvidas (Quadro 3) e a relação entre o teor final e inicial desses nutrientes (Quadro 4) evidenciam a possibilidade de remoção de K não-trocável

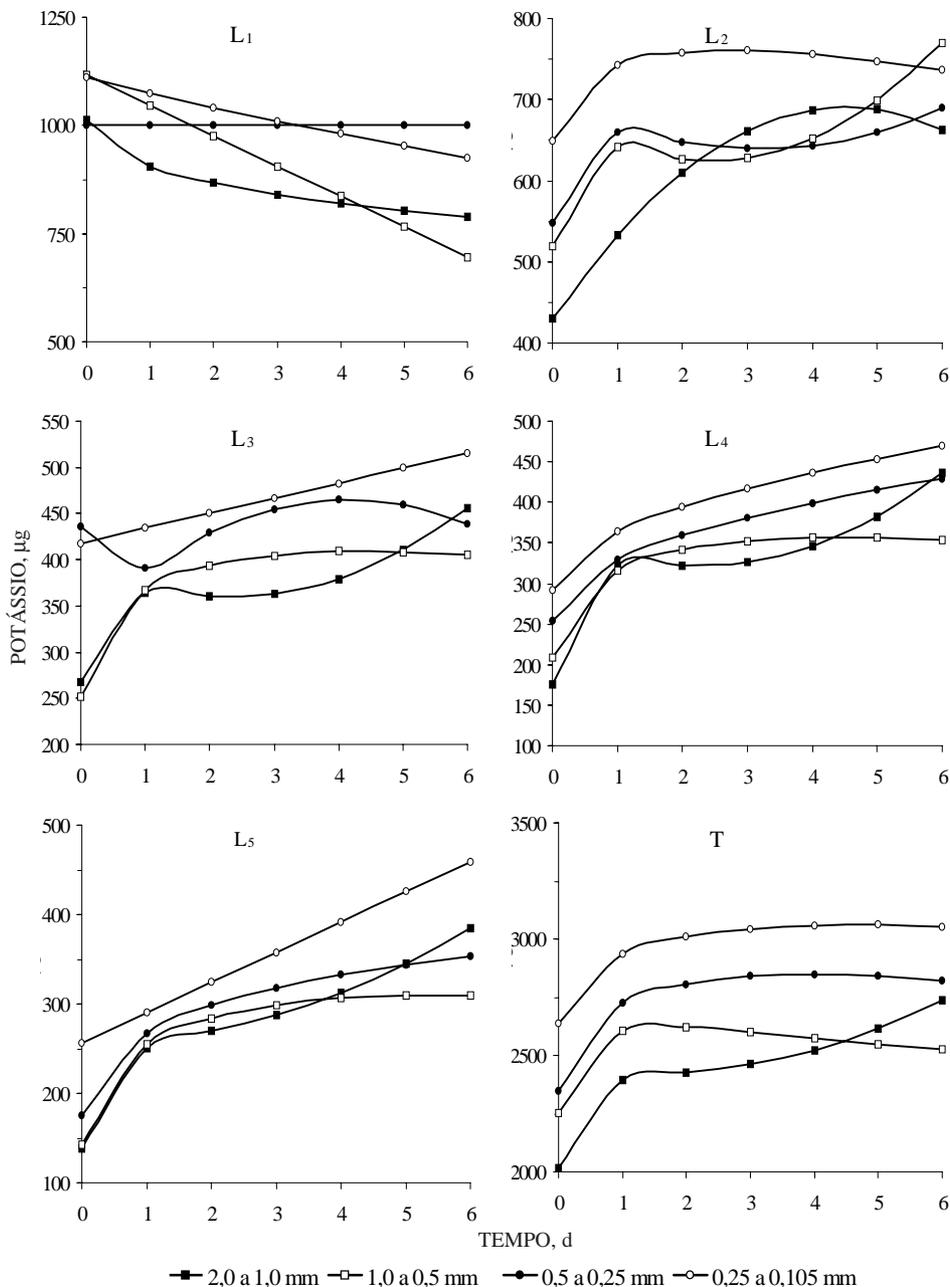


Figura 3. Quantidade de K no efluente após lixiviações com dois volumes de poros (L_i) e quantidade total de K ($T = \sum L_i$), em relação ao tempo de difusão, para as diferentes classes de agregados.

Quadro 3. Quantidade de Mg, Ca e K no efluente após lixiviações com dois volumes de poros (L_i) e quantidade total de Mg, Ca e K no efluente ($T = \sum L_i$) (médias dos valores das quatro classes de agregados e dos cinco tempos de difusão)

Cátion	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	T
	————— μmol_c —————					
Mg	4,81	1,85	1,46	1,27	1,31	10,70
Ca	8,47	2,74	2,13	1,76	2,10	17,20
K	24,54	16,62	10,40	8,85	7,44	67,85

Quadro 4. Teor de Mg, Ca e K nos materiais desagregados no final do ensaio (médias dos valores dos cinco tempos de difusão) e relação entre os teores antes e depois do ensaio, para as diferentes classes de agregados

Cátion	Classe de agregados (mm)				
	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,105	Média
	Teor no final do ensaio, $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$				
Mg	0,154	0,152	0,165	0,151	0,156
Ca	0,613	0,587	0,620	0,594	0,604
K	0,186	0,182	0,196	0,189	0,188
	Relação teor final / Teor inicial				
Mg	0,770	0,608	0,589	0,604	0,637
Ca	0,851	0,783	0,729	0,660	0,750
K	0,979	0,867	0,993	0,900	0,917

nesses materiais. Como previamente indicado, a quantidade total de K lixiviada correspondeu a 3,94 vezes àquela do Ca (Quadro 3), sendo sua disponibilidade média inicial 3,93 vezes menor (Quadro 1). Comparando o teor final de K e Ca em relação ao inicial (Quadro 4), o valor para o K deveria ser menor que o correspondente ao Ca. Entretanto, a relação final/inicial do K foi de 0,917 e a do Ca de 0,750, em média, para os agregados. Como na caracterização mineralógica foi registrada a presença de illita, esse argilomineral deve ter contribuído também para a eluição de K.

CONCLUSÕES

1. Os agregados menores liberaram mais Mg, Ca e K para a solução interagregados que os maiores, comportamento atribuído, fundamentalmente, à menor distância por percorrer até atingir a solução móvel.

2. A quantidade de Mg, Ca e K eluída na primeira lixiviação foi sensivelmente superior à das

subseqüentes, em resposta às fertilizações continuadas, nas quais ocorre maior teor de nutrientes na superfície dos agregados.

3. A quantidade de Mg, Ca e K eluída diminuiu com o tempo de difusão na lixiviação inicial e apresentou comportamento oposto a partir da segunda lixiviação. No primeiro caso, acredita-se na possibilidade de re-difusão para o interior dos agregados, em decorrência do gradiente de concentração que direciona o transporte para o interior do agregado. Nas lixiviações subseqüentes, a resposta indica o transporte intra-agregado do interior à superfície.

LITERATURA CITADA

- BARBER, S.A. A diffusion and mass-flow concept of soil nutrient availability. *Soil Sci.*, 93:39-49, 1962.
- BARBER, S.A. Influence of the plant root on ion movement in soil. In: CARSON, E.W., ed. *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.525-564.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. não paginado.
- FRIED, M. & SHAPIRO, R.E. Soil-plant relationships in ion uptake. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 12:1-24, 1961.
- HORN, R. & TAUBNER, H. Effect of aggregation on potassium flux in a structured soil. *Zeit. Pflanz. Bodenkunde*, 152:99-104, 1989.
- JACKSON, M.L. *Soil chemical analysis*. New Jersey, Prentice-Hall, 1958. 498p.
- RAO, P.S.C.; JESSUP, R.E.; ROLSTON, D.E.; DAVIDSON, J.M. & KILCREASE, D.P. Experimental and mathematical description of non adsorbed solute transfer by diffusion in spherical aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:684-688, 1980.
- RUIZ, H.A. Efeito do conteúdo de água sobre o transporte de fósforo em dois Latossolos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1986. 86p. (Tese de Doutorado)
- RUIZ, H.A.; MIRANDA, J. & CONCEIÇÃO, J.C.S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca e Mg a plantas de arroz. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:1015-1018, 1999.
- van GENUCHTEN, M.Th. & WIERENGA, P.J. Mass transfer studies in sorbing porous media: 1. Analytical solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40:473-480, 1976.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, EPE, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- WHITTING, L.D. X-ray diffraction techniques for mineral identification and mineralogical composition. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1965. p.671-698. (Agronomy Series, 9)