

# LIXIVIAÇÃO EM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO DE CERRADO

## II. MAGNITUDE E VARIABILIDADE DO FENÔMENO SOB IRRIGAÇÃO<sup>1</sup>

WALDO ESPINOZA<sup>2</sup> e ANTONIO EDUARDO G. DOS REIS<sup>3</sup>

**RESUMO** - A lixiviação de Ca, K e Mg sob irrigação foi avaliada em um Latossolo Vermelho-Escuro, pelo uso de cápsulas porosas, durante o ciclo do desenvolvimento do milho (cv. Cargill 111-X). Para um total de 1.920 mm de água aplicada, a drenagem profunda (no plano de 105 cm) variou entre 637 e 1.555 mm. O movimento de lixiviação de nutrientes na profundidade 0-75 cm teve lugar nos primeiros 60 dias de irrigação. O fenômeno foi bastante dinâmico, o que pode ser explicado pela movimentação de água através dos macroporos do solo. As concentrações dos nutrientes Ca, K e Mg, em geral, caíram de 38,8 e 12 ppm na profundidade 0-30 cm para 5,1 e 2 ppm, após 50 dias do início da irrigação, respectivamente. As perdas de Ca, K e Mg na profundidade de 105 cm foram, em média, de 125,95; 20,28 e 49,71 kg/ha, respectivamente. Apesar da elevada movimentação de Ca no perfil e de os pHs da solução de solo oscilarem entre 6 e 7, o desenvolvimento radicular foi restrito principalmente à superfície do solo, o que sugere uma outra limitante física ou química.

Termos para indexação: oxisolo, drenagem, milho, cápsulas porosas, lixiviação, irrigação.

### NUTRIENT LEACHING EVALUATION IN A DARK-RED LATOSOL OF CERRADOS

#### II. MAGNITUDE AND VARIABILITY OF THE PHENOMENA UNDER IRRIGATION

**ABSTRACT** - Leaching of Ca, K and Mg in a LE soil (Dark-Red Latosol) was measured at three depths by using ceramic porous cups: 30, 75 and 105 cm during the growing cycle of irrigated corn (*Zea mays* L. cv. Cargill 111-X) in each of four plots that had received similar fertility, liming treatments and irrigation since 1977 and that had been previously cropped to soybeans. For a total of 1920 mm of applied water, deep drainage (105 cm) varied from 637 to 1,555 mm. Nutrient leaching in the 0-75 cm depth took place mainly in the first 60 days after initial irrigation, the process being highly dynamic which can be attributed to macropore water movement. Ca, K and Mg concentrations in the 30 cm depth, in general oscillated from 38,8 e 12 ppm, respectively to 5,1 and 2 ppm as an average, respectively, 50 days after initial irrigation. Nutrient concentration peaks in the 0-75 cm depth occurred almost simultaneously, with a slight shifting in time as depth increased. This shifting was more evident in the 105 cm depth. Ca, K and Mg losses in the 105 cm depth averaged 125,95, 20,28 and 49,71 kg/ha respectively. In spite of the considerable Ca leaching and the neutrality of solution pH, root development was restricted to the upper portion of the soil profile which suggests a different chemical or physical limiting factor.

Index terms: oxisol, deep drainage, corn, porous cups, leaching, irrigation.

### INTRODUÇÃO

As perdas de nutrientes causadas pelo fenômeno da lixiviação têm uma grande importância para o produtor agrícola, pelo fato de significar baixas eficiências de utilização de nutrientes pelas culturas e, por conseqüência, menores rendimentos ou custos mais elevados para atingir um determinado teto de produção.

Além das considerações puramente econômicas, existe a preocupação com o efeito deteriorante do meio ambiente, derivado do manejo ineficiente dos

fertilizantes. Quando lixiviados, os nutrientes se incorporam ao lençol freático pelo processo de drenagem interna e, assim, são transportados a grandes distâncias, contaminando o lençol freático e, finalmente, os mananciais de água potável.

Espinóza & Reis (1982) concluíram que, em solos LE de cerrados, numa cultura de milho sob regime de chuva, as perdas de Ca por lixiviação durante o primeiro ano foram reduzidas, mas as perdas de potássio e magnésio atingiram 48 e 72%, respectivamente, do aplicado inicialmente. Também foi detectada uma elevada variabilidade espacial do solo, fato que também tem sido enunciado, para solos tropicais, por Moormann & Kang (1978).

O presente estudo teve por objetivo avaliar a lixiviação de nutriente, sob condições de irrigação, em um solo de cerrado.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 6 de dezembro de 1983.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> - Agr<sup>o</sup>, Ph.D., Consultor convênio IICA/EMBRAPA/Banco Mundial, EMBRAPA, Dep. de Estudos e Pesquisas - DEP, Ed. Venâncio 2000, 9<sup>o</sup> andar, CEP 70333 - Brasília, DF.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> - Agr<sup>o</sup>, Ph.D., EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Caixa Postal 70.0023 - CEP 73300 - Planaltina, DF.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em área do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, em Latossolo Vermelho-Escuro (Haplustox), durante a época seca de 1980, sob regime de irrigação. O detalhe do experimento é apresentado na Fig. 1.

A área foi cultivada durante três anos sucessivos, sendo estabelecidas as culturas de soja no ano agrícola de 1977/1978 e 1978/1979, soja em 1979 e milho em 1980. O milho recebeu uma adubação de manutenção, aplicada no sulco, constante de: N (uréia) = 80 kg/ha; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato simples) = 80 kg/ha; K<sub>2</sub>O (KCl) = 80 kg/ha; Zn (ZnSO<sub>4</sub>) = 10 kg/ha e micronutrientes (BR-12 ou BR-9) = 10 kg/ha.

A Tabela 1 mostra as características químicas médias

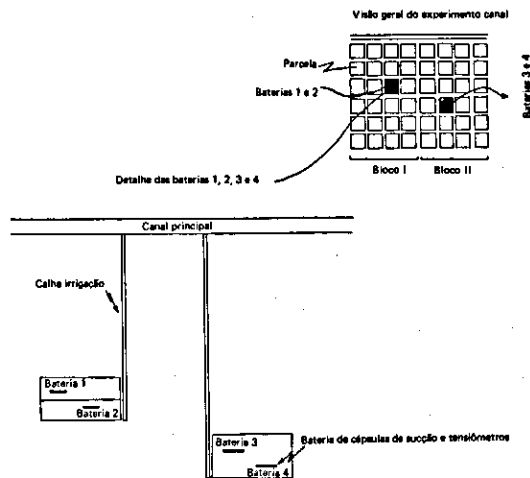


FIG. 1. Diagrama geral do experimento e detalhe da área experimental.

TABELA 1. Características químicas do solo da área experimental, em duas épocas: antes do plantio e da irrigação, e após a colheita do milho.

Prof. (cm)	pH		Al (meq/100 ml)		Ca + Mg (meq/100 ml)		P ppm		K ppm	
	1*	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0 - 20	5,0	5,6	0,04	0,0	3,7	4,84	6,3	11,6	33,8	38,3
20 - 40	4,9	5,1	0,25	0,1	2,4	3,21	2,4	5,0	23,5	35,3
40 - 60	4,7	4,9	0,66	0,2	1,2	1,95	0,8	2,5	22,7	23,0
60 - 80	5,0	4,9	0,54	0,2	1,4	1,46	0,6	1,9	20,8	13,5
80 - 100	5,3	4,8	0,48	0,1	1,1	1,16	0,4	1,6	17,9	10,9

\* 1 = antes do plantio e da irrigação.

2 = após a colheita do milho.

do solo, em duas épocas, antes do plantio e após a colheita do milho.

Durante os meses de maio a agosto de 1980, chuvas ocorreram apenas nos meses de maio, com 5,5 mm, e junho, com 1,8 mm. A umidade relativa média do ar variou entre 62 e 68%; a temperatura máxima entre 26 e 28,9°C; a mínima, entre 13,2 e 15,5°C; e as médias mensais, entre 20 e 22°C. As temperaturas mais elevadas corresponderam ao mês de agosto. A evaporação média diária do tanque classe A variou de 4,59 mm/dia, no mês de maio, até 7,30 mm/dia no mês de agosto. A evaporação acumulada foi de 132,14 mm para o mês de junho e até 219,24 mm para o mês de agosto.

A irrigação, por sulco, foi conduzida de tal forma que houvesse um excedente de água em relação àquela que era exigida pela cultura, com conseqüente maximização das perdas de elementos por lixiviação profunda. O manejo da água foi feito aplicando-se um volume de 120 mm por parcela, por irrigação com freqüência semanal, em um total de 16 irrigações. A quantidade total de água aplicada por parcela foi de aproximadamente 1.920 mm. Foram utilizados sifões de 3/4"  $\phi$  (1,98 cm) e carga manométrica de 10 cm. A água de irrigação apresentava pH em torno de 7,3; concentração média de K de 0,5 ppm; concentração média de Mg de 0,2 ppm; e concentração de Ca, entre 0,5 - 5,5 ppm.

O milho (cv. Cargill 111-X) foi plantado em maio de 1980, em densidade de 50.000 plantas/ha e espaçamento entre fileiras de 80 cm, em três blocos de 24 parcelas cada. Duas parcelas (Fig. 1) foram então selecionadas e, nelas, baterias de cápsulas porosas de sucção e tensiômetros foram instalados, nas profundidades de 30, 75 e 105 cm e de 15, 45, 60, 90 e 120 cm, respectivamente.

A metodologia para computação da drenagem interna e da lixiviação de nutrientes nos diversos plantios estabelecidos é a utilizada por Espinoza & Reis (1982). Neste estudo, assume-se que os nutrientes lixiviados além da profundidade 105 cm não são aproveitados pela planta.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

## Potencial matricial e drenagem interna

Uma representação da variância diária dos potenciais matriciais na parcela 1, no tempo e em profundidade, é mostrada na Fig. 2. Nesta figura observa-se que as variações mais elevadas são obtidas na superfície do solo, atingindo valores de 22,78 centibares (cb) para o plano 0-15 até 7,94 cb para a profundidade de 120 cm. Nas duas primeiras profundidades, observa-se um aumento mais evidente da variação dos potenciais com o tempo, na medida em que aumentam as necessidades de água da cultura.

Com o propósito de simplificar a discussão,

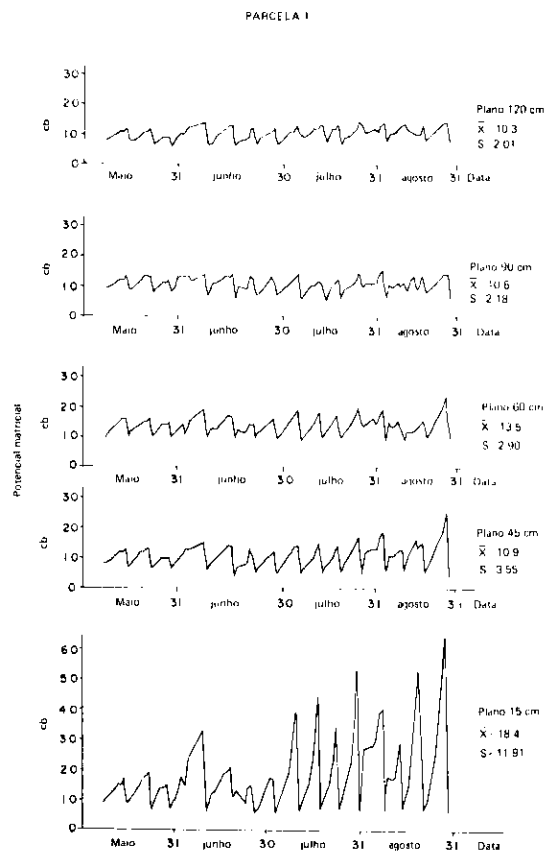


FIG. 2. Variação dos potenciais matriciais no solo LE na parcela 1, sob regime de irrigação, em diferentes profundidades, durante o tempo do experimento.  $\bar{X}$  é a média no período e s o desvio padrão.

serão apresentados apenas os resultados das parcelas 1 e 3, representativas do experimento.

Nas Fig. 3 e 4 podem ser observados os valores de drenagem interna, obtidos nas parcelas 1 e 3, respectivamente. As magnitudes de drenagem no plano 105 cm atingiram, no final do período do experimento, valores de 840 e 1.560 mm, respectivamente, sendo a irrigação efetuada de maneira similar nas duas parcelas. Isto sugere uma grande variabilidade espacial, que determina diferenças na drenagem profunda entre as parcelas localizadas a curta distância entre si, mas também sugere que a velocidade de movimentação de água através do perfil pode alcançar dimensões bastante diferentes e, assim, afetar a magnitude da lixiviação de nutrientes.

As Fig. 3 e 4 também indicam que o balanço de fluxos no plano 30 cm foi descendente, sendo

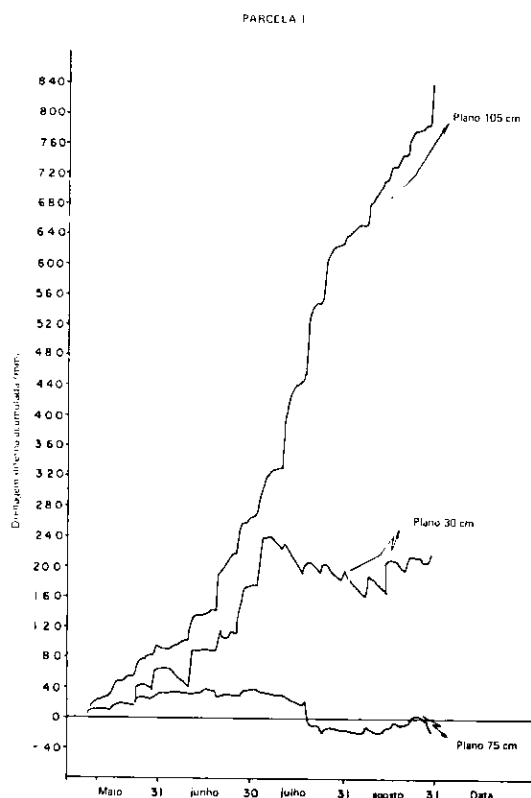


FIG. 3. Drenagem interna acumulada mostrada na parcela 1, nas profundidades de 30, 75 e 105 cm, durante o período do experimento.

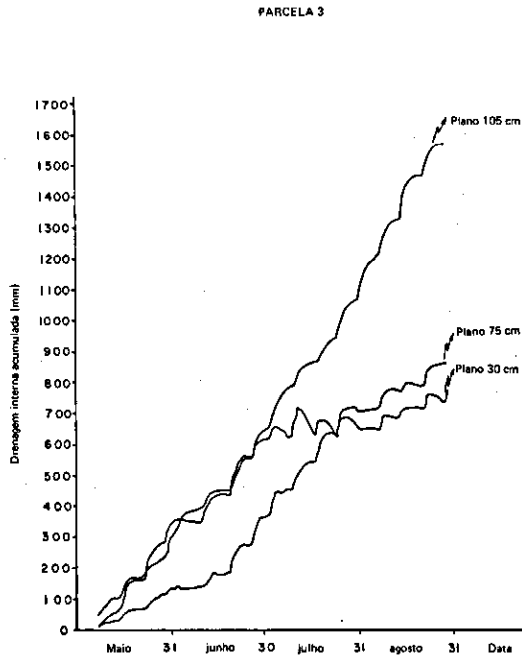


FIG. 4. Drenagem interna acumulada mostrada na parcela 3, nas profundidades de 30, 75 e 105 cm, durante o período do experimento.

de + 216 mm para as parcelas 1 e 3, respectivamente. No caso da profundidade de 75 cm, foram obtidos valores de drenagem interna acumulada de - 18 mm para a parcela 1, e + 910 mm para a parcela 3. Os valores negativos de drenagem acumulada nesta profundidade indicam fluxos líquidos totais ascendentes.

Em geral, observa-se que a drenagem interna no plano de 105 cm é elevada nos primeiros estágios da cultura, denotando, assim, a inexistência de processos de extração de água pelas raízes neste plano. Isto não sucede nos planos de 30 e 75 cm, devido, principalmente, ao desenvolvimento da cultura e, conseqüentemente, maior extração de água. Por outro lado, embora as parcelas tenham recebido, em irrigações semanais, em um total de 16, aproximadamente, a mesma quantidade de água (1.920 mm), a parcela 1 apresentou, no plano de 105 cm, uma drenagem equivalente a 42,6% da água aplicada, e a parcela 3, 79,2%. Este fato demonstra a existência de fluxos de água diferen-

tes no perfil do solo, o que pode ser devido, provavelmente, a variações texturais.

#### Concentração de Ca na solução de solo e lixiviação

As variações da concentração de Ca na solução de solo, através do período de experimento e para as profundidades de 30, 75 e 105 cm nas parcelas 1; 2, 3 e 4 aparecem nas Fig. 5, 6 e 7, respectivamente.

Na Fig. 5, pode ser observado que as concentrações de Ca, na solução do solo, atingiram valores elevados até, aproximadamente, 30 dias após o início das irrigações. Em geral, neste período, as concentrações de Ca, em três das quatro parcelas, foram superiores ao nível crítico de 1 meq/lit, mencionado por Gonzalez-Erico (1975), o que permite supor que o nível de cálcio não foi o fator limitante do desenvolvimento radicular na profundidade de 0-30 cm. Além disso, vale observar que as concentrações de Ca na solução diminuem drasticamente, aproximadamente, 60 dias após a última irrigação, atingindo níveis críticos para a cultura.

Na Fig. 6, podem ser observadas as concentrações de Ca na profundidade de 75 cm. As concentrações acompanham, em geral, o padrão de variação observado na profundidade de 30 cm, exceto que as concentrações mostram uma maior variabilidade entre as quatro parcelas, mostrado pelas concentrações. Isto seria uma resultante da elevada variabilidade espacial apresentada pelos solos no aspecto químico, como também no aspecto físico (textural). Como resul-

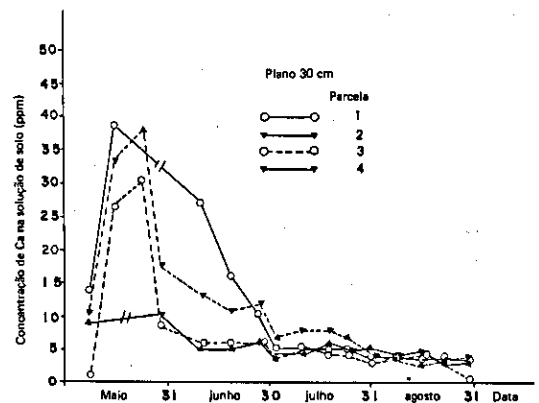


FIG. 5. Variação da concentração de Ca na solução do solo em todas as parcelas, no plano de 30 cm, durante o período do experimento.

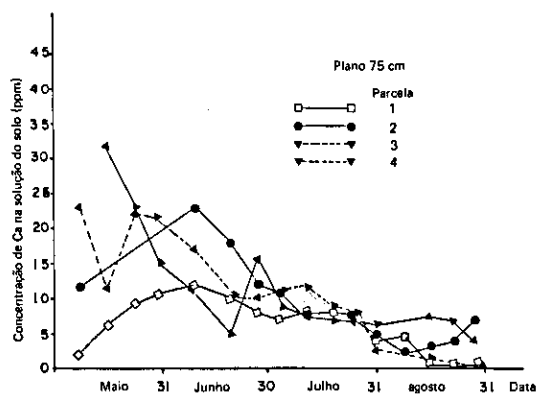


FIG. 6. Variação da concentração de Ca na solução do solo em todas as parcelas, no plano de 75 cm, durante o período do experimento.

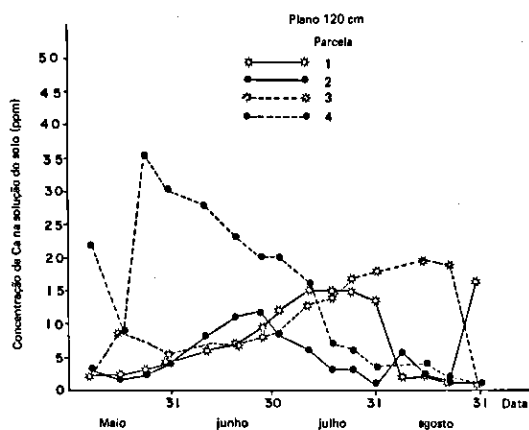


FIG. 7. Variação da concentração de Ca na solução do solo em todas as parcelas, no plano de 120 cm, durante o período do experimento.

tado da ação de lixiviação da irrigação semanal, as concentrações de Ca começam a se estabilizar, em níveis baixos, aproximadamente, 60 dias após o início de irrigação.

Na Fig. 7, são apresentadas as concentrações referentes à profundidade de 120 cm. Observa-se que, em geral, com diferentes intervalos, as concentrações máximas de Ca tendem a aumentar gradualmente a partir do início do período de irrigação, o que refletiria a movimentação do cálcio por efeito da lixiviação. Observa-se, também, uma grande variabilidade em relação ao momento em

que os máximos e os mínimos de concentração foram observados. Para as parcelas 4, 2 e 3, as concentrações máximas de 35,14, 15 e 19 ppm foram observadas aos 20, 60, 75 e 100 dias após o início da irrigação. No caso da profundidade de 30 cm, as maiores concentrações foram obtidas aos 15 e 25 dias após a irrigação. Na profundidade de 75 cm, estes valores correspondem à faixa entre 10 e 35 dias, após o início das irrigações.

No caso das parcelas 3 e 4 (Fig. 7), observa-se, também, que o movimento de Ca, na profundidade de 105 cm, foi detectado, aproximadamente, aos 17 dias após o início da irrigação. Considerando que a drenagem profunda, acumulada nesse mesmo período, foi de 150 mm e que a velocidade da água nos microporos é reduzida (Espinoza & Reis 1982), concluiu-se que a frente de Ca poderia ter avançado além dos 60 cm, o que, mais uma vez, sugere que a fórmula tradicional de Darcy não pode ser aplicada em situações em que predominam macroporos ou fraturas no perfil do solo. Estes resultados confirmam Hillel (1971), Hadas (1973) e Vleeschauwer et al. (1979).

Na Tabela 2, podem ser observados os valores de lixiviação acumulada de Ca, em relação à drenagem acumulada total, nos planos de 30, 75 e 105 cm. Os dados do plano de 105 cm permitem separar as parcelas 3 e 4 com valores de 7,66 e 7,60 mm de drenagem/kg Ca lixiviado das parcelas 1 e 2, com valores de 11,56 e 18,30 mm de drenagem/kg Ca lixiviado, respectivamente, indicando, conseqüentemente, que nas parcelas 1 e 2 existia uma maior concentração de Ca na solução.

A Tabela 2 mostra que as perdas de lixiviação do Ca além dos 105 cm, foram consideráveis, oscilando entre 34,8 e 203 kg/ha. Estas perdas além das considerações de variabilidade espacial física e química, sugerem que, após uma aplicação de calcário inicial, no ano agrícola de 1976/77, de 4 t/ha (PRNT 100%), a movimentação do Ca ainda pode ser bastante dinâmica mesmo após três ou quatro anos da aplicação. Isto novamente reafirma o fato da rápida movimentação dos nutrientes em solos de cerrado, fato que não permitiria tempo suficiente de neutralização da acidez do solo, pelo calcário. O fato pode ser confirmado pela observação da variação de pH da solução do solo, na Fig. 8,

TABELA 2. Drenagem (D) e lixiviação (L) acumulada\* do Ca (kg/ha) no fim do experimento.

Profundidade (cm)	Parcela					
	1	2	3	4	$\bar{x}$	s**
30 (L)	40,6	40,0	85,0	88,5	63,50	26,89
75 (L)	-4	20	83,5	-19,5	20,00	45,34
105 (L)	72,5	34,8	203,0	193,5	125,95	84,98
105 (D)***	838	637	1.555	1.470	794,25	584,33
105 (D)	11,56	18,30	7,66	7,60	11,28	5,03

\* Valores positivos indicam fluxos líquidos descendentes e valores negativos indicam fluxos líquidos ascendentes.

\*\* Desvio padrão.

\*\*\* Drenagem interna acumulada no plano de 105 cm, em mm.

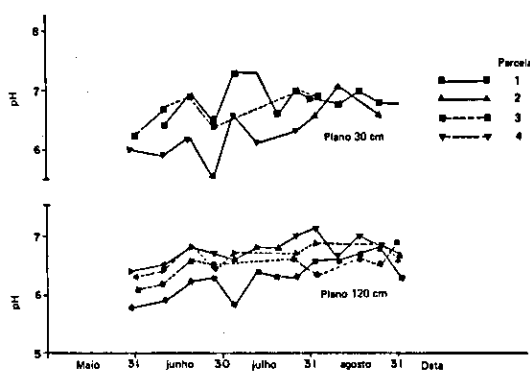


FIG. 8. Variação do pH da solução do solo nas profundidades de 30 e 120 cm, em todas as parcelas durante o período do experimento.

a qual indica que, em geral, os valores oscilam entre 5,5 e 7,5 para a profundidade de 30 cm, e entre 7,75 e 7,2 para a profundidade de 105 cm. No entanto, os pHs do solo medidos no laboratório de rotina mantiveram-se entre 4,8 e 5,1 nas diferentes profundidades.

#### Concentração de K na solução de solo e lixiviação

As concentrações de K na solução de solo, para as profundidades de 30, 75 e 120 cm, durante o período do experimento, nas quatro parcelas estudadas, são mostradas nas Fig. 9, 10 e 11. Observa-se que as concentrações variaram, geralmente, entre 1 e 10 ppm nas diferentes profundidades. Contudo, os pontos de máxima concentração não co-

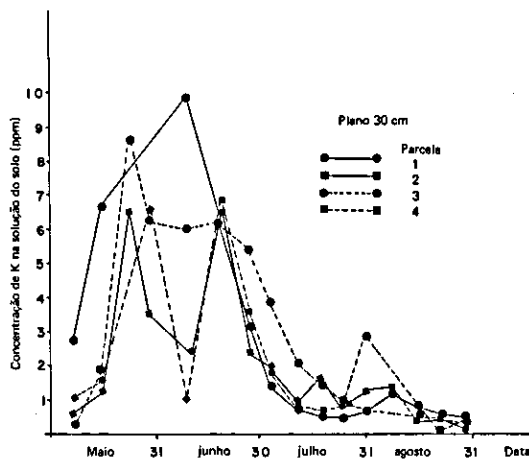


FIG. 9. Variação da concentração de K na solução de solo em todas as parcelas, no plano de 30 cm, durante o período do experimento.

cidiram, no tempo, para as referidas profundidades. Assim, na profundidade de 30 cm, os picos máximos foram obtidos entre 15 e 35 dias após o início da irrigação, o que mais uma vez, sugere uma movimentação bastante rápida dos nutrientes. Posteriormente, a partir dos 45 dias, observa-se um decréscimo nessas concentrações, o qual indicaria que o maior fluxo de K teve lugar naquele período, nesta profundidade.

No caso do plano 75 cm, observa-se um movimento extraordinariamente rápido numa das parcelas, a de número 4, com concentração máxima, aos 17 dias após a primeira irrigação, enquanto que

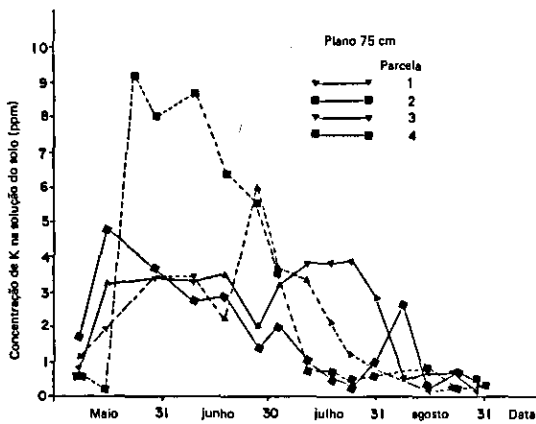


FIG. 10. Variação da concentração de K na solução de solo em todas as parcelas, no plano de 75 cm, durante o período do experimento.

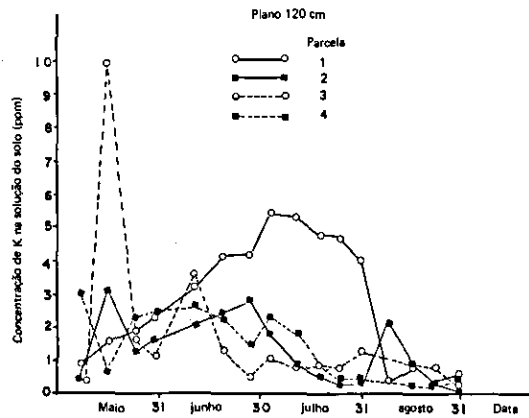


FIG. 11. Variação da concentração de K na solução de solo em todas as parcelas, no plano de 120 cm, durante o período do experimento.

o movimento capilar acumulado indicaria que o K deveria ser encontrado, apenas, nos primeiros 20 cm do solo (Espinoza & Reis 1982). Semelhantemente ao Ca, observa-se que as maiores concentrações de K, na profundidade de 75 cm, ocorrem quase que simultaneamente na profundidade de 30 cm. Apesar disso, as maiores concentrações na parcela 1, na profundidade de 75 cm, foram obtidas aos 75 dias após o início da irrigação. Isto sugere que, em algumas parcelas, a movimentação de K teve lugar através da movimentação capilar, em microporos; em outras, a movimentação teve lugar através de macroporos ou fraturas. Isto pode ser melhor apreciado na Fig. 11, na profundidade de 120 cm, na qual a movimentação da parcela 3 foi extraordinariamente dinâmica em comparação com a parcela 1.

Na Tabela 3, podem ser observados os valores de lixiviação acumulada de K, ao final do experimento, nas diferentes profundidades. As perdas de K, na profundidade de 105 cm, oscilaram entre 8,9 até 27,2 kg/ha, o que é inferior às perdas observadas, no período chuvoso, por Espinoza & Reis (1982). Isto parece confirmar as conclusões de Biggar & Nielsen (1962) e Quisenberry & Phillips (1978). Estes autores indicaram que a lixiviação de nutrientes pela chuva é, normalmente, de maior magnitude que a produzida sob irrigação, porque ocorre, inicialmente, sob condições não-saturadas e

em forma intermitente, em relação ao total precipitado. A Tabela 3 também mostra que existe uma grande variabilidade em relação aos valores de K lixiviado, obtidos nas quatro parcelas, e no que diz respeito aos milímetros de drenagem interna, na profundidade de 105 cm, necessários para lixiviar 1 kg de K. Estes valores variaram entre 30,81 na parcela 1 até 81,67 na parcela 4. Pelo fato de ser o conteúdo de K, nas águas de drenagem, menor que o de Ca, as relações 105 D/105 L para o K foram maiores que para o Ca.

Por outro lado, considerando-se que o K lixiviado correspondia somente àquele aplicado durante o último ano de cultivo, pode-se afirmar que as perdas atingiram entre 13,24% e 40,46%, o que demonstra, mais uma vez, a extraordinária variabilidade apresentada por perfis de solo, mesmo locais a curta distância entre si. Os valores de, aproximadamente, 40% de lixiviação, obtidos em duas das quatro parcelas, são similares aos valores encontrados por Espinoza & Reis (1982), sob condições de chuva.

#### Concentração de Mg na solução de solo e lixiviação

As variações da concentração do Mg na solução de solo, nas profundidades de 30, 75 e 120 cm, durante o período do experimento, e nas parcelas 1, 2, 3 e 4, aparecem nas Fig. 12, 13 e 14. Elas mostram que as concentrações de Mg oscilaram entre 1

TABELA 3. Drenagem (D) e lixiviação (L) acumulada\* do K (kg/ha) no fim do experimento.

Profundidade (cm)	Parcela				$\bar{x}$	s**
	1	2	3	4		
30 (L)	11,0	13,0	34,3	20,7	19,75	10,56
75 (L)	-0,7	7,7	22,5	-13,0	4,13	14,91
105 (L)	27,2	8,9	27,0	18,0	20,28	8,71
105 (D)***	838	637	1.555	1.470	794,25	584,33
105 (D)	30,81	71,57	57,59	81,67	60,41	22,07
105 (D/L)						

\* Valores positivos indicam balanço de fluxos descendentes e valores negativos indicam os ascendentes.

\*\* Desvio padrão.

\*\*\* Valores em mm.

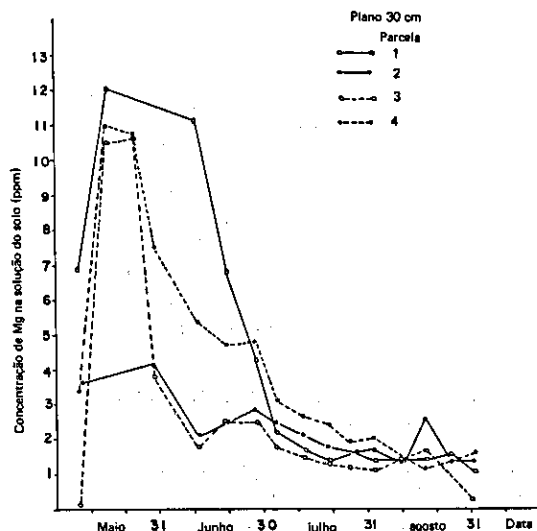


FIG. 12. Variação da concentração de Mg na solução do solo em todas as parcelas, no plano de 30 cm, durante o período do experimento.

e 12,5 ppm e que os valores são superiores aos encontrados na época chuvosa (Espinoza & 1982), mas, em geral são valores similares aos reportados por Juo & Ballaux (1977), em Ultisolos da Nigéria, e por Gonzalez - Erico et al. (1979) em Oxisolos do Cerrado da EMBRAPA/CPAC (Planaltina, DF). Confirmando a rapidez da movimentação do Mg, logo após a irrigação, observa-se, na Fig. 12, que, em três das quatro parcelas, os picos de máxima concentração foram obtidos, dez dias após a pri-

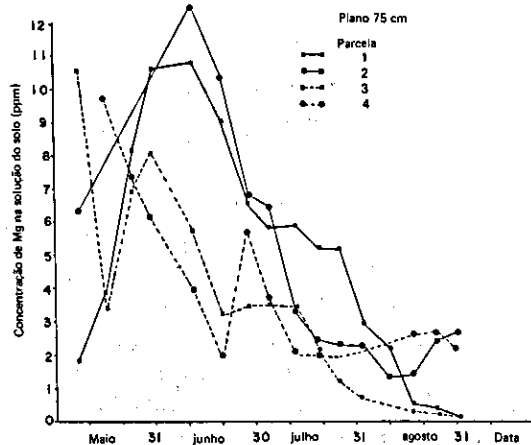


FIG. 13. Variação da concentração de Mg na solução do solo em todas as parcelas, no plano de 75 cm, durante o período do experimento.

meira irrigação. Os valores de concentração de Mg diminuíram drasticamente a partir dos 20 e 40 dias após o início das irrigações. Após este período, os valores de Mg são bastante baixos; presume-se que a drenagem tenha sido intensa e rápida, bastando, em geral, 3-5 irrigações para obter este efeito. Uma situação similar, porém mais variável foi detectada na profundidade de 75 cm (Fig. 13). Observa-se que as concentrações máximas foram obtidas aos 34 dias após o início das irrigações. Contudo, nas parcelas 3 e 4, a movimentação foi extremamente rápida porque os picos de concentração foram



atingidos quase que simultaneamente na profundidade de 30 cm. Em geral, observa-se uma drástica diminuição das concentrações de Mg, 50 a 60 dias após o início das irrigações. Em duas das quatro parcelas, as concentrações de Mg se mantiveram superiores às concentrações obtidas na profundidade de 30 cm, o que estaria indicando uma acumulação relativa nas camadas inferiores do solo.

Estas características ficam mais evidenciadas na Fig. 14, que mostra as variações das concentrações na profundidade de 105 cm. Por exemplo, observa-se que, na parcela 4, o pico de máxima concen-

tração foi detectado 22 dias após o início da irrigação. Se o movimento do Mg fosse somente através do movimento capilar, ele deveria ter se concentrado na profundidade de 75-80 cm e não na de 120 cm.

No caso das outras parcelas, o movimento do Mg terá tomado parte principalmente através dos capilares do solo (microporos). Assim, as máximas concentrações de Mg na profundidade de 105 cm para as parcelas 2, 1 e 3 foram obtidos aos 52, 80 e 108 dias após o início das irrigações.

Na Tabela 4, apresentam-se os valores de lixiviação acumulada de Mg no final do período do experimento, para as três profundidades e para as quatro parcelas. Observam-se discrepâncias entre as parcelas, o que resulta em perdas de Mg, no plano de 105 cm, que variam entre 16,5 até 73,2 kg/ha. Em virtude de ter sido a aplicação do Mg feita no ano de 1977, não foi possível calcular o percentual de nutrientes aplicados inicialmente que foram lixiviados. Contudo, em duas parcelas (3 e 4), foram obtidos valores de Mg lixiviado em torno de 73 kg/ha. Resta saber se as escassas perdas detectadas na parcela 2 não foram devidas ao fato de ter sido a maior parte do Mg lixiviada em anos anteriores. Em todo o caso, os valores obtidos podem ser considerados elevados desde que, em toda aplicação normal de 2,5 toneladas de  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$ , seja aplicada uma média de 150 kg Mg/ha. Estes resultados concordam com os obtidos por Espinoza & Reis (1982), sob condições de chuva, nos casos de adubações pesadas.

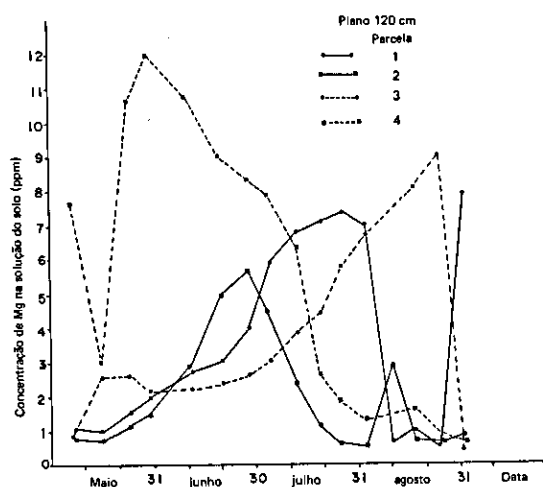


FIG. 14. Variação da concentração de Mg na solução do solo em todas as parcelas, no plano de 120 cm, durante o período do experimento.

TABELA 4. Drenagem (D) e lixiviação (L) acumulada\* de Mg (kg/ha) no fim do experimento.

Profundidade (cm)	Parcela				$\bar{x}$	s**
	1	2	3	4		
30 (L)	15,9	20,2	32,5	33,0	25,40	8,67
75 (L)	-0,5	15,3	26,5	-7,5	8,20	15,53
105 (L)	36,9	16,15	73,2	72,6	49,71	28,08
105 (D)***	838	637	1,555	1,470	794,25	584,33
105 (D)	22,71	39,44	21,24	20,25	25,91	9,08
105 (D/L)						

\* Valores positivos indicam balanço de fluxos descendentes e valores negativos indicam os ascendentes.

\*\* Desvio padrão.

\*\*\* Valores em mm.

A Tabela 4 também indica que, em três das quatro parcelas, foi encontrada uma relação de 20,25 e 22,71 mm de água de drenagem, na profundidade de 105 cm, por cada kg de Mg lixiviado. No caso da parcela 2, observa-se uma relação 105 D/105 L de 39,44 mm/kg, similar à obtida previamente sob condições de chuva.

#### CONCLUSÕES

1. Foi comprovada uma variabilidade espacial do solo importante, que originou valores de drenagem profunda bastante diferentes entre as parcelas. A movimentação dos nutrientes resultou ser mais rápida que a correspondente ao movimento puramente capilar, sugerindo a participação dos macroporos no processo.

2. As concentrações de K, Ca e Mg na solução de solo foram, em geral, máximas, no período de 60 dias após o início das irrigações. As concentrações de Ca, inicialmente superiores a 20 ppm, diminuíram para 5-10 ppm, após os primeiros 60 dias. As perdas de Ca, além dos 105 cm, variaram de 34,8 até 203 kg/ha, com um valor médio de 125,9 kg/ha.

3. As concentrações de K na solução de solo oscilaram entre 1 e 10 ppm. Em geral, em todas as profundidades, os valores de K na solução se estabilizaram aos 60-75 dias após o início da irrigação. As perdas de K na profundidade de 105 cm, variaram entre 8,9 e 27,2 kg/ha, com valor médio de 20,3 kg/ha, o que representou, aproximadamente, 30% do K aplicado como fertilizante.

4. As concentrações de Mg na solução de solo oscilaram entre 1 e 12,5 ppm, diminuindo drasticamente na profundidade de 0-30 cm, 20-40 dias após o início das irrigações. As perdas de Mg por lixiviação, no plano de 105 cm, variaram entre 16,2 e 73,2 kg/ha, com valor médio de 49,7 kg/ha.

5. Pode-se inferir que o desenvolvimento da cultura, melhor que o ocorrido na época chuvosa,

tenha minimizado os aspectos de variabilidade em relação à água do solo, pela extração contínua de água, como também as perdas de nutrientes por lixiviação via água de irrigação.

#### REFERÊNCIAS

- BIGGAR, J.W. & NIELSEN, D.R. Miscible displacement: 2. Behavior of tracers. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 26: 125-8, 1962.
- ESPINOZA, W.G. & REIS, A.E.G. dos. Lixiviação de Ca, K e Mg em um Latossolo Vermelho-Escuro (LE) de Cerrados. I. Magnitude e variabilidade do fenômeno na época chuvosa. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 17(2): 299-317, fev. 1982.
- GONZALEZ-ERICO, E. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn in Oxisols of Central Brazil. Raleigh, USA., North Carolina State University, 1975. 126p.
- GONZALEZ-ERICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMAN, G.C. & SOARES, W.V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisols of Central Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:1155-8, 1979.
- HADAS, A. Water retention and flow in soils. In: YARON, B.; DANFORS, E. & VAADIA, Y. *Arid zone irrigation*. New York, Springer-Verlag Berlin, 1973. p.89-109. Cap. 3.
- HILLEL, D. *Soil and Water; physical principles and processes*. New York, Academic Press, 1971. 288p.
- JUO, A.S.R. & BALLAUX, J.C. Retention and leaching of nutrients in a limed Ultisol under cropping. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:757-61, 1977.
- MOORMANN, F.R. & KANG, B.T. Microvariability of soils in the tropics and its agronomic implications with special reference to West Africa. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY. *Diversity of soils in the tropics; proceedings ...* Madison, ASA, 1978. Cap. 3, p.29-43 (ASA. Special publication, 34).
- QUISENBERRY, V.L. & PHILLIPS, R.S. Displacement of soil water by simulated rainfall. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:675-8, 1978.
- VLEESCHAUWER, D. de; LAL, R. & BOODT, M. de. Influence of soil conditioners on water movement through some tropical soils. In: LAL, R. & GREENLAND, D.J. ed. *Soil physical properties and crop production in the tropics*. Chichester, John Wiley & Sons, 1979. Part. 3, p.149-58.