

LIXIVIAÇÃO DE Ca, K E Mg EM UM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO (LE) DE CERRADOS

I. MAGNITUDE E VARIABILIDADE DO FENÔMENO NA ÉPOCA CHUVOSA¹

WALDO ESPINOZA² e ANTONIO EDUARDO G. DOS REIS³

RESUMO - A lixiviação de Ca, K e Mg na época chuvosa foi avaliada num solo LE (EMBRAPA/CPAC), pelo uso de cápsulas porosas, durante o ciclo de desenvolvimento do milho (cv. Cargill 111-X) (primeiro ano), em parcelas que receberam dois tratamentos de adubação: corretiva (AC), e de manutenção (AM). Os fluxos de drenagem e de nutrientes, dinâmicos, sugerem que a água movimentou-se principalmente através dos macroporos do solo. As concentrações de Ca na solução de solo foram menores que o nível crítico de 1,0 mEq/lit e independentes do nível de adubação. As perdas de Ca além dos 105 cm de profundidade atingiram 129 e 47 kg/ha nas parcelas AC e AM, equivalentes a 6,1 e 2,5% do Ca total inicialmente adicionado, respectivamente. As concentrações de K na solução de solo oscilaram entre 0,05 e 0,25 mEq/lit, e as perdas por lixiviação a 105 cm atingiram 67,5 e 14,7 kg/ha de K para as parcelas AC e AM, o que representa 48,21 e 36,75% do K inicialmente aplicado, respectivamente. Foi encontrada uma estreita relação entre o fluxo de drenagem a 105 cm e a quantidade de K lixiviado. As concentrações de Mg na solução de solo oscilaram entre 0,08 e 0,5 mEq/lit e as perdas por lixiviação foram avaliadas em 96,0 e 19,8 kg/ha para as parcelas AC e AM, respectivamente. Na parcela AM (considerada normal), as perdas atingiram 72% do magnésio contido no calcário. Conclui-se que a máxima lixiviação de nutrientes correspondeu ao período de máxima intensidade de chuva, similar ao descrito na literatura para solos arenosos, embora o latossolo LE apresente mais de 50% de argila.

Termos para indexação: drenagem, milho, cápsulas porosas.

LEACHING OF Ca, K AND Mg IN A DARK-RED LATOSOL (LE) OF CERRADOS I. MAGNITUDE AND VARIABILITY OF THE PHENOMENON UNDER RAINFALL

ABSTRACT - The leaching of Ca, K and Mg under rainfall in a LE soil (Typic Haplustox) was evaluated by using porous cups at three depths: 30, 75 and 105 cm during the growing cycle of corn (*Zea mays* L. cv. Cargill 111-X) in 20 x 12 m plots that received two fertility treatments: corrective (AC) and maintenance (AM). Drainage and nutrient flux were shown to be rapid and dynamic suggesting that water movement took place mainly through the soil macropores. Ca concentrations in soil solution were lower than the critical level of 1.0 mEq/lit and independent of the fertility treatments. Calcium losses due to leaching beyond 105 cm depth were estimated at 129 and 47 kg/ha in plots AC and AM, equivalent to 6.1 and 2.5% of the total Ca initially added, respectively. Potassium concentrations in the soil solution ranged from 0.05 to 0.25 mEq/lit, and leaching losses at the 105 cm depth reached 67.5 and 14.7 kg/ha K for AC and AM plots, which represents 48.21 and 36.75% of the initially applied K, respectively. A close relationship was found between drainage flux at the 105 cm depth and amount of leached K. As the drainage flux increased in magnitude, K concentration decreased. Magnesium concentrations in the soil solution ranged from 0.08 to 0.5 mEq/lit and leaching losses were estimated as 96.0 and 19.8 kg/ha for plots AC and AM, respectively. In the AM plot (considered normal), losses represented 72% of the Mg added in the liming materials. The accumulated leaching curves for the different nutrients showed a close relationship to the accumulated rainfall curves.

Index terms: drainage, corn, porous cups.

INTRODUÇÃO

Escassa informação existe em relação às perdas de nutrientes por lixiviação experimentadas pelos solos tropicais. Ainda que tais perdas são, em geral, consideradas elevadas, as quantidades variam consideravelmente com o volume anual de água perdida pela drenagem profunda, com as propriedades do solo e

¹ Aceito para publicação em 4 de dezembro de 1981.
² Eng° Agr°, Ph.D., Convênio IICA/EMBRAPA, Departamento de Diretrizes e Métodos - DDM, Ed. Venâncio 2.000, 9° andar, sala 909, CEP 70333 Brasília, DF.

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

com o tipo de cultivo. Nos solos tropicais da África Ocidental, as perdas são proporcionais à quantidade anual de chuvas. Na Colômbia, em solos Andepts sob elevada precipitação, foram detectadas elevadas perdas de nitratos, cálcio e magnésio, equivalentes a aproximadamente 225, 827 e 242 kg/ha, respectivamente (Sánchez 1976).

Por outro lado, a aplicação dos resultados de laboratório a situações reais de campo tem conseguido um sucesso parcial em virtude da dificuldade de caracterização das condições do campo e da variabilidade das propriedades do solo em relação à profundidade e ao tempo (Pol et al. 1977).

Segundo Sharma & Uehara (1968), os latossolos, apesar de terem mais de 60% de argila, possuem curvas de retenção de umidade similares às dos solos de textura arenosa. Estes autores distinguem "macroestrutura" (arranjo entre pedos) e "microestrutura" (arranjo intrapedon) e concluíram que, em solos fortemente estruturados, a retenção de água foi principalmente influenciada pela macroestrutura na faixa de tensões entre 0 e 0,3 bar, enquanto que o efeito da microestrutura foi mais importante além da mencionada faixa de tensão.

Segundo Morais et al., (1976) as cargas elétricas dos solos são responsáveis pelas propriedades de troca iônica, que, por sua vez, determinam a movimentação dos nutrientes dentro do perfil do solo. Assim, Couto et al. (1979) têm indicado que, em virtude da grande proporção de cargas dependentes do pH nos solos tropicais, a retenção de S-SO₄ tem sido encontrado altamente dependente do pH.

Souza et al. (1979) indicaram que, sendo a CTC efetiva, e as cargas negativas dos solos de cerrado, baixas, é de esperar que haja perdas de K por lixiviação, se não for feito um manejo adequado da adubação potássica.

Segundo Quinsberry & Phillips (1978), o maior movimento e perdas de sais lixiviáveis acontece durante o período de fluxo rápido de água durante ou imediatamente após um evento de chuva ou irrigação, o que eles atribuem à presença de macroporos e fraturas (fissuras, canais), permitindo assim que a água não passe através de uma fração significativa da massa total do solo.

Sidle & Kardos (1979) têm mostrado que, em muitos solos, 27-40% do espaço poroso constitui-se de poros "estagnados"¹. Eles indicaram que, considerando-se

a velocidade da água porosa, o íon nitrato deveria ter-se acumulado na profundidade de 55 cm, mas o mesmo foi encontrado acumulado na profundidade de 120 cm, o que estaria indicando que existiu movimentação de água através de canais e fissuras do solo.

Biggar & Nielsen (1967, 1976) indicaram que a lixiviação dos solos com um conteúdo de água inferior à saturação produziria uma lixiviação mais eficiente e por isto reduziria a quantidade de água a ser aplicada na recuperação de solos salinos. Eles concluíram que a lixiviação pela chuva é normalmente eficiente pelo fato de ela ocorrer sob condições não saturadas.

Kirkham & Powers (1972) têm indicado que na movimentação dos nutrientes deve ser considerada a velocidade real de água nos poros (V), sendo que $V = q/\theta$, onde q = fluxo de água (cm/hr) dado pela lei de Darcy, e θ = conteúdo volumétrico de água (cm³.cm⁻³).

Alberts et al. (1977) sugeriram que a avaliação da movimentação dos nutrientes pelo método tradicional da amostragem de solos demanda muita mão-de-obra e tempo, já que cada grupo de amostras representa uma localidade diferente e o método é destrutivo; além disso, essa avaliação pouco ou nada permite conhecer em relação às características da solução de solo. Por isso, Wagner (1963) e Reeve & Doering (1965) citados por Alberts et al. (1977), recomendaram o uso de cápsulas porosas de cerâmica para amostrar permanentemente, *in situ*, a solução de solo como uma forma de avaliar a lixiviação de nutrientes no perfil do solo. Ploeg & Beese (1977) têm indicado que o método é econômico e não destrói a estrutura do solo nem o sistema radicular das culturas. Eles advertem que os dados devem ser cuidadosamente interpretados em face de variações no tamanho e da composição da amostra obtida.

Meirelles (1979), trabalhando com cápsulas porosas em solo Latossolo Roxo estruturado, observou que, após uma precipitação acumulada de 1.273,3 mm, aproximadamente um total de 15 kg N/ha passaram por um plano a 120 cm de profundidade. Ele concluiu que dos 100 kg N/ha aplicados por ocasião do plantio de feijão, apenas 1,35 kg/ha provenientes do fertilizante passaram à profundidade de 120 cm até o final do ano. O restante estaria associado ao N natural do solo.

No presente estudo, pretende-se avaliar as perdas por lixiviação dos nutrientes Ca, K e Mg, junto com uma caracterização das propriedades que apresenta a solução do solo amostrada pelo método das cápsulas porosas, tendo em vista contribuir ao uso mais eficiente de corretivos e adubos na região dos Cerrados.

¹ Entende-se por poro "estagnado" aquele microporo no qual a dinâmica da água é lenta.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido em área do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, em Latossolo Vermelho-Escuro (Haplustox), durante o período chuvoso do ano agrícola de 1979/1980.

A Fig. 1 representa a precipitação acumulada referente ao intervalo de tempo novembro 79 - março 80.

O solo caracteriza-se como de textura argilo-arenosa, com densidade média de $0,95 \text{ gr/cm}^3$. A declividade média do terreno situa-se em 3,5%. Suas propriedades químicas antes e depois do cultivo do milho são mostradas na Tabela 1.

A cultura de milho (Cargill, 111-X) foi plantada no dia 30.10.79, seguindo uma densidade de 60.000 plantas/ha e um espaçamento de 80 cm entre fileiras em duas parcelas (parcelas AC e AM) de 12 x 20 m cada. A parcela AC, definida como parcela de adubação maciça, recebeu respectivamente 240 kg/ha de P_2O_5 , 100 kg/ha de K_2O e 10 kg/ha de Zn a lanço, 20 kg/ha de N, 60 kg/ha de P_2O_5 e 40 kg/ha de K_2O no plantio e 60 kg/ha de N em cobertura, no sulco, 40 dias após a emergência.

A parcela AM, ou de adubação de manutenção, recebeu 20 kg/ha de N, 80 kg/ha de P_2O_5 , 40 kg/ha de K_2O e 3 kg/ha de Zn no plantio a lanço, e 40 kg/ha de N em cobertura no sulco, 40 dias após a emergência. O fósforo foi adicionado na forma de superfosfato simples, e o nitrogênio, na de sulfato de amônio. Ambas as parcelas re-

ceberam calcário (60% PRNT) na razão de 4.200 kg/ha. O calcário foi incorporado no dia 9.8.79, numa profundidade média de 0-10 cm. A adubação de correção foi efetuada no dia 23.10.79, e a adubação de manutenção foi efetuada no dia 30.10.79.

Para o estudo da dinâmica de nutrientes no solo, foram instaladas cápsulas porosas para sucção da solução de solo à profundidade de 30, 75 e 105 cm, com três repetições por parcela mencionada, respectivamente. Estes dispositivos de sucção foram construídos a partir de cápsulas comuns de tensiômetros (tipo Apager) e são mostradas esquematicamente na Fig. 2. Para eliminar o problema de contaminação de Ca e Mg provenientes das cápsulas, as mesmas foram lavadas sucessivamente com uma solução de HCl 0,1 N e água destilada. O vácuo foi feito por intermédio de bomba elétrica tipo portátil, modelo Primar de 1/4 HP, aplicando-se uma sucção equivalente a 50 centibars (cb) durante o período de duas horas. Paralelamente aos extratores, foram localizadas baterias de tensiômetros nas profundidades de 15, 45, 60, 90 e 120 cm. As cápsulas de sucção foram localizadas na linha de plantio, e a bateria de tensiômetros, na entrelinha. Dentro de cada parcela, as baterias foram posicionadas diagonalmente.

Amostras da solução de solo foram coletadas após precipitações superiores a 20 mm ou semanalmente caso as leituras tensiométricas não ultrapassassem 20 cb. Amostras compostas de alíquotas da mesma profundi-

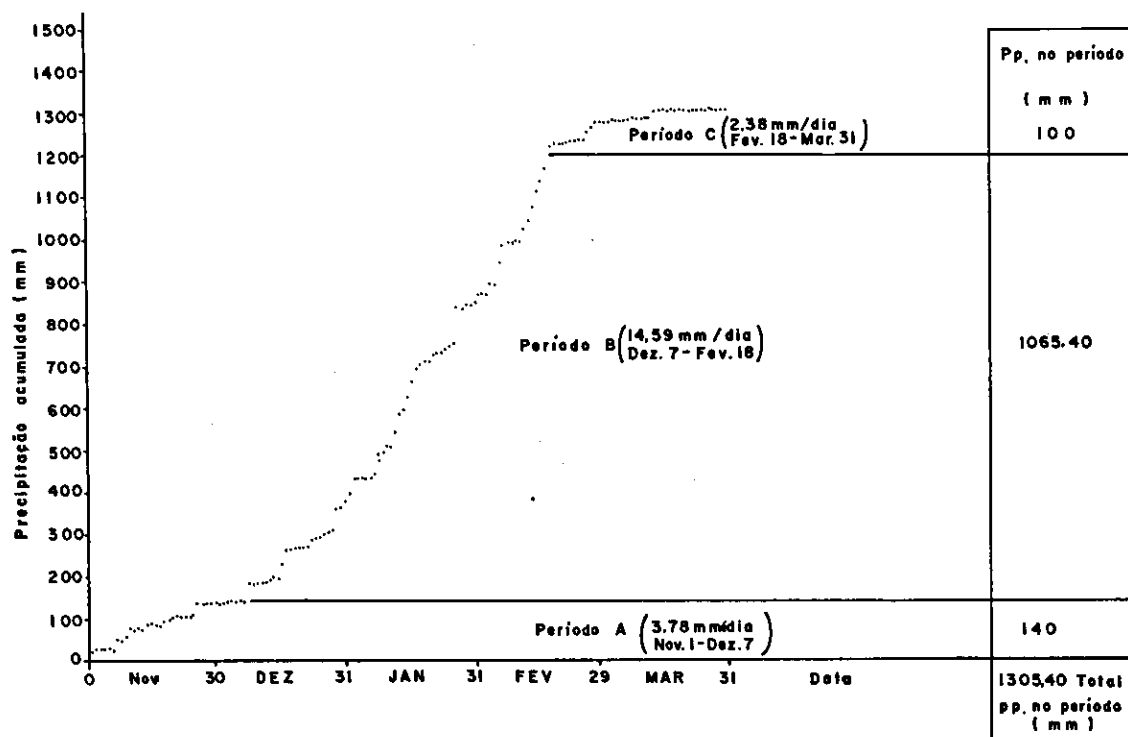


FIG. 1. Características da precipitação acumulada no período de novembro/79 a março/80, na área experimental. EMBRAPA/CPAC, Planaltina, DF.

TABELA 1. Análises químicas do solo antes (A) e depois (D) do cultivo de milho no ano agrícola 1979/1980

Prof. (cm)	Época da amostragem	Al	Ca (mEq/100 ml)	Ca+Mg	P (ppm)	K	pH
0-15	A	1,79	0,15	0,50	1,0	30,0	4,16
	D	0,30	2,43	3,22	10,1	22,0	5,10
15-30	A	1,53	0,09	0,30	0,5	19,0	4,15
	D	1,10	0,64	1,98	0,8	13,0	4,60
30-45	A	1,25	0,09	0,29	0,4	13,0	4,18
	D	1,22	0,46	2,00	0,6	10,0	4,50
45-60	A	1,03	0,07	0,24	0,4	9,0	4,26
	D	0,96	0,34	2,40	0,5	6,0	4,50
60-75	A	0,89	0,09	0,30	0,3	8,0	4,23
	D	1,00	0,18	2,46	0,5	9,0	4,40
75-90	A	0,85	0,08	0,28	0,3	10,0	4,12
	D	0,86	0,24	0,62	0,6	9,0	4,40

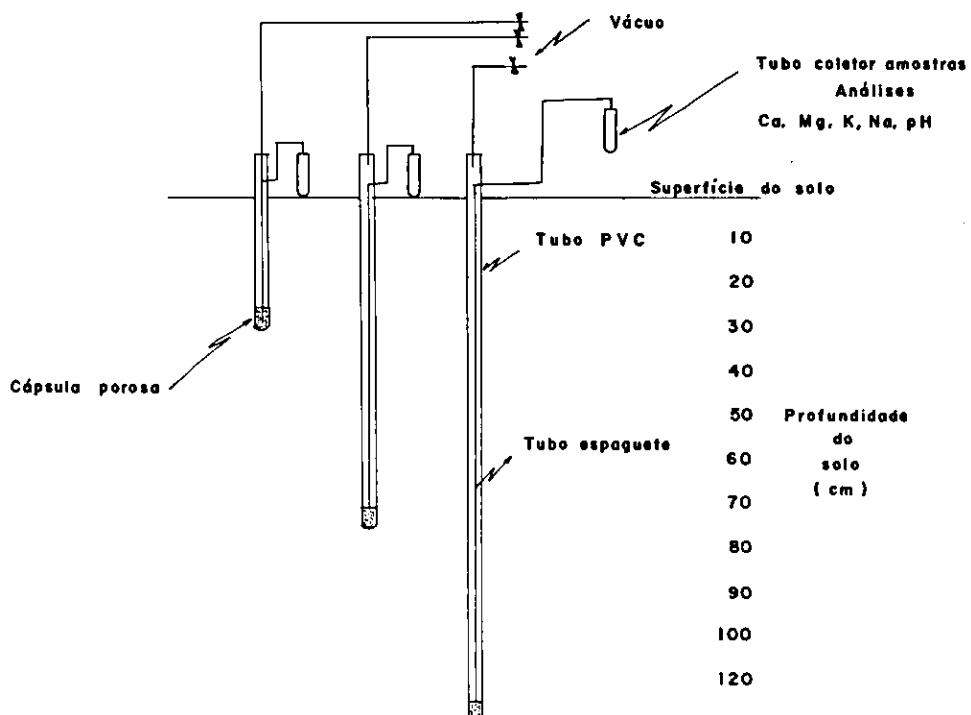


FIG. 2. Diagrama esquemático da aparelhagem utilizada na coleta da solução do solo sob condições de campo.

dade por repetição foram analisadas segundo os elementos K, Ca, Mg e determinados os pHs.

A dinâmica da água durante o completo desenvolvimento da cultura foi quantificada por meio de tensiômetros, dos quais foram estimados os potenciais totais da água do solo, ψ , sua umidade volumétrica, θ , e sua condutividade hidráulica, $K(\theta)$.

A umidade volumétrica foi calculada segundo a equação (Wolf 1975):

$$Y = K T^c,$$

onde

Y = umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \times \text{cm}^{-3}$)
 T = potencial matricial em equivalente cm de água
 K e c = constantes, equivalentes a 64,5733 e -0,1716, respectivamente.

A condutividade hidráulica foi estimada de acordo com a função (Azevedo & Medrado):

$$K(\theta) = K_0 e^{\beta(\theta - \theta_0) + \rho}$$

onde

$K(\theta)$ = condutividade hidráulica em função da umidade do solo ($\text{mm} \times \text{dia}^{-1}$)
 K_0 = infiltração referência, igual a 2,50427 ($\text{mm} \times \text{dia}^{-1}$)
 β = constante, equivalente a 69,1521
 θ = umidade volumétrica atual ($\text{cm}^3 \times \text{cm}^{-3}$)
 θ_0 = umidade volumétrica referência, igual a 0,3533 ($\text{cm}^3 \times \text{cm}^{-3}$)
 ρ = densidade média do solo ($\text{gr} \times \text{cm}^{-3}$)

Utilizando-se os dados de condutividade hidráulica $K(\theta)$ e gradientes de potenciais $\partial\psi/\partial z$ (onde z é a distância entre os pontos considerados), foram então estimados os fluxos de água q_w , pela equação de Darcy:

$$q_w = -K(\theta) \times \partial\psi / \partial z$$

Os fluxos de nutrientes, q_n , foram estimados pela expressão:

$$q_n = q_w \times C_n$$

onde C_n é a concentração média entre duas amostras sucessivas, no intervalo de tempo, do nutriente desejado.

A quantidade total do elemento lixiviado ao plano z foi então computada integrando-se os valores parciais diários para cada elemento, a saber:

$$q_z = \sum q_n$$

Sendo que nos solos de cerrado aproximadamente 80% da massa radicular do milho se encontra nos primeiros 40 cm do perfil (Espinoza 1980), neste estudo consideraram-se perdidos para a cultura todos aqueles nutrientes que tenha ultrapassado um plano de 105 cm de profundidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Regime hídrico e drenagem interna

As Fig. 3 e 4 mostram as quantidades de drenagem interna detectadas nos planos de 30, 75 e 105 cm nas parcelas AC e AM. Considerando um total de chuva de 1.305 mm, observa-se um comportamento diferente entre as duas parcelas. Na parcela AC, foram detectados fluxos acumulados descendentes somente nas profundidades 30 e 120 cm, com magnitudes de 365 e 261 mm, respectivamente. No caso da profundidade de 75 cm, observam-se fluxos acumulados ascendentes, graças provavelmente, à maior atividade de extração de água pelas culturas em dita profundidade. No início do período chuvoso, se apresenta um equilíbrio nos fluxos ascendentes e descendentes nas profundidades de 30 e 75 cm, até o dia 20 de dezembro. Isto poderá ser devido às escassas chuvas presentes neste período e à relativamente baixa atividade radicular. Chama a atenção o fato de que desde o início foram detectados elevados níveis de drenagem interna nas profundidades de 105 cm, o que pode indicar uma movimentação da água principalmente através dos macroporos ou fissuras ou estratificações texturais no perfil. Os elevados níveis totais de drenagem, superiores à precipitação pluviométrica do período, podem ser explicados pela posição topográfica desta parcela. Em geral, existe a possibilidade de um intenso movimento lateral superficial e subsuperficial de água proveniente das áreas localizadas acima desta parcela.

No caso das drenagens internas observadas na parcela AM, observa-se uma situação mais normal. Foram observados, em geral, fluxos descendentes de água, que atingiram, na profundidade de 105 cm, aproximadamente uns 40% do total de chuvas medidas, i.e., aproximadamente 520 mm. Este valor é similar aos determinados para o solo LE por Luchiari⁵. Tal comportamento do solo pode ser explicado em função de a parcela não ter recebido enxurradas superficiais proveniente de outras áreas, porque ela

⁴ Comunicação pessoal, 1981.

⁵ Comunicação pessoal, 1980.

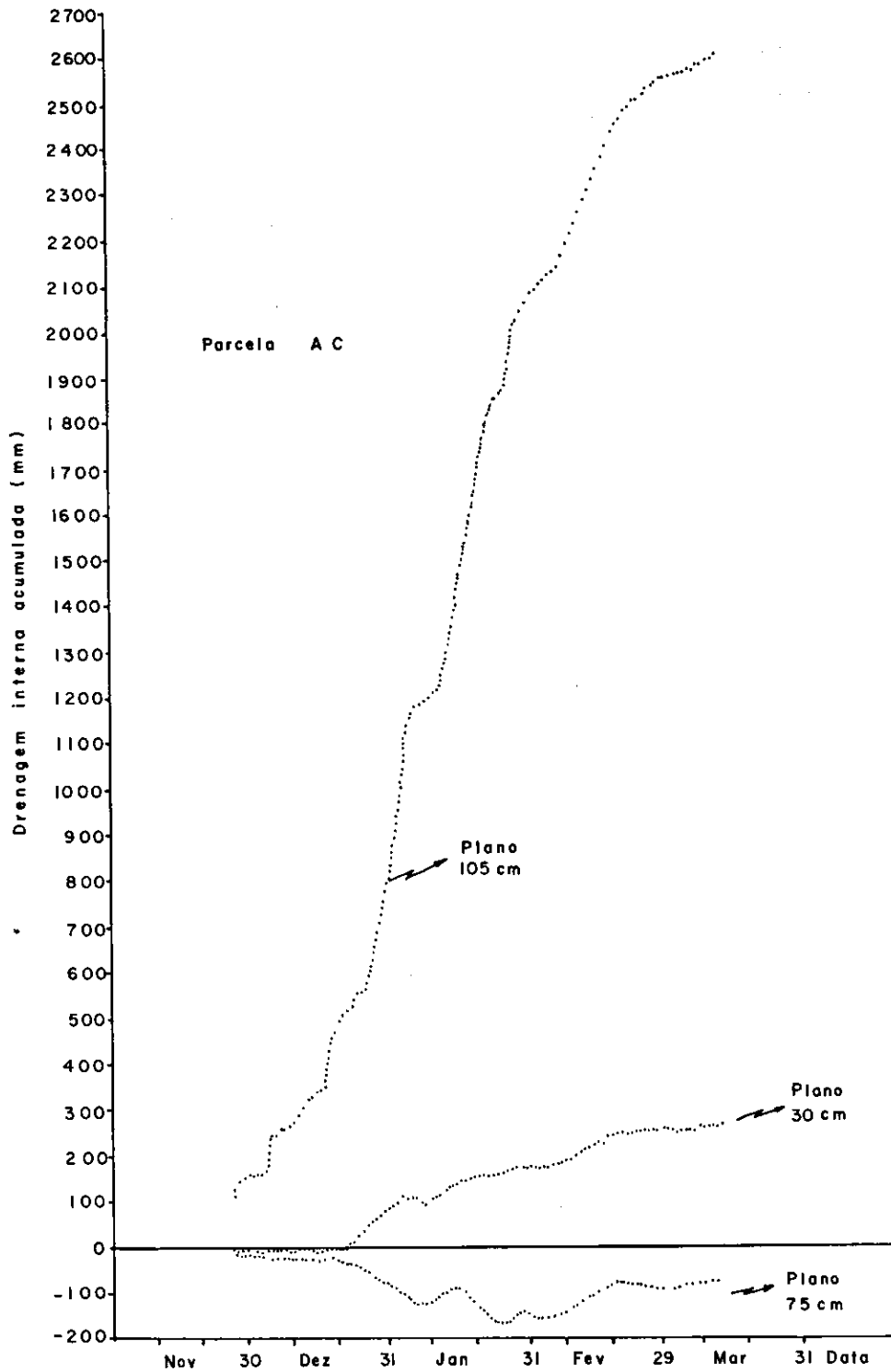


FIG. 3. Drenagem interna acumulada mostrada na parcela AC, nas profundidades 30, 75 e 105 cm, durante o período do experimento.

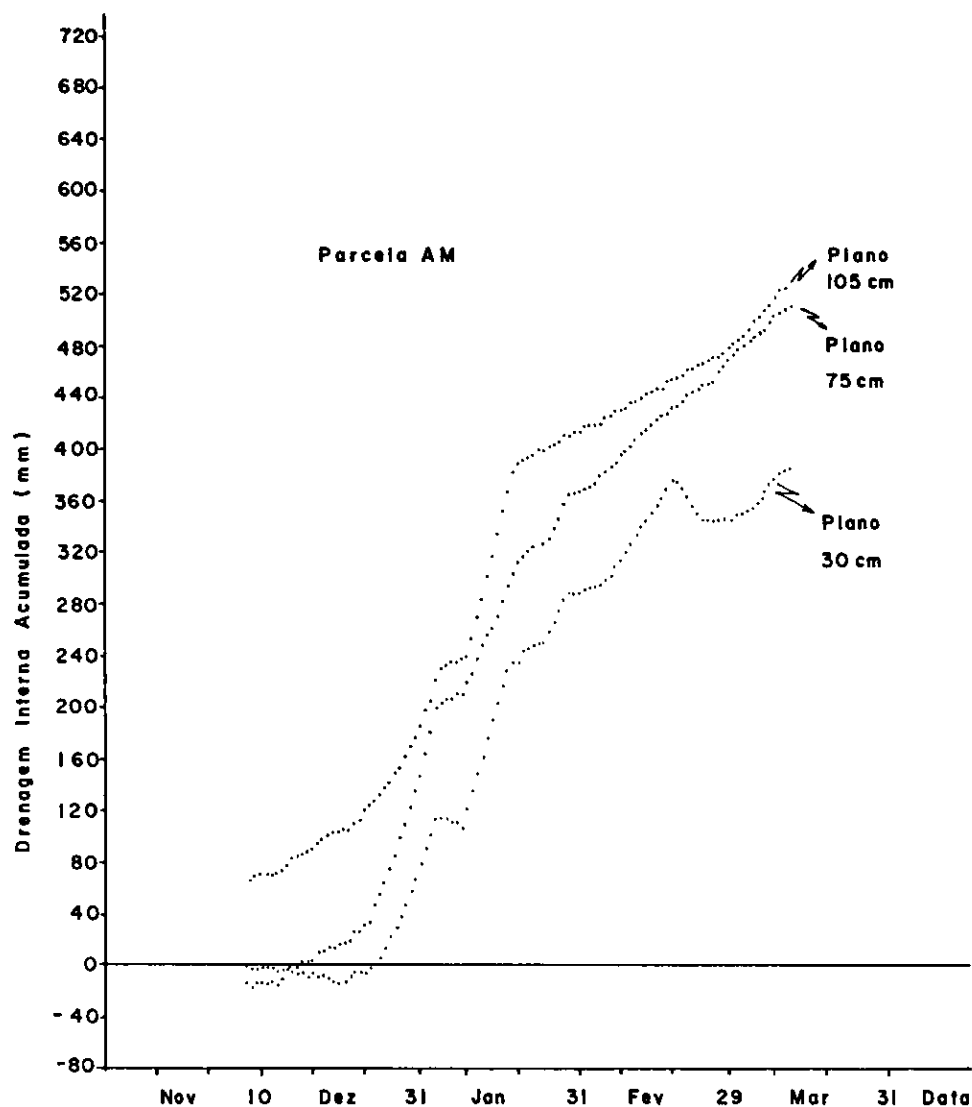


FIG. 4. Drenagem interna acumulada mostrada na parcela AM, nas profundidades 30, 75 e 105 cm, durante o período do experimento.

estava protegida por estruturas de conservação de solos. Por este motivo, também se considera reduzido o efeito dos fluxos laterais de água. Os fluxos no plano 30 cm foram descendentes e atingiram aproximadamente 360 mm, o que não difere substancialmente dos resultados obtidos na parcela AC.

Uma comparação entre os potenciais matriciais das parcelas AC e AM, durante o período do experimento, aparece na Tabela 2.

A Tabela 2 sugere que, apesar de as parcelas AC e AM estarem localizadas a curta distância, existe uma apreciável diferença em relação aos potenciais matriciais exibidos na profundidade de 90 cm, o que afetou significativamente os valores de potencial total de água no solo, os gradientes de potenciais, e a condutividade hidráulica, gerando assim maior drenagem interna na parcela AC. Isto pode ser explicado por características especiais na textura da camada de 90 cm no caso da parcela AC.

TABELA 2. Comparação dos potenciais matriciais médios, em centibars (cb) exibidos pelas parcelas AC e AM, nas profundidades 60, 90 e 120 cm durante o período do experimento.

	Parcela	Profundidade (cm)		
		60	90	120
Dezembro	AC	12,51	8,73	14,18
	AM	12,71	12,82	13,29
Janeiro	AC	10,32	6,43	10,63
	AM	10,70	11,23	10,63
Fevereiro	AC	13,29	8,92	13,04
	AM	11,54	13,25	13,00

TABELA 3. Características de distribuição de partículas nas profundidades 90 e 120 cm das parcelas AC e AM. (Amostra composta de 3 subamostras).

Parcelas	Prof. (cm)	Distribuição percentual			
		Argila	Silte	A.fina	A.grossa
AS	90	47	11	34	08
AC	120	54	05	33	08
AM	90	54	05	34	07
AM	120	53	05	34	08

A Tabela 3 confirma o anteriormente mencionado, no sentido de que a parcela AC apresenta a estrata na profundidade de 90 cm com um menor conteúdo de argila e um aumento do silte em relação ao resto do perfil de solo.

Esta estratificação altera totalmente os valores de drenagem interna obtidos nas parcelas AC em relação à parcela AM, como se observa nas Fig. 3 e 4. Isto permite visualizar a elevada variabilidade espacial que podem apresentar os solos de cerrados. No solo LE da EMBRAPA/CPAC, Wolf (1975) achou diferentes condutividades hidráulicas para diferentes camadas do solo; porém, Azevedo & Medrado⁶ têm obtido uma curva única para as diferentes profundida-

des. Obviamente, isto pode ser explicado em função da variabilidade espacial dos solos.

Starr et al. (1978) têm identificado que existe elevada variabilidade na estimação dos solutos que lixiviam fora da zona radicular. Têm sido achados coeficientes de variabilidade de 50-60% e de até 100%. Outros, como Biggar & Nielsen (1976), concluíram que se precisam 1.000 amostras ou mais para obter uma estimação quantitativa do movimento dos solutos abaixo da zona radicular, com mais ou menos 10% de confiabilidade. Alberts et al. (1977) compararam a determinação de N-NO₃ no solo pelo uso da amostragem de solos e da solução do solo (cápsulas porosas), e acharam que o conteúdo N-NO₃ num perfil de 3,05 m (Typic Hapludoll), determinado pela extração da solução do solo, foi 28% mais baixa em 1972, 8% maior em 1973 e 13% mais baixa em 1974 do que as concentrações determinadas pela amostragem do solo. Eles acharam que a variabilidade espacial em N-NO₃ foi elevada para ambas as técnicas de amostragem. Al-

guns autores (Starr et al. 1978) têm atribuído o fenômeno de variabilidade espacial em relação aos fluxos de drenagem a situações de estratificação textural no subsolo, como no caso em que um material de textura fina fica acima e abaixo de um de textura mais grossa, o que favorecerá os fluxos descendentes, como no caso da parcela AC. Conseqüentemente, considerando-se esta situação, a hipótese de quantificação da movimentação de água uni-dimensional exclusivamente poderá conduzir a estimativas errôneas do total de elementos dissolvidos que passam na água de drenagem profunda.

Em resumo, uma correta avaliação dos fluxos das águas de drenagem requer um completo estudo relacionado às principais características físicas dos solos e sua variabilidade espacial.

⁶ Comunicação pessoal, 1981.

Características químicas da solução de solo

Concentração de Ca na solução de solo. Segundo Galvez et al. (1976), uma das principais características de muitos solos altamente intemperizados nos trópicos é a predominância de kaolinita e óxidos de Fe e Al na fração argila. A magnitude ou o sinal de carga dos óxidos minerais depende não somente do pH, mas também da natureza e concentração dos eletrólitos presentes na solução de solo. Raj & Peach (1972) concluíram que o comportamento eletroquímico de alguns Alfissolos e Oxissolos do Brasil foi similar ao exibido por muitos óxidos metálicos, ainda que eles contêm alguma carga negativa permanente, aparentemente devida a substituições estruturais na kaolinita e nos óxidos de Fe.

A variação da concentração e as lixiviações, detectadas nos diferentes planos de 30, 75 e 105 cm para as parcelas AC e AM, na solução de solo durante o período do experimento, aparecem nas Fig. 5, 6, 7 e 8.

As Fig. 5 e 6 permitem concluir que as variações nas concentrações de Ca na solução de solo acontecem principalmente na superfície do solo. Em geral se observa que, apesar de os padrões de variação entre as duas parcelas AC e AM não serem similares, a varia-

ção nas concentrações é aproximadamente idêntica, i.e., na faixa de 5 até 25 ppm. No caso da parcela AC, foram observados valores mais elevados de Ca. Este elevado conteúdo de Ca foi, inclusive, detectado na profundidade de 120 cm, o que indica que a maior parte deste Ca foi mobilizado junto à água que se movimentou através dos macroporos ou fissuras do solo. Este fato contraria a utilização da expressão da velocidade real da água, dada por Kirkham & Powers (1972) como maneira de se estimar a velocidade real de movimentação de nutrientes.

Assim, considerando a descida meramente capilar, até o dia 30 de novembro, de 150 mm de água, considerando um conteúdo médio de umidade de 0,25 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, deduz-se pela expressão $V = q/\theta$ ou $150/0,25$, que o Ca deveria ter-se concentrado na profundidade de 60 cm. No entanto, este elemento foi detectado também à profundidade de 105 cm no mesmo período.

Observa-se, em meados de janeiro, um novo aumento nos níveis de Ca na solução de solo. Isto pode ser atribuído à solubilização de novas frações do calcário aplicado. Finalmente, no fim de fevereiro observa-se um novo aumento da concentração do Ca apenas na primeira profundidade (0-30 cm). Além do fator de

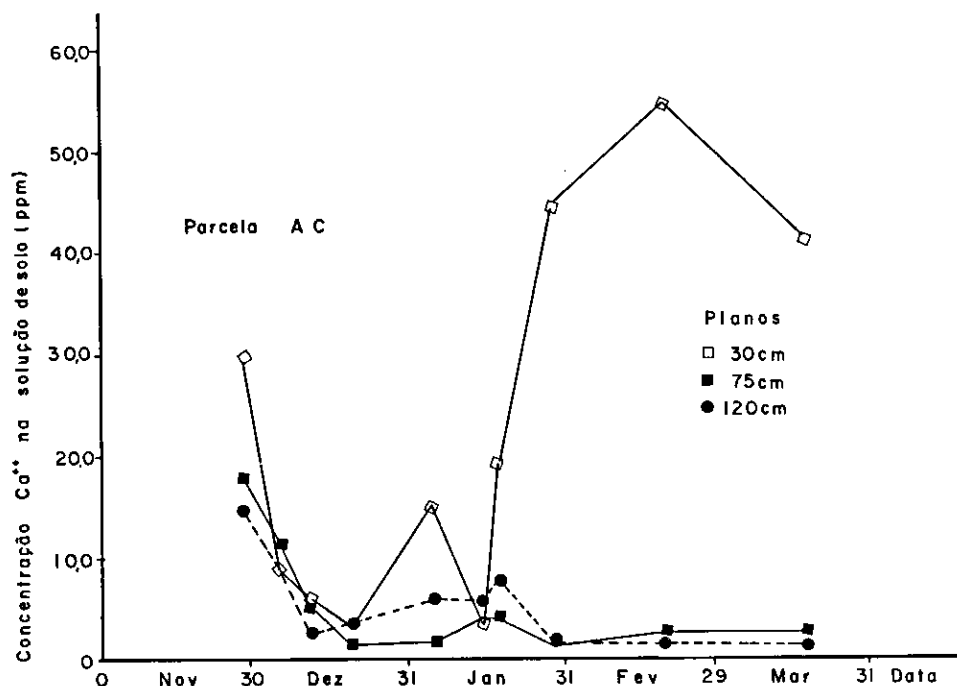


FIG. 5. Variação da concentração do Ca na solução do solo na parcela AC, em diferentes profundidades, durante o período do experimento.

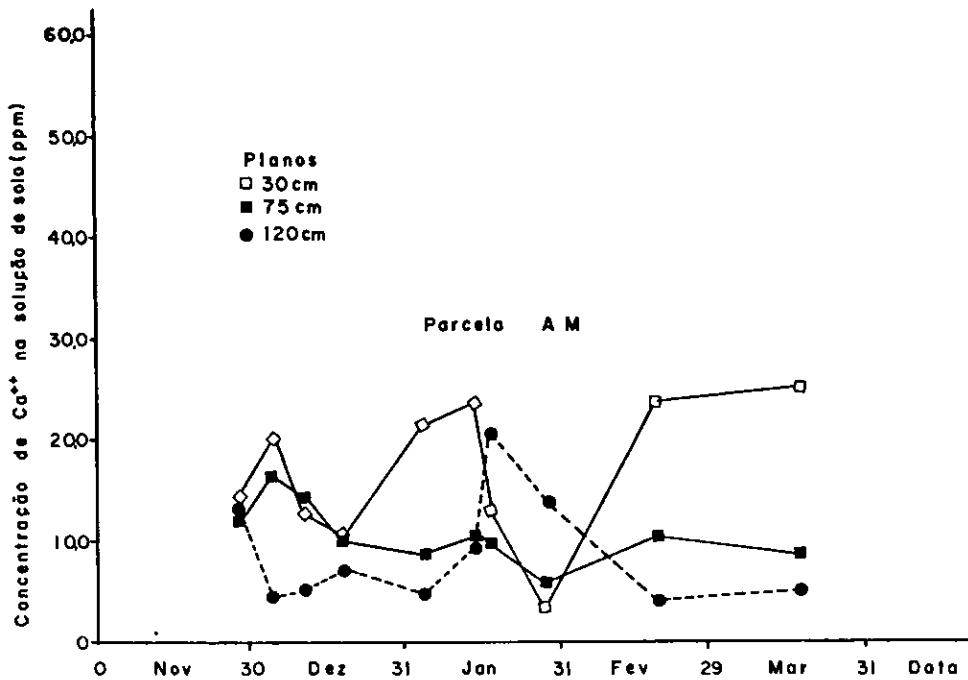


FIG. 6. Variação da concentração do Ca na solução do solo na parcela AM, em diferentes profundidades, durante o período do experimento.

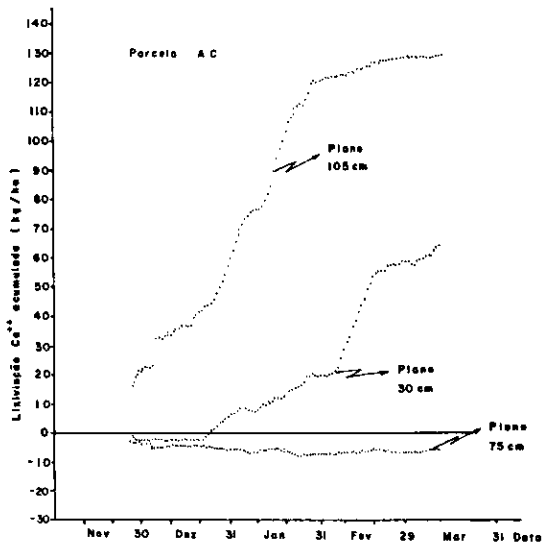


FIG. 7. Lixiviação acumulada de Ca na parcela AC, nas profundidades 30, 75 e 105 cm, durante o período do experimento.

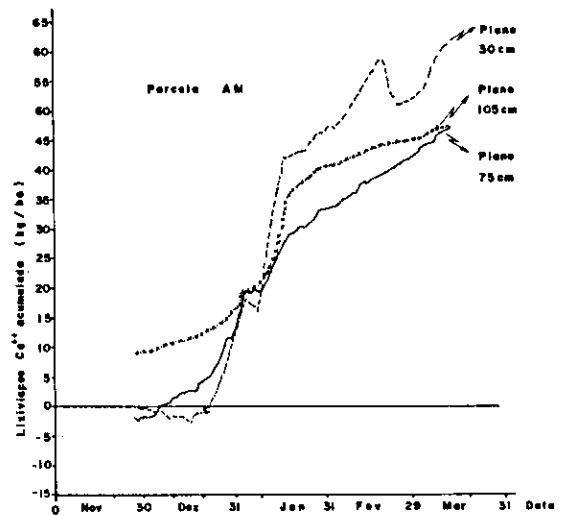


FIG. 8. Lixiviação acumulada de Ca na parcela AM, nas profundidades 30, 75 e 105 cm, durante o período do experimento..

tamanho de partículas, é possível pensar que neste período a absorção de Ca da cultura tinha diminuído e por isto a concentração na solução teria aumentado.

Apesar de existir escassa informação relacionada à composição da solução de solo nos solos tropicais e particularmente nos solos de Cerrado, pode-se afirmar que os níveis de Ca encontrados não são elevados e são levemente inferiores aos obtidos por Juo & Ballaux (1977) na Nigéria em Ultissolos, i.e., em torno de 20 ppm.

González-Erico et al. (1979), em solos de Cerrado já adubados e corrigidos, encontraram que o conteúdo de Ca na solução de solo estava inversamente relacionado com o potencial de saturação de Al. Com 75% de saturação Al, eles acharam 13 ppm de Ca na solução; e com 0% saturação Al, os valores de Ca chegaram a 150 ppm. Eles concluíram que o Ca, por si, não foi fator limitante ao desenvolvimento radicular, considerando que os níveis de Ca obtidos foram em geral superiores a 20 ppm nos primeiros 20 cm. Estas concentrações de Ca, na ausência de Al, foram adequadas para o crescimento de culturas sensíveis, tais como o algodão.

Nas Fig. 5 e 6, observa-se que os conteúdos de Ca na solução de solo apresentam-se adequados para o desenvolvimento radicular somente na profundidade 0-30 cm, mas, em geral, as concentrações nas profundidades de 75 e 120 cm foram iguais ou inferiores a 10 ppm, explicando, assim, o desenvolvimento radicular superficial nos solos de Cerrado. Cabe lembrar que estes resultados foram obtidos logo após o calcário ser aplicado nestes solos durante o primeiro ano de cultivo.

As principais características químicas amostradas pela água de chuva aparecem na Tabela 4, e indicam que, como fonte externa de nutrientes, elas têm pouca significação, pelo menos em relação ao Ca, Mg e K, e que os conteúdos de Ca na solução de solo são originários dos corretivos e adubos adicionados ao solo.

Ainda assim, chama a atenção a estreita relação entre os pHs neutros da chuva e os pHs observados da solução de solo, todos na faixa de 6,90 até 7,70.

Lixiviação do Ca

A movimentação do Ca nas profundidades de solo de 30, 75 e 105 cm aparece nas Fig. 7 e 8. Observa-se uma estreita relação entre a movimentação de água e as quantidades de Ca lixiviados. Assim, as diferenças entre as parcelas, no que tange ao acréscimo de lixiviação de Ca, deve ser atribuída às diferenças nos valores de drenagem profunda. Se se considera que todo aquele Ca que foi lixiviado além dos 105 cm não é

TABELA 4. Características de concentração de nutrientes e pH da água de chuva durante o período do experimento.

Data	Água da chuva			
	Concentração (ppm)			
	Ca	K	Mg	pH
17/12	1,02	0,40	0,00	6,85
17/01	2,70	0,07	0,04	-
18/01	0,40	0,10	0,40	7,10
22/01	0,40	0,16	0,30	7,00
28/01	0,50	0,16	0,50	7,00
06/02	0,30	0,07	0,50	6,00
13/12	0,50	0,01	0,40	6,40
20/02	0,20	1,60	0,40	6,40
23/02	0,00	0,35	0,00	5,80
28/02	0,40	0,10	0,50	5,80
28/03	0,40	0,15	0,00	5,80

- Análise não efetuada.

proveitável pelas culturas, as perdas na parcela AC e AM foram de 129 e 47 kg/ha, respectivamente, quantidades que equivalem a 6,08 e 2,56%, respectivamente, do total aplicado na forma de adubos e corretivos.

Na Tabela 5, observa-se que a maior parte do Ca adicionado foi acumulado em formas trocáveis ou não trocáveis (95,90%), sendo que, como se observa na Tabela 6, a maior parte do Ca trocável (76%) acumulou-se na profundidade de 0-30 cm, o que permite confirmar o trabalho de Ritchey et al. (1980), no sentido de que a maior parte das formas de Ca concentram-se na superfície do solo.

O fenômeno citado é mais evidente se se considera que a maior parte do desenvolvimento radicular do milho tem lugar durante os primeiros 70 dias de desenvolvimento vegetativo. Até aquela época, i.e., aproximadamente 10 de janeiro, observou-se lixiviação na profundidade 105 cm de 76 e 21 kg/ha, respectivamente, nas parcelas AC e AM (Fig. 7 e 8). Apesar disso, os totais de Ca lixiviado na profundidade 30 cm foram em torno de 60 kg/ha.

Outra situação que chama a atenção é o fato da grande diferença em pH entre o solo (- 5,0) e a solução de solo (- 7,0). O fato de o pH da solução de solo ser quase neutra e o do solo ser ácido indica que, por causa do rápido movimento da solução de solo e do baixo poder tampão do solo, não existe equilíbrio suficiente

TABELA 5. Balanço do Ca aplicado na cultura do milho em um solo LE de Cerrado (parcela AC), na profundidade de 0-90 cm, durante o ano agrícola 1979/1980.

	Cálcio adicionado (cálcio + superfosfato simples)	Cálcio trocável** (final-inicial)	Ca extraído* pela cultura	Ca lixiviado além dos 105 cm	Ca nas raízes, formas não trocáveis ou não solúveis
kg/ha	2.120,00	1.113,00	40,00	47,00	920,00
% do Ca adicionado	100,00	52,50	1,89	2,22	43,40

* Assumindo produções médias de 4.000 kg milho/ha.

** Ver Tabela 1.

TABELA 6. Aumento do Ca trocável no fim do período vegetativo do milho na profundidade 0-90 cm, num solo LVE de Cerrados, após a adição de corretivos e adubos.

Prof. (cm)	Acréscimo de Ca trocável	
	(kg/ha)	(%)
0-15	684	(61,45%)
15-30	165	(14,82%)
30-45	111	(9,97%)
45-60	81	(7,27%)
60-75	45	(4,04%)
75-90	27	(2,42%)
Total	1.113,0	100,00

entre a fração sólida do solo e a solução. Juo & Ballaux (1977), em Ultissolos da Nigéria, acharam que o pH da solução de solo variou de 3,8 a 4,5, indicando que os lixiviados continham consideráveis quantidades de íons H e Al.

Os rendimentos de milho obtidos nas parcelas AC e AM foram de 3.920 e 1.380 kg/ha, respectivamente, sendo que a diferença em rendimento pode ser atribuída às diferentes quantidades de nutrientes, particularmente P, adicionados em cada tratamento.

Os reduzidos rendimentos obtidos na parcela AM parecem não depender da concentração de Ca na solução de solo, que, em geral, foi baixa (< 1,0 mEq/l) e aproximadamente similar em ambos tratamentos, pelo menos durante os primeiros 80 dias de desenvolvimento da cultura.

Concentração de K na solução de solo

As Fig. 9 e 10 mostram as variações das concentrações de K na solução de solo durante o período do experimento. Em geral, para todas as profundidades a concentração de K foi inicialmente elevada, atingiu um mínimo em meados e fim de janeiro, e um novo incremento no fim de fevereiro. Após a primeira semana de dezembro, as concentrações de K nas profundidades 75 e 120 cm foram superiores ao da primeira profundidade, indicando uma rápida movimentação do K em profundidade.

O incremento das concentrações de K observadas no fim do experimento pode ser atribuído à liberação deste nutriente do material vegetal, como tem sido enunciado por Ritchey (Cornell University 1979). Uma outra explicação poderia ser encontrada no fato de que as concentrações do elemento na solução de solo aumentaram na medida em que a magnitude dos fluxos de drenagem diminuíram. Esta situação foi quantificada para as parcelas AM (75 cm) e AC (105 cm). Os coeficientes de correlação entre concentração do elemento e fluxo mostraram-se altamente significativos, sendo $r = 0,78^{***}$ para a parcela AM e de $r = -0,96^{**}$ para a parcela AC. As equações de regressão das parcelas AM, AC e combinadas (AC e AM) foram:

$$\text{Eq. parcela AM: } Y = 21,80 - 4,76 X;$$

$$\text{Eq. parcela AC: } Y = 88,14 - 14,28 X;$$

$$\text{Eq. combinada: } Y = 138 - 33,33 X, \text{ onde } [X = \text{fluxo em mm/dia e } Y = \text{concentração de K em ppm.}]$$

As concentrações de K no lixiviado (0,05 e 0,25 mEq/l) resultaram ser bastantes similares aos valores obtidos na Nigéria por Juo & Ballaux (1977), que variaram entre 0,10 e 0,15 mEq/l. Eles acharam que o efeito da calagem na concentração dos lixiviados não foi significativa e que

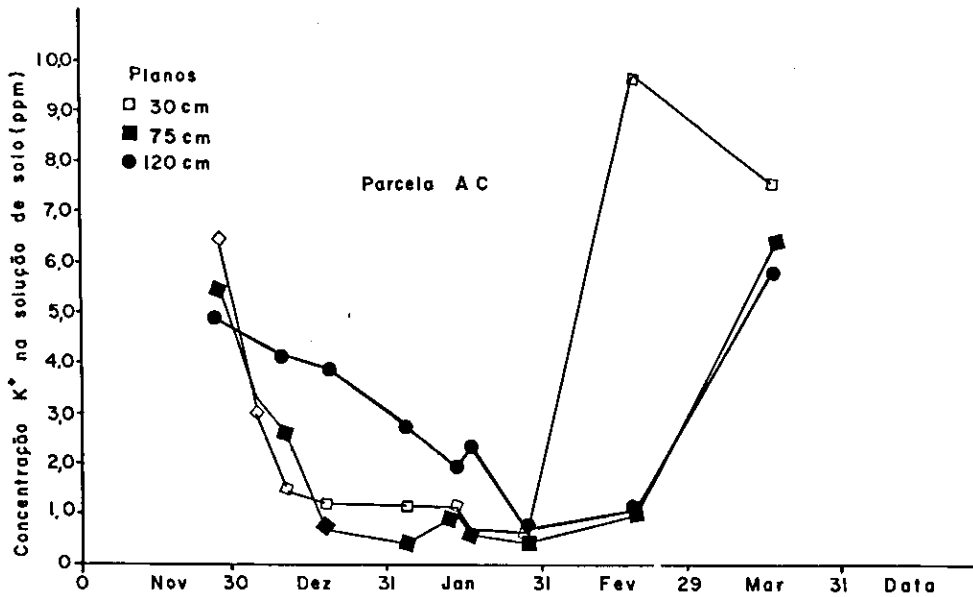


FIG. 9. Variação da concentração de K na solução do solo na parcela AC, em diferentes profundidades, durante o período do experimento.

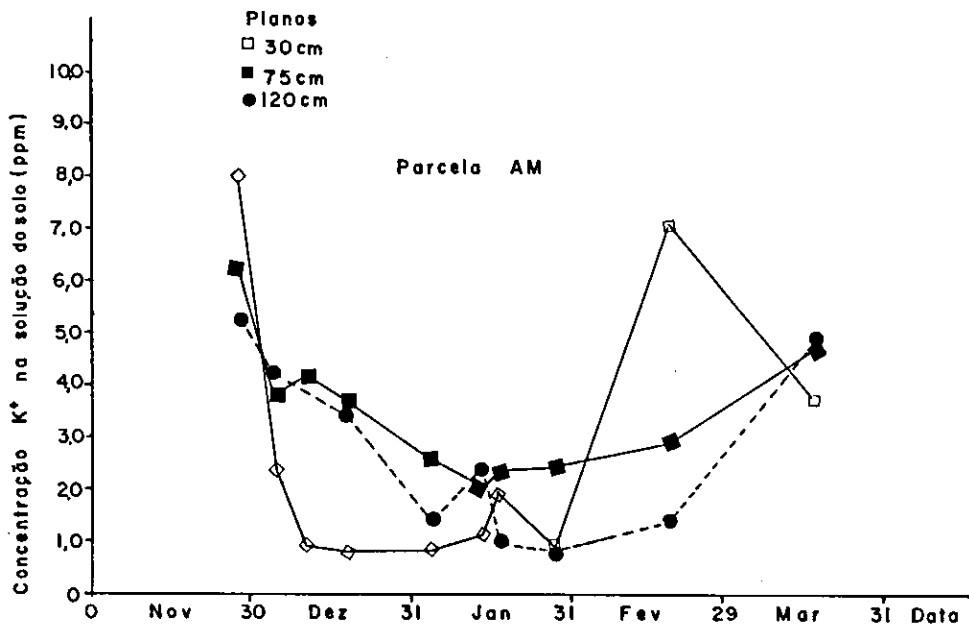


FIG. 10. Variação da concentração de K na solução do solo na parcela AM, em diferentes profundidades, durante o período do experimento.

em relação ao total de K adicionado, as perdas variaram entre 0,7 e 1,9%.

González-Érico (1975) estudou a solução de solo de um solo LE de Cerrados, e achou que a concentração de K foi, em média, de 0,63 mEq/lit, a qual seria pelo menos três vezes superior aos valores achados no presente estudo.

Goedert et al. (1975), trabalhando com Oxissolos e Ultissolos do sul do Brasil, acharam que a calagem diminuiu a quantidade de K na solução de solo e manteve o nível de K trocável num nível aproximadamente constante. Eles concluíram, ainda, que a calagem diminuiria a susceptibilidade do K à lixiviação. Isto pode também reduzir a solução de K a níveis onde a planta possa sofrer de deficiência de K, o que também foi observado no presente experimento.

Perdas por lixiviação

Segundo a Cornell University, USA (1979), a aplicação de K em sulcos resulta em concentrações ($> 1,0$ mEq/100 g) que podem ultrapassar a capacidade de retenção dos oxissolos, favorecendo sobremodo sua lixiviação, quando comparada com a aplicação a lâncço. Aquela universidade também verificou que, no Brasil Central, com adições de até 125 kg/ha de K, a perda de K além dos 30 cm não foi significativa. Adições de 250 e 500 kg/ha geraram lixiviação a 60 cm e 90 cm, respectivamente. Num Ultissolo do Peru foram reportadas perdas de até 300 kg/ha de K num solo adubado; e durante um período de 15 meses, nos primeiros 10 cm de solo, verificaram-se perdas, por lixiviação, de 238 kg/ha.

As plantas em crescimento contêm grandes quantidades de K, e assim, provêem um mecanismo para minimizar as perdas por lixiviação. Bananas e outras culturas podem absorver do solo até 800 kg/ha de K. Na medida em que as partes vegetativas da mandioca começam a morrer, o conteúdo total de K na planta declina. O potássio não é quimicamente ligado aos tecidos vegetais; pode ser facilmente lavado o material senescente pela água da chuva e assim devolvido ao solo. Um efeito similar foi observado por Ritchey et al. (1977) num solo LE de Cerrados.

Ritchey et al. (1977) observou uma menor lixiviação de K nas plantas que dispunham de suficiente N em comparação com as plantas deficientes em nitrogênio por causa do menor desenvolvimento vegetativo da cultura neste último caso. Por outro lado, Souza et al. (1979), estudando o balanço do K na profundidade de 0-90 cm, não acharam perdas por lixiviação, sendo que a maior parte do K adicionado permaneceu na forma trocável.

Nas Fig. 11 e 12 é apresentada a movimentação de K nas diferentes profundidades do solo para as parcelas AC e AM. As perdas foram da ordem de 67,5 e 14,7 kg/ha de K, respectivamente, na profundidade de 105 cm. Como já foi mencionado, a movimentação do K acompanha estreitamente o movimento das águas de drenagem, e as quantidades de K lixiviado, particularmente na parcela AC, são superiores ao que pode ser esperado.

O mais interessante, sem dúvida, é o fato de que, na profundidade 105 cm, para uma lixiviação de K acumulada nas parcelas AC e AM, de 67,5 e 13,8 kg/ha de K, respectivamente, e para uma drenagem acumulada de 2.610 e 520 mm nas mesmas parcelas, respectivamente, foi obtida uma relação de 38,67 mm/kg/ha de K e 37,83 mm/kg/ha de K, para AC e AM. Isto estaria indicando que a quantidade de K lixiviado é fortemente dependente do volume de água que drena através do solo, e que a dinâmica da extração de nutrientes pela cultura tem uma importância secundária.

Concentração de Mg na solução de solo

Nas Fig. 13 e 14 podem ser observados os conteúdos de Mg na solução de solo. Em geral, as concentrações oscilaram entre 1 e 6 ppm (0,08 e 0,5 mEq/lit), o que coincide com os valores reportados por Juo & Ballaux

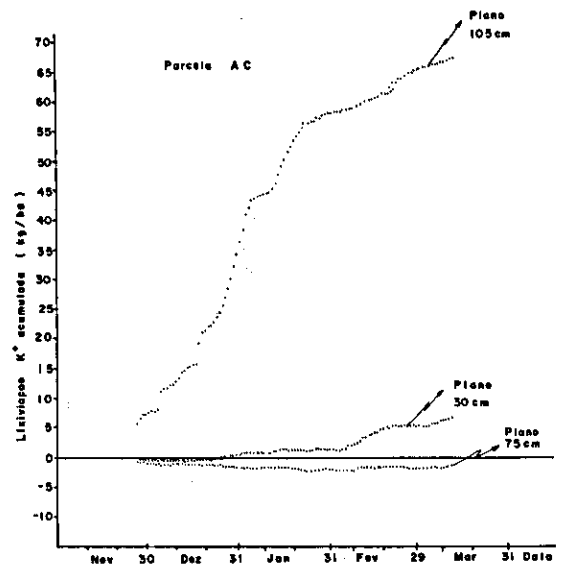


FIG. 11. Lixiviação acumulada de K na parcela AC, nas profundidades de 30, 75 e 105 cm, durante o período do experimento.

(1977) em Ultissolos da Nigéria, mas eles são superiores aos valores de 0,28-0,45 mEq/lit, encontrados por González-Érico et al. (1979) em Oxissolos de Cerrado localizados na Estação Experimental da EMBRAPA/CPAC.

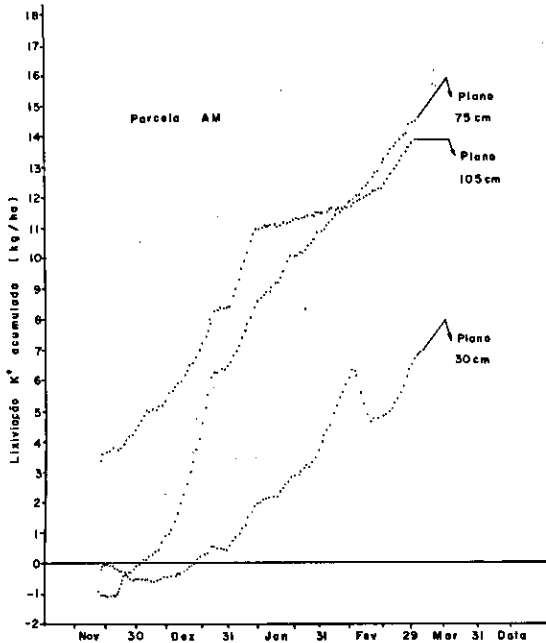


FIG. 12. Lixiviação acumulada de K na parcela AM, nas profundidades de 30, 75 e 105 cm, durante o período do experimento.

As características da movimentação de Mg foram bastante similares ao do ion Ca, sugerindo que a fonte de Mg foi similar à do calcário adicionado ao solo. O calcário adicionado continha aproximadamente 0,49% Mg, o que significa que foram adicionados 27,5 kg/ha. Nas Fig. 13 e 14 se observa que após um período inicial o conteúdo de Mg na profundidade 30 cm diminuiu de 6 e 4 ppm até um valor de 1,0 ppm. A rápida movimentação do Mg é evidenciada pelo aumento das concentrações na profundidade 105 cm. O máximo de concentração na solução de solo nas profundidades 75 e 105 cm foi obtido em meados de janeiro, para diminuir posteriormente, provavelmente por causa do esgotamento das formas solúveis pela lixiviação. Na Fig. 13 pode observar-se, ainda, um incremento final na concentração do Mg na profundidade 30 cm. Isto pode ser explicado em função da solubilização de formas de calcário inicialmente com partículas de tamanho maior (menor superfície específica).

Perdas de Mg por lixiviação

A movimentação do Mg por lixiviação nas profundidades de 30, 75 e 105 cm podem ser observadas nas Fig. 15 e 16.

A movimentação de Mg foi similar à da água de drenagem. Em geral, a lixiviação foi bastante rápida na profundidade de 105 cm, mas esta movimentação se manteve praticamente constante a partir de 19 de janeiro, pelo fato de a maior parte do Mg já ter sido lixiviado. No caso da profundidade de 30 cm, a lixiviação na parcela AM só foi evidente a partir do fim do mês de dezembro (10 kg/ha). No caso da parcela AC, praticamente não foi observada a lixiviação do Mg,

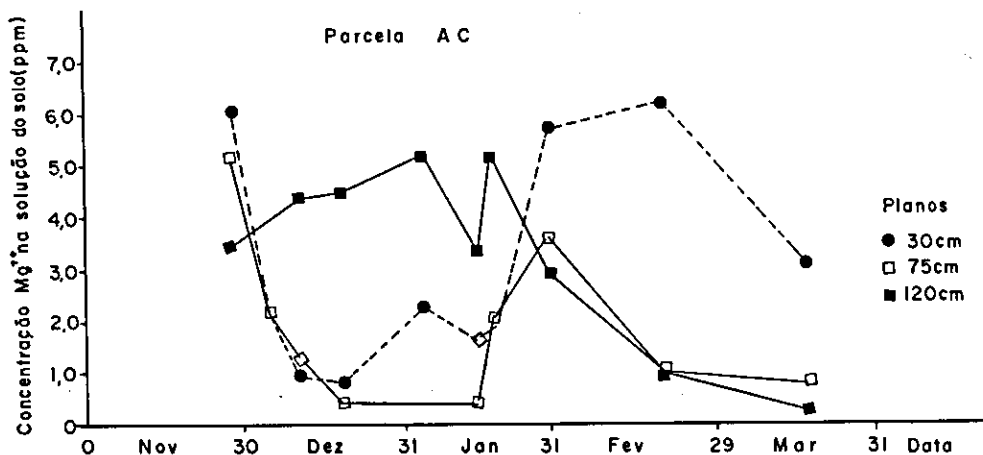


FIG. 13. Variação da concentração de Mg na solução do solo na parcela AC, em diferentes profundidades, durante o período do experimento.

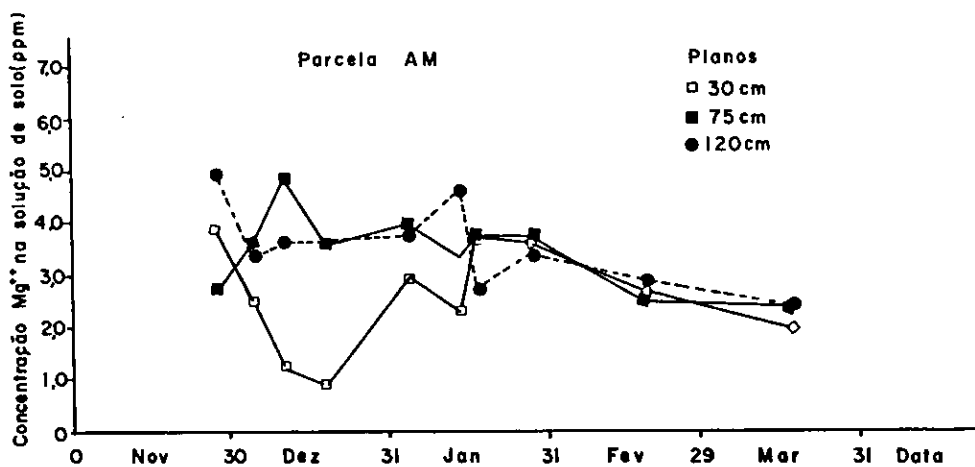


FIG. 14. Variação da concentração de Mg na solução do solo na parcela AM, em diferentes profundidades, durante o período do experimento.

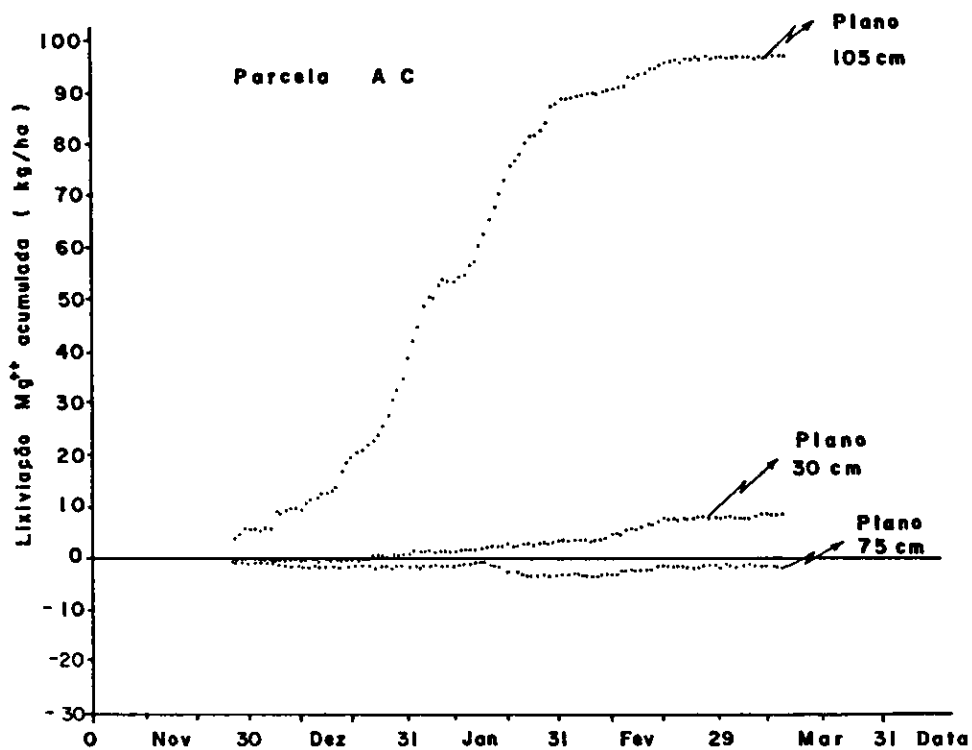


FIG. 15. Lixiviação acumulada de Mg na parcela AC, nas profundidades 30, 75 e 105 cm, durante o período do experimento.

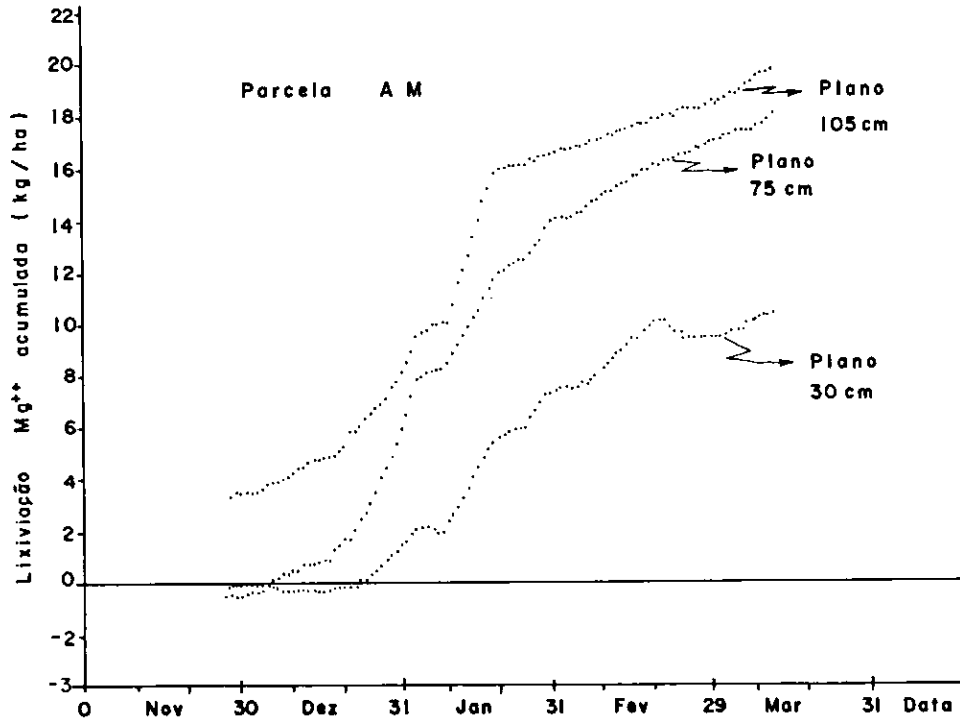


FIG. 16. Lixiviação acumulada de Mg na parcela AM, nas profundidades 30, 75 e 105 cm, durante o período do experimento.

além dos 8 kg/ha. Esta diferença de comportamento pode ser explicada em função dos menores fluxos verticais de água na profundidade de 30 cm observados na parcela AC (270 mm), em comparação com a parcela AM (375 mm). Isto dá uma indicação de que por cada kg de Mg lixiviado na profundidade 30 cm se precisa de 31,76 e 36,06 mm de água drenada nas parcelas AC e AM, respectivamente.

Segundo Sánchez (1976), Pearson e colaboradores encontraram em 1962, num Ultissolo de Porto Rico, que sob manejo intensivo de pasto e uma aplicação de 12 t/ha de calcário o Ca e o Mg se movimentaram até o subsolo quando foi aplicado $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ em doses equivalentes a 800 kg/ha de N. Em geral, os resultados indicam que o movimento profundo de Ca e Mg acontece em solos tropicais bem estruturados quando eles são calcariados em quantidades necessárias para neutralizar o Al trocável. Uma explicação do fenômeno é que, uma vez que os lugares de carga permanente são saturados, o Ca e Mg trocáveis retidos nas posições dependentes do pH podem movimentar-se facilmente. A natureza porosa dos solos bem estruturados, à mineralogia argilosa e a elevada pluviosidade favorecem tal movimentação.

No caso da profundidade 105 cm foi detectada uma perda por lixiviação de 95,5 e 19,8 kg/ha para as parcelas AC e AM, respectivamente. As curvas das Fig. 3, 4, 15 e 16 indicam uma estreita relação entre a quantidade total de água de drenagem e o Mg lixiviado. Foi requerido para lixiviar 1 kg de Mg, 27,33 e 26,46 mm de água de drenagem, respectivamente. Isto é importante, porque, se forem determinados exatamente os níveis de água de drenagem, será possível estimar as perdas de Mg por lixiviação.

Sendo que a única fonte de Mg conhecida adicionada foi a contida no calcário - aproximadamente 27,5 kg/ha -, as perdas além dos 105 cm observadas na parcela AM foram razoáveis, ainda que consideráveis. As perdas observadas na parcela AC foram consideráveis, e somente podem ser explicadas em função das características de condução do perfil de solo ou da movimentação lateral horizontal da água proveniente de outras áreas.

As perdas de Mg, contudo, podem ser consideradas reduzidas, se comparadas com os 113, 232 e 313 kg/ha observados respectivamente na Costa do Marfim (Ultissolo), Colômbia (Andept) e Filipinas (Alfissolo) (Sánchez 1976).

CONCLUSÕES

1. Os resultados de drenagem e a lixiviação de nutrientes foram fortemente afetados pela estratificação textural dos solos, o que resultou em maiores fluxos de drenagem (2.500 mm no plano 105 cm) na parcela AC (perfil não homogêneo) em comparação com a parcela AM (perfil homogêneo) (520 mm no plano de 105 cm), sendo que esta última pode ser considerada como representativa dos solos LE da região.

2. As variações de concentração de Ca aconteceram principalmente na superfície do solo; os valores oscilaram entre 0,25 - 1,25 mEq/l. A velocidade de movimentação do Ca foi grande, até maior que a correspondente velocidade real calculada de acordo com Kirkham & Powers (1972), o que confirma conceitos de Quinsberry & Phillips (1978) no sentido que, sob algumas condições de solo, a maior parte do movimento de água tem lugar nos "interpedons", i.e., nas fissuras do solo.

3. Sendo que os rendimentos do milho foram apreciavelmente diferentes, o Ca não parece ser o elemento limitante ao desenvolvimento mas sim o nível de P disponível na primeira profundidade.

4. A lixiviação total do Ca durante o período e na profundidade de 105 cm atingiu 129 e 47 kg/ha, para as parcelas AC e AM, respectivamente, sendo que este último valor equivale a aproximadamente 2,5% do Ca inicialmente adicionado. A maior parte do Ca adicionado foi acumulado em formas trocáveis ou não trocáveis, na profundidade de 0 a 30 cm (97,41%).

5. O pH da solução de solo se manteve permanentemente num valor aproximado de 7,0 e foi bastante diferente do pH do solo de aproximadamente 5,0.

6. As concentrações mais elevadas de K na solução de solo foram observadas na primeira profundidade, e variaram entre 0,05 e 0,25 mEq/lit, similares a valores reportados em outros solos tropicais, porém foram três vezes inferiores aos valores encontrados por González-Érico (1975) em solos de Cerrado. As perdas por lixiviação no plano 105 cm atingiram a 67,5 e 14,7 kg/ha de K para as parcelas AC e AM, o que representa 48,21 e 36,75%, respectivamente, do K inicialmente aplicado.

7. Foi encontrada uma estreita relação entre o fluxo de drenagem a 105 cm e a quantidade de K lixiviado. Assim, para as parcelas AC e AM foi encontrado que para lixiviar 1 kg/ha de K se precisa de 38,67 e 37,33 mm de água de drenagem, respectivamente.

8. As concentrações de magnésio na solução de solo oscilaram entre 0,08 e 0,5 mEq/lit, similares a valores reportados na Nigéria, mas em geral levemente superiores aos valores reportados para a região de Cerra-

dos. As características de movimentação do Mg foram similares ao do Ca, apesar do Mg contido no calcário ser de apenas 27,5 kg/ha. A lixiviação do Mg foi rápida, mantendo-se a concentração deste elemento em torno de 1 ppm.

9. A maior parte de Mg já estava lixiviado em meados de janeiro. Na parcela AM (considerada normal), à profundidade 105 cm foi detectado um fluxo total de 19,8 kg/ha i.e., 72% do Mg contido no calcário.

10. Para lixiviar 1 kg/ha de Mg foram requeridos 27,33 e 26,46 mm de água de drenagem a 105 cm nas parcelas AC e AM, respectivamente. Em resumo, se se consideram as quantidades de nutrientes adicionais como corretivos e adubo, as perdas de Ca podem ser consideradas reduzidas, ao contrário das de K e Mg. Contudo, estas perdas são bastante inferiores às reportadas em outros solos tropicais, as quais podem ser explicadas pela natural baixa fertilidade dos solos.

11. As curvas de lixiviação acumulada para diversos nutrientes demonstram uma característica em comum com a curva de precipitação acumulada. Assim, à máxima lixiviação correspondeu o período de máxima intensidade de chuva.

REFERÊNCIAS

- ALBERTS, E.E.; BURWELL, R.E. & SCHUMAN, G.E. Soil nitrate-nitrogen determined by coring and solution extraction techniques. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:90-2, 1977.
- BIGGAR, J.W. & NIELSEN, D.R. Miscible displacement and leaching phenomenon. In: HAGAN, R.M.; HAISE, H.R. & EDMINSTER, T.W. ed. *Irrigation of agricultural lands*. Madison, Wisc., American Society of Agronomy, 1967. p.254-74. (Agronomy, 11).
- BIGGAR, J.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of the leaching characteristics of a field soil. *Water Resour. Res.*, 12:78-84, 1976.
- COUTO, W.; LATHWELL, D.J. & BOULDIN, D.R. Sulfate sorption by two oxisols and an alfisol of the tropics. *Soil Sci.*, 126:108-16, 1979.
- CORNELL UNIVERSITY. *Potassium fertility in oxisols and ultisols of the humid tropics*. New York, College of Agriculture and Life Sciences, 1979. 45p. (Cornell International Agriculture Bulletin, 37).
- ESPINOZA, W. Extração de água pelo milho em latossolo da região dos Cerrados. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 15(1):69-78, 1980.
- GALLEZ, A.; JUO, A.S.R. & HERBILLON, A.J. Surface and charge characteristics of selected soils in the tropics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40:601-8, 1976.

- GOEDERT, W.J.; COREY, R.B. & SYERS, J.K. The effects on potassium equilibria in soils of Rio Grande do Sul, Brazil. *Soil Sci.*, 120:107-11, 1975.
- GONZÁLEZ-ÉRICO, E. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn in oxisols of Central Brazil. Raleigh, North Carolina State University, 1975. 126p. Tese Doutorado.
- GONZÁLEZ-ERICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMAN, G.C. & SOARES, W.V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an oxisol of Central Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:1155-8, 1979.
- JUO, A.S.R. & BALLAUX, J.C. Retention and leaching of nutrients in a lime ultisol under cropping. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:757-61, 1977.
- KIRKHAM, D. & POWERS, W.L. *Advanced soil physics*. New York, Wiley Interscience, 1972. 534p.
- MEIRELLES, M.F. *Absorção e lixiviação de N em cultura de feijão*. Piracicaba, ESALQ, 1979. 120p. Tese Mestrado.
- MORAIS, I.F., PAGE, A.L. & LUND, L.J. The effect of pH, salt concentration, and nature of electrolytes on the charge characteristics of Brazilian tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40:521-7, 1976.
- PLOEG, R.R. van der. & BEESE, F. Model calculation for the extraction of soil water by ceramic cups and plates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:466-70, 1977.
- POL, R.M. van der.; WIERENGA, P.J. & NIELSEN, D.R. Solute movement in a field soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:10-3, 1977.
- QUINSENBERRY, V.L. & PHILLIPS, R.E. Displacement of soil water by simulated rainfall. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:675-8, 1978.
- RAIJ, B. van & PEACH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols in the tropics. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36:587-93, 1972.
- RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Potassium fertilization in soils of tropical America. In: *COLOQUIO DE SUELOS: POTASIO Y MICRONUTRIENTES EN LA AGRICULTURA COLOMBIANA*, Bogotá, 1977. Campos cerrados... Colômbia, 1977.
- RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. & CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah oxisol. *Agron. J.*, 72:40-4, 1980.
- SÁNCHEZ, P.A. *Properties and management of soils in the tropics*. New York, John Wiley and Sons, 1976, 618p.
- SHARMA, M.L. & UEHARA, G. Influence of soil structure on water relations in low humic latossols: I. Water retention. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 32:765, 1968.
- SIDLE, R.C. & KARDOS, L.T. Nitrate leaching in a sludge-treated forest soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:278-82, 1979.
- SOUZA, D.M.G.; RITCHEY, K.D.; LOBATO, E. & GOEDERT, W.J. Potássio em solo de Cerrado. II. Balanço no solo. *R. Bras. Ci. Solo.*, 3:33-6, 1979.
- STARR, J.L.; DELOO, H.C.; FRINK, C.R. & PARLANGE, J.Y. Leaching characteristics of a layered soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:386-91, 1978.
- WOLF, J.M. *Water constraints to corn production in Central Brazil*. Ithaca, Cornell University, 1975. 199p.