

MOVIMENTO VERTICAL DE NITRATO, AMÔNIO, CLORETO E POTÁSSIO
EM COLUNAS DE SOLO IRRIGADO¹

CLEMENTE RIBEIRO DOS SANTOS²

PAULO AFONSO FERREIRA³

ANTONIO CARLOS RIBEIRO⁴

HILBERT PIRES HENRIQUES⁵

TARCISO JOSÉ CAIXETA⁶

¹Parte da tese apresentada à Universidade Federal Viçosa, pelo primeiro autor, como uma das exigências para obtenção do título "Magister Scientiarum" em Engenharia Agrícola.

²Engenheiro Agrônomo, M.Sc. Irrigação e Drenagem, Convênio CPATSA/CHESF. Petrolina-PE.

³Professor Titular, Ph.D., Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa-MG.

⁴Professor Titular, Ph.D., Departamento de Solos, UFV, Viçosa-MG.

⁵Professor Adjunto, Ph.D., Departamento de Química, UFV, Viçosa-MG.

⁶Engenheiro Agrônomo, M.Sc. Pesquisador EPAMIG, Viçosa-MG.

RESUMO

As deficiências nutricionais dos solos sob vegetação de cerrado ocupam lugar de destaque, dentre as várias limitações para a racionalização da produção agrícola. Possuindo reserva praticamente nula de minerais intemperizáveis esses solos apresentam acidez elevada, baixa capacidade de troca de cátions, alta capacidade de fixação de fósforo, alta saturação de alumínio e deficiência quase generalizada de macro e micronutrientes.

Para solos sob cerrado, mesmo em condições não saturadas se processa uma percolação considerável que pode conter outras implicações para seu manejo. Considerando-se que o movimento iônico é relativamente maior em condições de fluxo não saturado, pode-se esperar grande movimentação e redistribuição iônica com o tempo, para esses solos.

Grande quantidade de fertilizantes pesticidas e sais estão se perdendo na zona das raízes das plantas por lixiviação com água para o subsolo. Enquanto tais perdas, frequentemente, constituem um prejuízo econômico para o agricultor, elas podem, também, apresentar uma ameaça para a qualidade da água subterrânea, ou poluir a água de drenagem. A fim de predizer o destino dos produtos químicos aplicados na superfície do solo, o processo de movimento simultâneo de água e solutos deve ser bem entendido.

Num experimento, sob condições de laboratório, foi estudada a movimentação vertical dos íons nitrato, amônio, cloreto e potássio, em função da profundidade e do tempo, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, classificado texturalmente como muito argiloso, localizado na região de cerrado de Felixlândia-MG.

Para execução do experimento foi utilizado um modelo físico de laboratório constituído de duas colunas de PVC rígido, de 120 cm

de comprimento e 15 cm de diâmetro externo, devidamente preenchidas com material de solo. Para monitorar a distribuição de umidade no perfil foi montada uma bateria de tensiômetros com manômetros de tubo em U e para extração de solutos a cada profundidade, instalou-se um sistema de vácuo.

O perfil de distribuição das concentrações dos íons considerados foi obtido mediante aplicação de 6,5 g de nitrato de amônio mais 3,0 g de cloreto de potássio, seguida de irrigações com lâminas de água de 9,5 e 6,5 mm para as colunas A e B respectivamente. As irrigações foram repetidas quatro vezes para a coluna A e três vezes para a coluna B, em intervalos de oito. Os tempos de redistribuição de soluto-água foram de 4,48 e 120 horas.

As determinações analíticas foram feitas por meio de eletrodos seletivos de íons. A condutividade elétrica da solução do solo foi determinada com o emprego de um condutivímetro.

Para as condições em que foi realizado este experimento, pode-se concluir que:

- 1) Os resultados obtidos permitem averiguar a ocorrência de acentuada lixiviação de nitrato e cloreto no plano inferior à profundidade de 80 cm, indicando que o solo estudado apresenta baixa capacidade de retenção desses íons;
- 2) A movimentação dos íons nitrato e cloreto foi governada, predominantemente por fluxo de massa, ao passo que o transporte de amônio e potássio foi regido quase somente por difusão iônica;
- 3) A lixiviação dos íons amônio e potássio foi muito menor do que a dos íons nitrato e cloreto;
- 4) A concentração máxima dos íons nitrato e cloreto teve uma contribuição maior para o valor de condutividade elétrica a 20°C;

- 5) A frente de avanço de solutos (N-NO_3^- , N-NH_4^+ , Cl^- e K^+) ficou sempre retardada ante a frente de avanço de umidade;
- 6) O uso de eletrodos seletivos de íons mostrou-se eficaz, prático e rápido para determinações analíticas de nitrato, amônio, cloreto e potássio, sob condições de laboratório.

1. INTRODUÇÃO

As deficiências nutricionais de um solo sob vegetação de cerrado ocupam lugar de destaque entre as várias limitações para a racionalização da produção agrícola. Possuindo reservas quase nulas de minerais intemperizáveis, esses solos apresentam acidez elevada, baixa capacidade de fixação de fósforo, alta saturação de alumínio e deficiência quase generalizada de macro e micronutrientes. A mobilidade dos nutrientes no solo tem implicações no mecanismo de absorção das plantas e reflete-se nas práticas de adubação. Se se considerar que as raízes ocupam cerca de 1% do volume do solo, é fácil concluir que, no caso de nutrientes de baixa mobilidade, a absorção pelas plantas será mais difícil, dependendo mais do mecanismo de difusão.

Segundo LOBATO & RITCHEY (1981), para solos sob cerrado, mesmo em condições não saturados, processa-se uma percolação considerável que pode conter outras implicações. Considerando que o movimento iônico é relativamente maior em condições de fluxo não saturado, pode-se esperar grande movimentação e redistribuição iônica com o tempo para esses solos.

Experimentos de campo, conduzidos por Miller e colaboradores, e estudos de laboratório, por Keller & Alfaro, citados por KIRDA et alii (1974), indicaram que a aplicação de água em diferentes taxas, durante lixiviação de sais solúveis no solo, forneceu distribuição

de concentração de sais, significativamente diferentes no interior do perfil do solo, por causa de diferenças na velocidade de água nos poros e da percentagem de saturação.

No presente trabalho, procurou-se estudar a redistribuição de Nitrato ($N-NO_3^-$), Amônio ($N-NH_4^+$), Cloreto (Cl^-) e Potássio (K^+), em colunas de material de solo mineral através da dinâmica de água, durante irrigações periódicas, com destaque para a metodologia de laboratório.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL DE SOLO

Um estudo de movimento de $N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$, Cl^- e K^+ , em colunas de material de solo de cerrado, para tempos de redistribuição de 4, 48 e 120 horas, foi conduzido no laboratório de Movimento de Água no Solo, do DEA da UFV. A temperatura do ar, durante o período de coleta do afluente a cada profundidade e a medição do potencial matricial de água no solo, foi de $20^\circ \pm 2^\circ C$ e a umidade relativa foi de $72\% \pm 10\%$.

O material de solo empregado no experimento é de um Latossolo Vermelho-Amarelo, da região de Felixlândia-MG, classificado texturalmente como muito argiloso, contendo 63% de argila 28% de silte e 5% de areia fina e 4% de areia grossa.

2.2. MODELO FÍSICO DE LABORATÓRIO

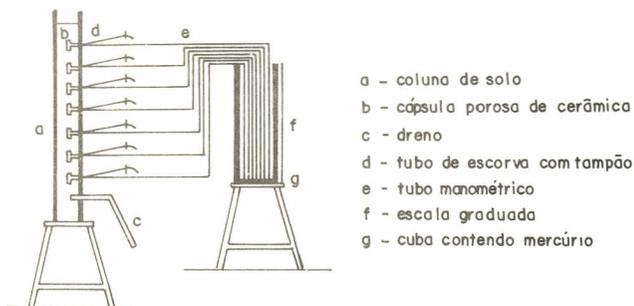
- Tubos de PVC rígido de 120 cm de comprimento e 15 cm de diâmetro externo foram utilizados para a construção das colunas como segue: 8 furos foram feitos no sentido longitudinal onde colocaram-se anéis de PVC rígido de 19,05 mm de \varnothing , espaçados de 12 cm.

Cápsulas porosas de cerâmica foram inseridas nos 7 primeiros anéis e no anel da base foi introduzido um tubo de drenagem, a fim de facilitar o escoamento da água de drenagem. A Figura 1 ilustra em corte longitudinal a coluna de material de solo com a bateria de tensiômetros de mercúrio. As cápsulas de tensiômetros com tubos manométricos contendo mercúrio funcionaram como mediador do potencial matricial de água no solo e como amostradores da solução do solo ao longo da coluna. A extração das soluções do solo foi realizada mediante a utilização de um sistema de vácuo, conforme pode ser na Figura 2. Um manômetro de mercúrio em U conectado a esse sistema indicava o valor de sucção imprimida em todas as cápsulas.

Duas colunas foram utilizadas para a aplicação dos fertilizantes e irrigações periódicas. Para o enchimento destas colunas, com material de solo devidamente peneirado (peneira de 4 mm \varnothing) e homogeneizado, utilizou-se um agitador rotativo.

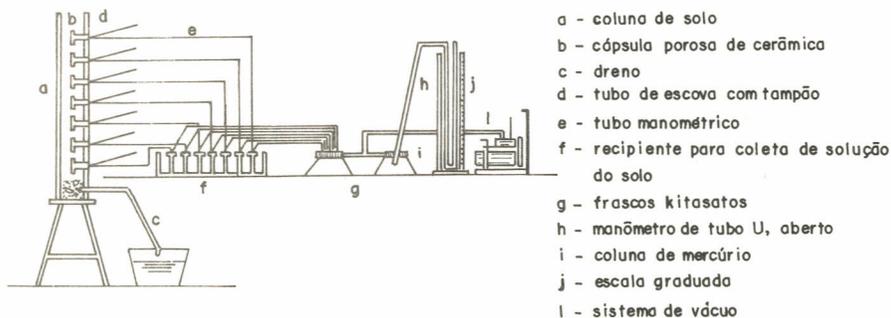
A densidade aparente resultante desse procedimento foi de 1,06 g/cm^3 e a densidade real, determinada, segundo metodologia descrita por BLAKE (1965) foi de 2,58 g/cm^3 .

As irrigações foram calculadas para duas lâminas de água, isto é, 6,5 mm e 9,5 mm, equivalente a volumes suficientes para que a frente de molhamento atingisse as profundidades de 41 e 68 cm, ao longo da coluna. Foram feitas quatro irrigações para a lâmina de 9,5 mm e 3 para a lâmina de 6,5 mm. A aplicação da água de irrigação foi feita por meio de uma bureta graduada de 50 ml, adaptada com pequeno ralo em sua base, simulando uma bateria de gotejadores. Este equipamento forneceu vazão média de $3,45 \times 10^{-4} l.s^{-1}$. A frequência de aplicação adotada foi de 8 dias. Posteriormente às irrigações, o perfil de umidade do solo ao longo das colunas ficou mantido entre 0,30 e 0,32 $cm^3.cm^{-3}$.



- a - coluna de solo
- b - cápsula porosa de cerâmica
- c - dreno
- d - tubo de escorva com tampão
- e - tubo manométrico
- f - escala graduada
- g - cuba contendo mercúrio

FIGURA 1- Corte longitudinal da coluna de material de solo mostrando o conjunto de tensiômetros de mercúrio usado na determinação do potencial matricial ao longo do perfil.



- a - coluna de solo
- b - cápsula porosa de cerâmica
- c - dreno
- d - tubo de escorva com tampão
- e - tubo manométrico
- f - recipiente para coleta de solução do solo
- g - frascos kitasatos
- h - manômetro de tubo U, aberto
- i - coluna de mercúrio
- j - escala graduada
- l - sistema de vácuo

FIGURA 2- Coluna de material de solo mostrando o esquema da coleta da solução de solo usando um sistema de vácuo.

- A solução de nutrientes foi composta de 6,5 g de NH_4NO_3 mais 3,0 g de KCl, diluída em água destilada para um volume de 60 ml aproximadamente. A intensidade de aplicação de solutos foi de $\pm 1,0 \text{ ml.s}^{-1}$, que foi feita com auxílio de uma pipeta graduada de 10 ml.

2.3. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

Foram observadas e medidas a distribuição do potencial matricial de água no solo e a variação da concentração dos íons com o tempo e a profundidade. Não foram considerados os efeitos da interação íon - colóide do solo.

Para determinação do potencial matricial ao longo da coluna de solo tubos manométricos de 3,7 mm de diâmetro foram introduzidos em uma cuba contendo mercúrio e escorvados. Os valores de coluna de mercúrio para cada profundidade foram utilizados para determinação do potencial matricial, usando-se, segundo RAMOS (1979) a expressão.

$$b = y - 12,6 (L + 0,61)$$

em que b é o potencial matricial (cm de água), Y é a distância vertical do nível de mercúrio ao tensiômetro (cm), L é a altura de coluna de mercúrio, 0,61 é o fator de correção de interação de capilaridade de Hg e H_2O no tubo manométrico (cm de mercúrio).

A determinação de condutividade hidráulica saturada utilizando-se as colunas como permeâmetro de carga foi baseada na metodologia de KLUTE (1965).

A porosidade total foi estimada a partir de valores de densidade aparente e de densidade real, segundo procedimento adotado por VOMOCIL (1965) e PIZARRO (1976).

2.4. DETERMINAÇÃO DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E DAS ATIVIDADES DOS ÍONS

A condutividade elétrica das soluções extraídas em várias profundidades foi medida usando-se um condutivímetro MICRONAL B-311-738.

A distribuição das atividades dos íons estudados foi determinada por meio de eletrodos seletivos, fabricados pela Orion Research Incorporated (1977) e apresentados nos modelos 95,12 para N-NH_4^+ , 94-17A para Cl^- , e da série -93 para N-NO_3^- e K^+ .

Para avaliação das atividades dos íons usou-se o método de curva de calibração de múltiplos pontos para cada íon, conforme sugestão de HORVAI e PUNGOR (1980). As Figuras 3, 4, 5 e 6, mostram as curvas da calibração dos eletrodos utilizados nesta pesquisa. A atividade dos íons na amostra foi obtida com o auxílio de um microprocessador digital, Orion, modelo 901 fazendo-se leituras do potencial do eletrodo, colocado na solução de solo, em mV. Plotando-se na curva de calibração o valor do potencial lido, obteve-se o valor da concentração do íon (ppm ou mg.l^{-1}).

A equação que representa a variação do coeficiente de atividade iônica com a concentração foi deduzida teoricamente por Debye e Hückel, citados por DENARO (1971) e pode ser encontrada em qualquer compêndio de Eletroquímica.

O procedimento analítico geral com reagentes e soluções requeridas para as determinações, incluindo a descrição das características dos eletrodos, é apresentado nos manuais de instrução do Orion Research Incorporated.

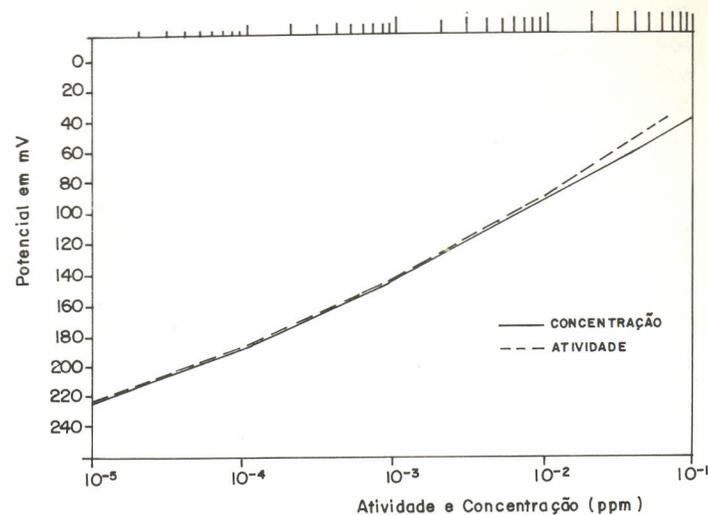


FIGURA 3- Curva típica de calibração do eletrodo de nitrato.

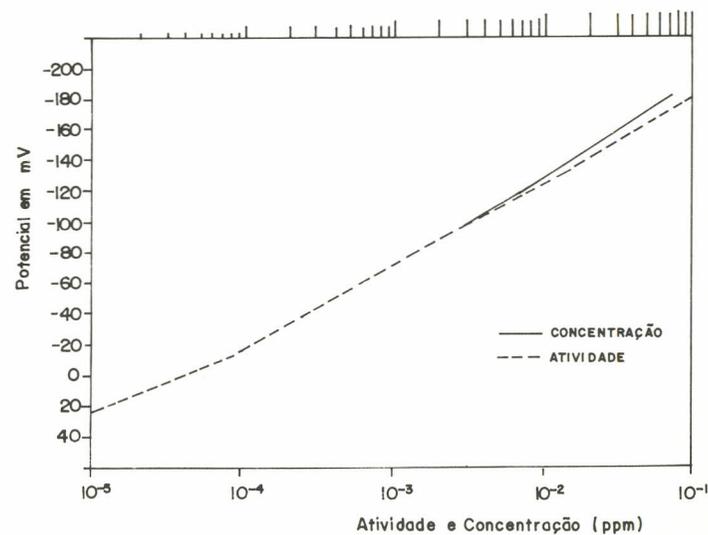


FIGURA 4- Curva típica de calibração do eletrodo de amônio.

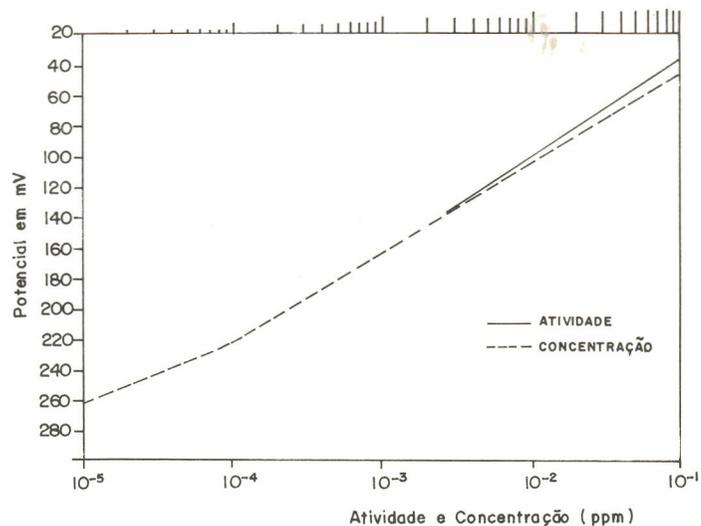


FIGURA 5 - Curva típica de calibração do eletrodo de cloreto.

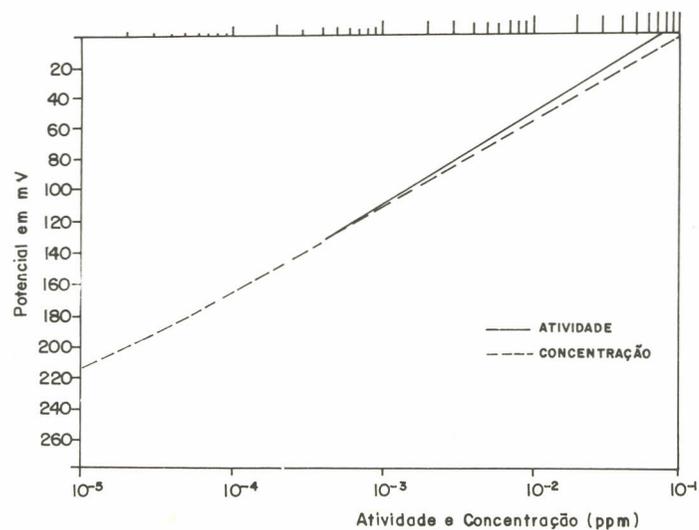


FIGURA 6 - Curva típica de calibração do eletrodo de potássio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. EFEITO DA ADIÇÃO DO CK1 E NH₄ NO₃ NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO SOLO

A análise química e a determinação do teor de carbono orgânico do material de solo estudado, realizadas imediatamente após a última coleta de amostra da solução do solo, encontram-se no Quadro 1.

QUADRO 1 - Análise química do material de solo estudado e teor de carbono orgânico.

PROF. (cm)	C. ORGÂN. (%)	pH	ppm P	ppm K	meq/100 Al ⁺⁺⁺	cm ³ Ca ⁺⁺	SOLO Mg ⁺⁺
00-08	1,68	6,3	1	200	0,9	0,0	0,0
08-20	1,23	6,0	1	200	1,2	0,0	0,0
20-32	1,91	4,7	1	150	1,9	0,0	0,0
32-44	1,38	4,2	1	130	2,1	0,2	0,0
44-56	1,90	4,0	1	120	2,0	0,3	0,0
56-68	1,94	4,1	1	106	1,9	0,4	0,1
68-80	2,24	4,1	1	100	2,0	0,6	0,3
80-92	1,53	4,3	1	94	2,1	0,4	0,2
92-110	1,91	4,7	1	86	2,2	0,4	0,1

Analisando-se esse quadro, pode-se observar que para o valor de pH 6,3, o teor de potássio trocável é de 200 ppm e para pH 4,7 a concentração de K⁺ reduziu-se para 150 ppm. Isto mostra que à medida que o pH desce a concentração de K⁺ diminui, reduzindo-se assim a atividade desse íon na solução do solo. Este resultado concorda com o discutido por MELLO et alii (1984).

3.2. DISTRIBUIÇÃO DE CONCENTRAÇÃO DE ÍON NITRATO ($N-NO_3^-$) EM FUNÇÃO DE PROFUNDIDADE E DO TEMPO

As Figuras 7, 8 e 9 retratam o perfil de distribuição de $N-NO_3^-$ nas colunas de material de solo.

Considerando-se que os conteúdos de água na superfície para as duas colunas foram semelhantes, as frentes de molhamentos atingiram a profundidade de 32 cm praticamente transcorrido o mesmo período de tempo após a infiltração. Como pode ser visto nas Figuras 7 (a, b), 8b e 9 (a,b,c), a concentração máxima de $N-NO_3^-$ ocorreu quatro horas após a primeira irrigação. Esse fluxo rápido pode ser atribuído ao fluxo de massa, em virtude da quase saturação do meio poroso. Esse comportamento modificou-se ligeiramente após 48 horas de redistribuição. Houve acentuada dispersão do $N-NO_3^-$ neste período e o pique de concentração máxima diminuiu sensivelmente.

A partir da segunda irrigação, observou-se que a profundidade de ocorrência de concentração máxima foi maior, isto é, houve deslocamento do íon em consequência do avanço da frente de umidade.

Com exceção do perfil de distribuição apresentado na Figura 7b para a 4ª irrigação e tempo de 4 horas, a concentração iônica foi geralmente menor para a profundidade abaixo de 58 cm. De Haan e Bolt, citados por ALBERTS et alii (1977) mostraram que os ânions poderão ser excluídos de uma porção da solução de solo, por causa da repulsão elétrica da superfície de argila, negativamente carregada.

Analisando-se as áreas compreendidas pelas curvas de distribuição de $N-NO_3^-$ e o eixo vertical, observa-se uma redução gradativa dessas áreas com o tempo a partir da segunda irrigação, o que indica a ocorrência de perdas consideráveis por lixiviação, através do plano à profundidade de 80 cm.

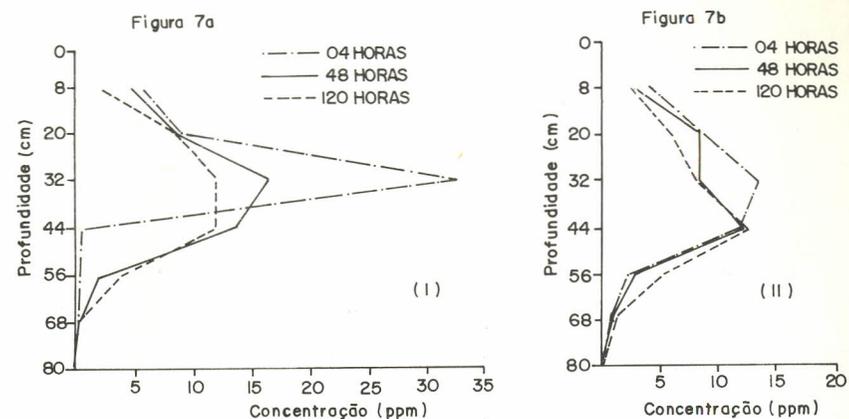


FIGURA 7 - Perfil de distribuição da concentração do íon nitrato, após a primeira (I) e segunda (II) irrigações, correspondentes à lâmina de água de 9,5 mm (coluna A).

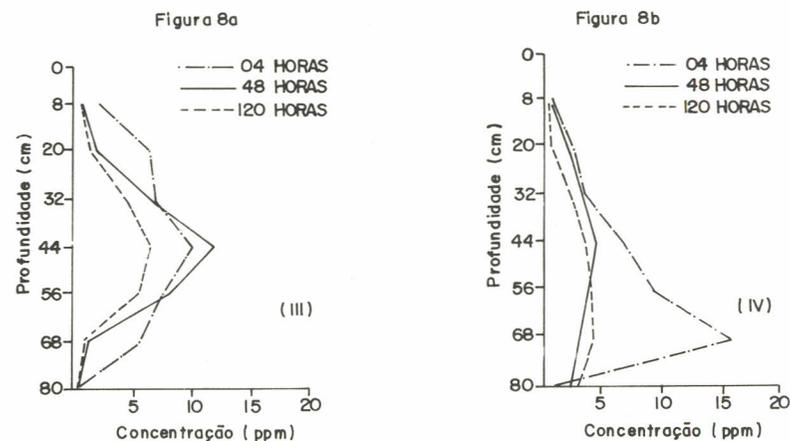


FIGURA 8 - Perfil de distribuição da concentração do íon nitrato, após a terceira (III) e quarta (IV) irrigações, correspondente à lâmina de água de 9,5 mm (coluna A).

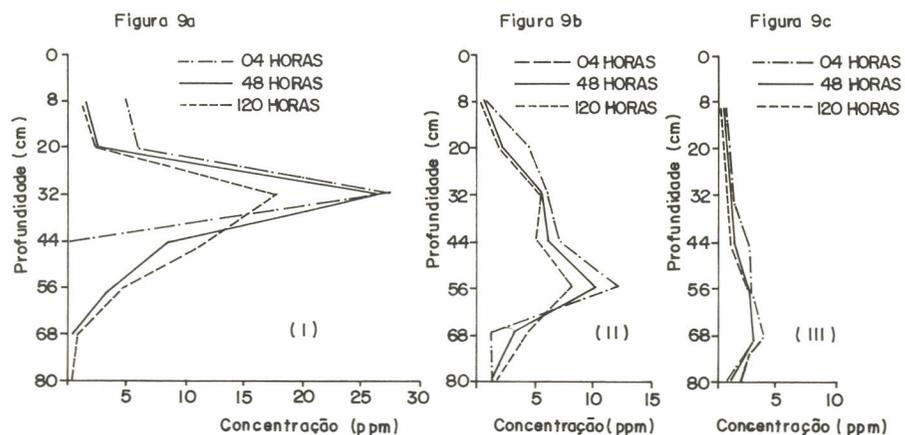


FIGURA 9- Perfil de distribuição da concentração do íon nitrato após a primeira (I), segunda (II) e terceira (III) irrigações, correspondente à lâmina de água de 6,5mm (coluna B).

Em virtude de alta solubilidade do N-HO_3^- , pode-se esperar alta correlação entre os valores de condutividade elétrica de solução do solo e a distribuição de concentração do íon. As Figuras 10, 11 e 12 ilustram essa ocorrência, observando-se estreita analogia entre valores de concentração máxima de nitrato e valores da condutividade elétrica de solução do solo.

Para o tempo de redistribuição de 120 horas após as últimas irrigações verificaram-se valores de condutividade elétrica a 20°C em torno de 0,25 a 0,75 $\text{mV} \cdot \text{cm}^{-1}$. Estes resultados indicaram que praticamente os íons N-NO_3^- ou Cl^- predominaram na solução do solo, quando comparados com a contribuição do N-NH_4^+ e K^+ , no plano a profundidade de 80 cm. Deste modo a performance das curvas de distribuição da CE a 20°C é similar à das curvas daqueles íons, para todos os tempos de redistribuição.

As quantidades de nutrientes adicionadas às colunas de solo foram suficientes para produzir concentrações de N-NO_3^- entre 10^{-3} e 10^{-5} M. Neste limite o coeficiente de atividade para o N-NO_3^- está muito próximo da unidade, de acordo com as especificações de Orion Research Incorporated (1978), a força iônica da solução padrão manteve-se dentro dos limites permissíveis. Portanto, nestas condições os valores indicados pelos eletrodos seletivos, tanto para a atividade quanto para concentração dos íons medidos, apresentaram resultados confiáveis.

O potencial do eletrodo registrado durante as medições repetidas nas soluções de H-NO_3^- produziu uma declividade de 54,9 a 59,0 mV, para variações de concentração molar múltipla de 10. Uma variação de $\pm 3,5$ mV pode causar um erro de 4,5% e a maior causa desta variabilidade pode ser atribuída à oscilação na temperatura ambiente em que as medições foram feitas, que foi de 17,5 a 21,5°C.

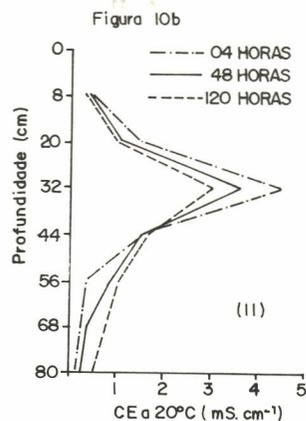
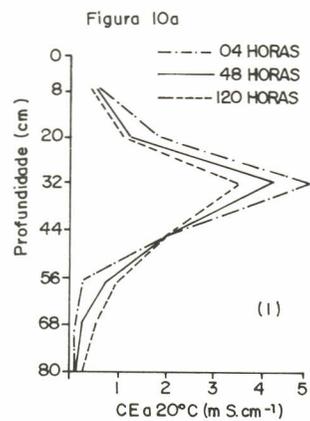


FIGURA 10 - Perfil de distribuição da condutividade elétrica, após a primeira (I) e segunda (II) irrigações, correspondente à lâmina de água de 9,5 mm (coluna A).

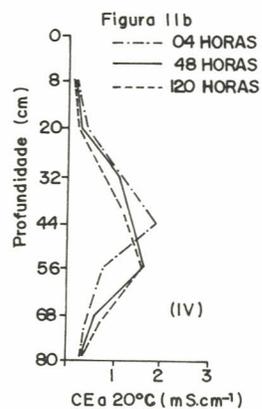
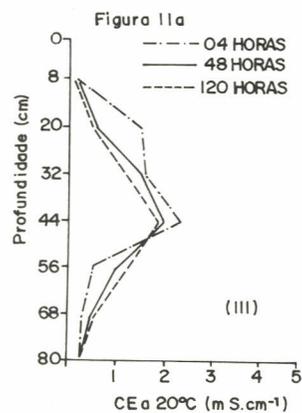


FIGURA 11 - Perfil de distribuição da condutividade elétrica após a terceira (III) e quarta (IV) irrigações, correspondente à lâmina de água de 9,5 mm (coluna A).

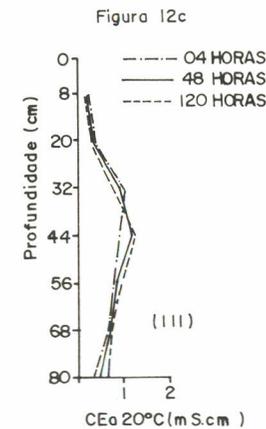
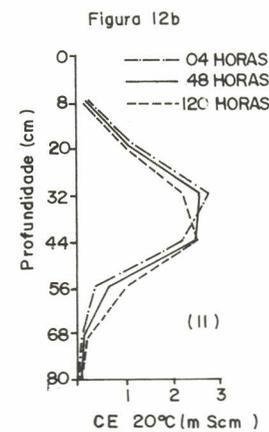
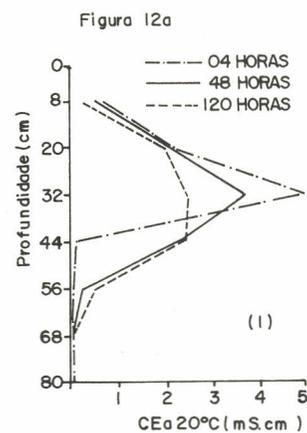


FIGURA 12 - Perfil de distribuição da condutividade elétrica, após a primeira (I), segunda (II) e terceira (III) irrigações, correspondente à lâmina de água de 6,5 mm (coluna B).

3.3. DISTRIBUIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO ÍON AMÔNIO ($N-NH_4^+$) EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE E DO TEMPO

As Figuras 13, 14 e 15 mostram que os valores das concentrações do íon amônio crescem até a profundidade de 32 cm. A pouca mobilidade de $N-NH_4^+$, no plano a profundidade inferior a 32 cm, pode estar associada à capacidade do solo estudado em reter amônio como íon trocável. Observa-se nas Figuras 13 e 15 uma tendência do nível de concentração do íon presente na solução do solo para se manter quase estável; a redução gradativa das áreas compreendidas entre as curvas de distribuição da concentração pode indicar também uma possível retenção desse íon, assim como sua fixação pela argila contida nas camadas superiores.

Enquanto na curva de distribuição do $N-NO_3^-$ a concentração máxima reduziu-se abruptamente de 32 ppm para 15 ppm, após 48 horas de redistribuição para o $N-NH_4^+$, no mesmo intervalo de tempo, a variação na concentração foi de apenas 1 ppm. Este comportamento mostra que a movimentação do $N-NO_3^-$ é governada pelo fluxo da massa, ao passo que a do $N-NH_4^+$ é principalmente pela difusão iônica.

A contribuição da atividade do íon $N-NH_4^+$ para a condutividade elétrica da solução solo mostrou-se significativa até a profundidade de 20 a 32 cm, conforme pode ser visto nas Figuras 13 a 15, em comparação com as Figuras 10, 11 e 12.

Tendo em vista que o meio da solução do solo estudado nesta pesquisa é ácida, considerou-se, diretamente, o valor determinado pelo sensor de amônia ($N-NH_3^-$) como sendo equivalente à atividade do íon amônio ($N-NH_4^+$). O limite de detecção deste íon ficou entre 0,5 e 16,0 ppm. Acredita-se que a temperatura tenha exercido influência mínima nos valores da concentração encontrados para o $N-NH_4^+$, considerando-se que sua variação entre duas medições consecutivas

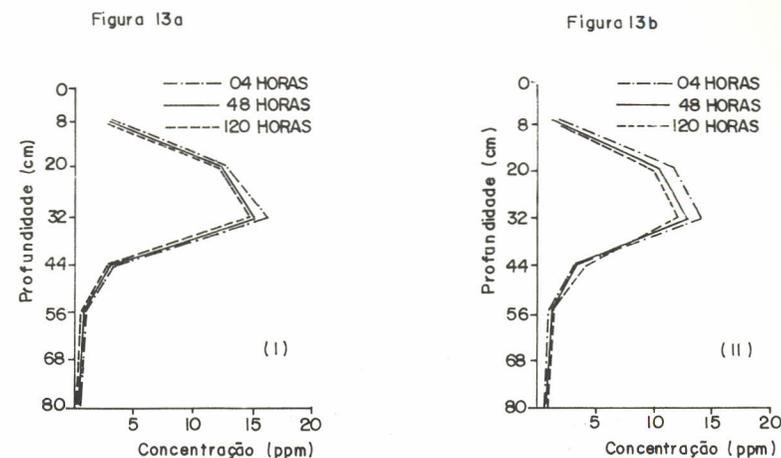


FIGURA 13- Perfil de distribuição da concentração do íon amônio, após a primeira (I) e segunda (II) irrigações, correspondente à lâmina de água de 9,5mm.

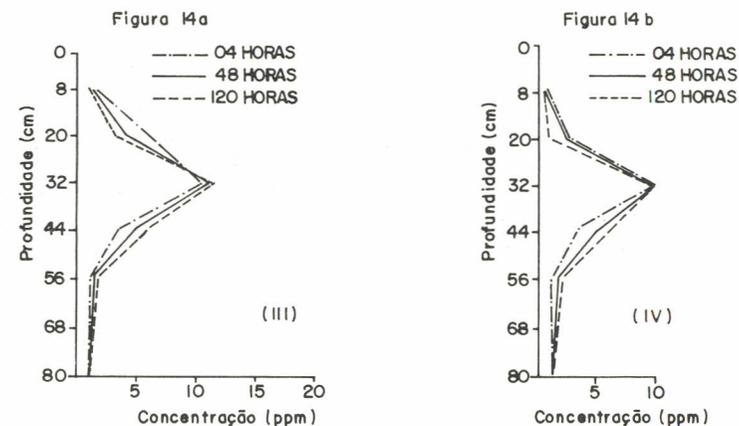


FIGURA 14- Perfil de distribuição da concentração do íon amônio, após a terceira (III) e quarta (IV) irrigações, correspondente à lâmina de água de 9,5 mm.

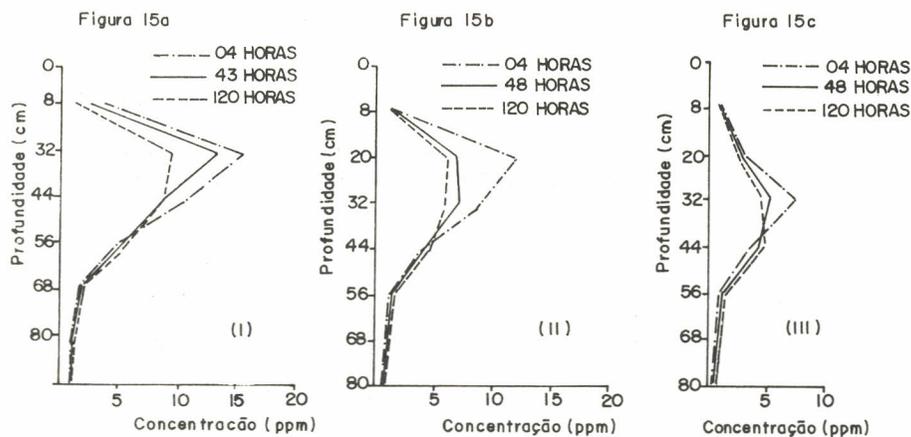


FIGURA 15 - Perfil de distribuição da concentração do íon amônio, após a primeira (I), segunda (II) e terceira (III) irrigações, correspondente à lâmina de água de 6,5 mm.

foi no máximo de 2,5°C.

Para valores de concentração próximos ao limite inferior, o potencial do sensor atingiu sua estabilidade entre 15 a 20 minutos, após a adição de 2 ml de NaOH 10 M, mantendo-se o sensor mergulhado na solução da amostra, em constante agitação. O comportamento desta sonda de gás para amônia ($N-NH_3^-$) está de acordo com as recomendações apresentadas por HULANICKI e TROJANOWICZ (1984).

3.4. DISTRIBUIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO ÍON CLORETO (Cl^-) EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE E DO TEMPO

As Figuras 16, 17 e 18 mostram a distribuição da concentração do íon cloreto, para volumes de água equivalentes a Lâminas de 9,5 e 6,5 mm, aplicadas nas colunas de solo.

O valor máximo da concentração observada 4 horas após a infiltração foi maior na coluna que recebeu maior volume de água. A frente de avanço da concentração salina não acompanhou a frente do avanço de umidade do solo, o que indica um retardamento da frente de solutos ante a frente de umedecimento. A redução brusca da concentração de cloreto observada no período de 4 para 48 horas deve ser atribuída ao fluxo da massa em virtude da quase saturação do meio poroso.

Esse comportamento é similar à distribuição da concentração do íon nitrato.

Independente do teor de umidade na superfície e da distribuição de umidade no perfil, observa-se que, na coluna que recebeu maior volume de água a dispersão do cloreto foi maior. A redução gradativa das áreas compreendidas entre as curvas de distribuição do íon Cl^- e os eixos verticais indicam a ocorrência de lixiviação intensa abaixo do plano a profundidade de 80 cm.

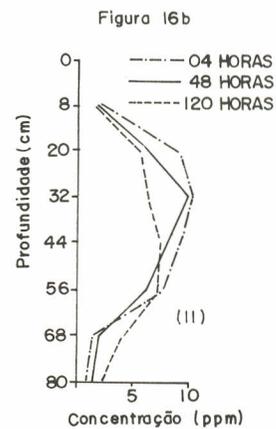
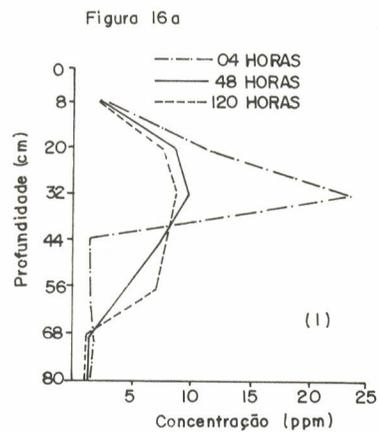


FIGURA 16- Perfil de distribuição da concentração do íon cloreto, após a primeira (I) e segunda (II) irrigações, correspondente à lâmina de água de 9,5 mm.

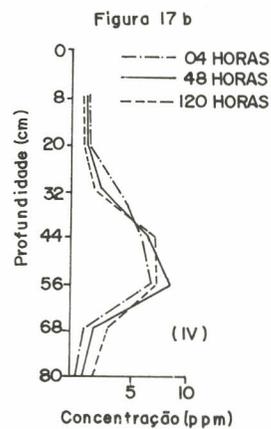
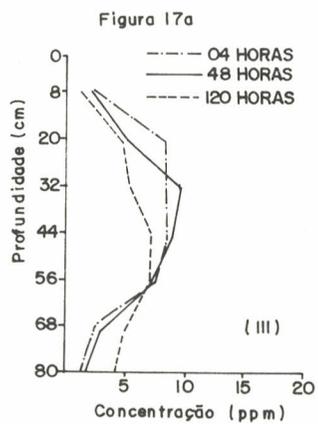


FIGURA 17- Perfil de distribuição da concentração do íon cloreto, após a terceira (III) e quarta (IV) irrigações correspondente à lâmina de água de 9,5 mm.

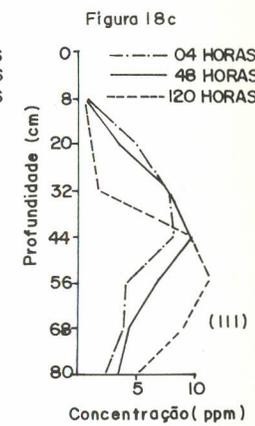
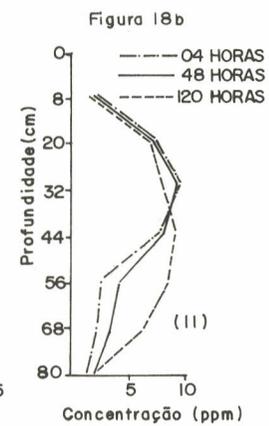
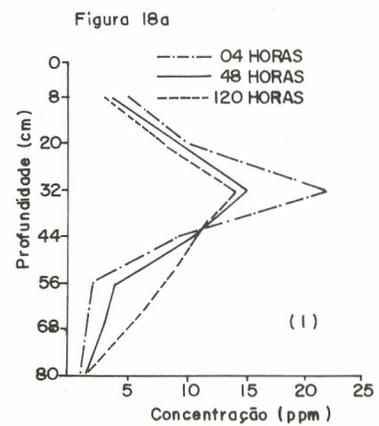


FIGURA 18- Perfil de distribuição da concentração do íon cloreto, após a primeira (I), segunda (II) e terceira (III) irrigações, correspondente à lâmina de água de 6,5 mm.

Confrontando as Figuras 16 e 17, assim como as Figuras 10 e 11, pode-se observar uma tendência generalizada de aumento da condutividade elétrica a 20°C, com as propriedades até 44 cm e de sua redução com o tempo, como ocorreu igualmente com a distribuição dos íons $N-NO_3^-$ e Cl^- . Admite-se por isso, que esses ânions são predominantes na solução do solo, sendo ambos os principais responsáveis pelos valores atingidos pela CE a 20°C.

O limite de detecção do eletrodo seletivo do íon baseado em $AgCl$, usado na presente pesquisa, está diretamente relacionado com a solubilidade da membrana, íons interferentes e efeito de adsorção. A contaminação das soluções das amostras pelo Cloreto pode também representar papel importante. Neste caso esse efeito foi minimizado pelo uso de uma ponte salina associada ao eletrodo de referência.

3.5. DISTRIBUIÇÃO DE CONCENTRAÇÃO DE ÍON POTÁSSIO (K^+) EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE E DO TEMPO

As Figuras 19, 20, 21 representam os perfis de distribuição da concentração do íon potássio para as condições experimentais. Observa-se uma atividade máxima 4 horas após a primeira irrigação, na profundidade de 32 cm. Não se observa aumento no valor da concentração do íon em função da profundidade e do tempo.

Pode-se observar, da mesma maneira que para o íon amônio, que a variação de concentração máxima do íon potássico entre os tempos de 4 e 48 horas de redistribuição foi de apenas 1,6 ppm e entre 48 e 120 horas de 1 ppm, na primeira irrigação, para as duas lâminas de água aplicada. Essa variação tendeu a diminuir a partir da segunda irrigação. Tal comportamento do potássio pode significar que sua movimentação foi governada mais por difusão iônica do que por

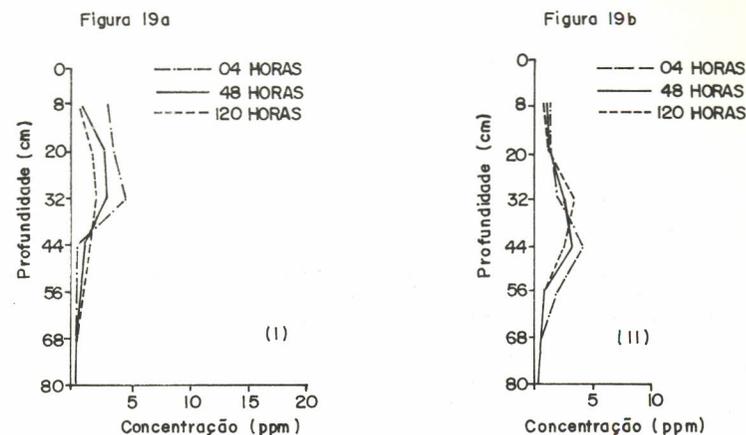


FIGURA 19- Perfil de distribuição da concentração do íon potássio, após a primeira (I) e segunda (II) irrigações, correspondente à lâmina de água de 9,5 mm.

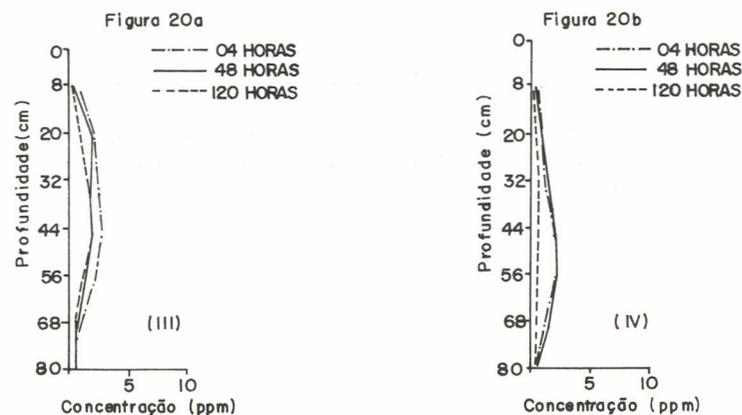


FIGURA 20- Perfil de distribuição de concentração do íon potássio, após a terceira (III) e quarta (IV) irrigações, correspondente à lâmina de água de 9,5 mm.

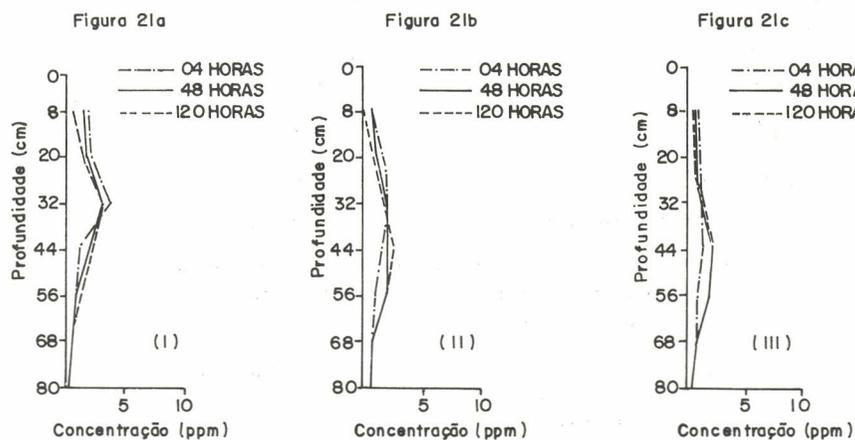


FIGURA 21- Perfil de distribuição da concentração do íon potássio, após a primeira (I), segunda (II) e terceira (III) irrigações, correspondente à lâmina de água de 6,5 mm.

fluxo de massa.

Até a profundidade 32 cm, a contribuição da concentração máxima do íon potássico parece ter sido significativa para o valor atingido pela condutividade elétrica da solução do solo, conforme pode ser visto comparando-se as Figuras 10 e 11 com as Figuras 19 e 20.

4. CONCLUSÕES

Para as condições em que foi realizado este experimento, pode-se concluir que:

1) Os resultados obtidos permitem averiguar a ocorrência acentuada de lixiviação de $N-NO_3^-$ e Cl^- no plano inferior a profundidade de 80 cm, indicando que o solo estudado apresenta baixa capacidade de retenção desses íons;

2) A movimentação dos íons $N-NO_3^-$ e Cl^- foi governada predominantemente por fluxo de massa, ao passo que o transporte de $N-NH_4^+$ e K^+ foi regido quase somente por difusão iônica;

3) A lixiviação dos íons $N-NH_4^+$ e K^+ foi de muito menor magnitude que a dos íons $N-NO_3^-$ e Cl^- ;

3) A concentração máxima dos íons $N-NO_3^-$ e Cl^- teve uma contribuição maior para o valor de GE a 20°C;

5) A frente de avanço de solutos $N-NO_3^-$, $N-NH_4^+$, Cl^- e K^+ foi sempre retardada ante a frente de umidade e

6) O uso de eletrodos seletivos de íons mostrou-se eficaz, prático e rápido para determinações analíticas de N-NO_3^- , N-NH_4^+ , Cl^- e K^+ .

SUMMARY

A study was conducted to investigate the depth and time of vertical migration of nitrate, ammonium, chloride and potassium ions in a crayish Oxisol of a savanah region and Felixlandia City, Minas Gerais State, Brazil.

A flow unit made with two columns of PVC with 120 cm of length and 15 cm of external diameter, filled with air-dried soil, a tensiometer and a vacuum system (columns A and B), was used in the study.

The ionic concentration in the columns was attained by application of 6.5 g of ammonium nitrate and 3.0 g of potassium chloride diluted in deionized water followed by irrigation with 9.5 and 6.5 mm of deionized water for column A and B respectively. Irrigation was applied four times in column A and three times in column B at each eight days interval. Samples were taken at 4 hs, 48 hs and 120 hs after distribution of the solute water. An ion-selective electrode was used for the analytical analysis. The electrical conductivity was determined with the help of a conductivity meter.

Leaching of nitrate and chloride ions occurred in depth below 80 cm indicating that Felixlandia's soil has low capacity of retention of these ions. Nitrate and chloride flow was due, mostly, to mass flow and ammonium and potassium flow to ionic diffusion.

Leaching of ammonium and potassium ions was smaller than

nitrate and chloride. The maximum concentration of nitrate and chloride contributed greatly for the electrical conductivity value at 20°C.

Ionic vertical flow was retarded by humidity.

The ion-selective electrode was found to be a reliable, practical and fast tool for analytical analyses of nitrate, ammonium, chloride and potassium ions.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTS, E.E.; BURWELL, R.E. & SCHUMAN, C.E. Soil nitrate-nitrogen determined by coring and solution extraction techniques. **Soil Sci. Soc. Am. Jour.**, 41:90-92, 1977.
- BLAKE, C.R. Particle density. In: BLACK, C.A. ed. **Methods of Soil Analysis**. Part 1. Madison, 1965. 770p.
- DENARO, A.R. **Elementary Elatrochemistry**. London, Butterworths, 1971. 245p.
- HORVAI, G. & PUNGOR, E. Comparative study on the precision of potentiometric techniques applied with Ion-selective electrodes. Part 3: Potentiometric titrations. **Analytica Chimica Acta**. 116:87-92, 1980.
- HULANICKI, A. & TROJANOWICZ, M. Application of Ion Selective Electrodes in water analysis. **Ion-Selective Electrode Rev.** 1:207-250, 1984.
- KIRDA, C.; STARR, J.L.; MISRA, C.; BIGGAR, J.W. & NIELSEN, D.R. Nitrification and Denitrification during Miscible Displacement in Unsaturated Soil. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, 28:772-776, 1974.
- KLUTE, A. Laboratory measurement of Hydraulic conductivity of saturated Soil. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of Soil Analysis**. Part 1, 1965. 770p.
- LOBATTO, E. & RITCHEY, K.D. Manejo do solo visando a melhorar o aproveitamento de água. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 5. Brasília, CPAC/CNPq, 1981. 761p.
- MELLO, F. de A.F.; SOBRINHO, M. de O.C.B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.T.; NETTO, A.C. & KIEHL, J. de C. **Fertilidade do Solo**. Piracicaba, Livraria Nobel, 1984. 400p.
- ORION RESEARCH INCORPORATED. Instructions Manual. Form 94 H/776, 1977. 31p.
- ORION RESEARCH INCORPORATED. Instructions Manual. Form 93 MM 8740, 1978. 28p.
- ORION RESEARCH INCORPORATED. Instructions Manual. Form 9512 IM/3850, 1983. 36p.
- PIZARRO, F. **Drenaje Agrícola y recuperacion de Suelos Salinos**. Madrid, Editora Agric. Española, 1976. 521p.
- RAMOS, M.M. **Comparação entre valores de potencial Matricial Medidos e Estimados, usando-se linha-fonte com fluxo em regime permanente**. Imp. Universitária da UFV, Viçosa, 1979. 40p. (Tese de M.Sc.)
- VOMOCIL, J.A. Porosity. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of Soil Analysis**. Part 1, 1965. 770p.

A COMISSÃO EXECUTIVA AGRADECE:

PATROCINADORES:

- Governo do Estado de Santa Catarina
- Secretaria da Agricultura do Abastecimento e Irrigação
- Secretaria de Cultura e Esporte.
- SUDESUL - Superintendência do Desenvolvimento da Região Sul

CO-PATROCINADORES:

- Ministério da Irrigação
- Ministério da Agricultura
- Ministério do Interior
- PROVÁRZEAS
- CODEVASF
- Fundação Banco do Brasil
- DNOCS
- DNOS
- EMBRAPA
- FINEP
- TIGRE - Tubos e Conexões

COLABORAÇÃO:

- ASBRASIL S/A
- Hidro-Solo Indústria e Comércio Ltda.
- EIT - Empresa Indústria Técnica S/A.