

ASPECTOS DA DINÂMICA DA ÁGUA EM SOLOS SÓDICOS E SALINOS-SÓDICOS. *

MARDONIO AGUIAR COELHO *

INTRODUÇÃO

A Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem estimou, em 1970, a área total irrigada no mundo em 303 milhões de hectares, dos quais 25% apresentam problemas de salinidade e localizam-se em regiões de clima árido e semi-árido, onde o processo de acumulação de sais é mais efetivo. No Nordeste do Brasil, entre 20 e 25% da área sob regime de irrigação apresenta, em maior ou menor grau, problemas de salinidade (Goes, 1978). Millar & Cordeiro (1978) verificaram a ocorrência de solos sódicos e salino-sódicos em 24% e 4%, respectivamente, da área de 1.194 ha situada no Projeto de Irrigação de São Gonçalo (Paraíba). Essa situação repete-se de maneira geral nos projetos de irrigação implantados em solos aluviais no Nordeste, onde extensas áreas estão fora de operação por apresentarem condições adversas ao desenvolvimento e produção rentável

das culturas, necessitando portanto serem recuperadas e reincorporadas ao processo produtivo. A recuperação de solos sódicos e salino-sódicos implica no emprego de recursos materiais e tecnologia própria que deve ser desenvolvida para as condições peculiares da Região, aproveitando-se a experiência adquirida em outros países. A dinâmica da água nesses solos é fator de capital importância nos processos de recuperação e uso, e esforços necessitam ser dirigidos para seu estudo.

SOLOS SÓDICOS E SALINOS-SÓDICOS

Os níveis de condutividade elétrica (CE) percentagem de sódio trocável (PST) e pH nos quais se baseia a classificação desses solos (Richards, 1954) são generalizadas e devem ser tomados com a devida consideração de outros fatores na interpretação de seus efeitos sobre outras características do solo e o desenvolvimento das plantas. Assim, um valor de PST < 15 pode ser considerado como limite acima do qual o solo pode ser afetado em suas características físicas, quando a água de baixa concentração salina for

* Apresentado na MESA REDONDA SOBRE ÁGUA NO SOLO – 18.º CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO-SALVADOR-30-08 a 05-09-1981.

*Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola e Edafologia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará.

usada (Mcintire, 1979). Shainberg *et alii* (1981a) sugerem que um valor de PST = 5 pode ser prejudicial às propriedades físicas do solo quando água de boa qualidade for usada (água de chuvas, por exemplo). Sendo o efeito adverso do sódio trocável mais pronunciado com aumento do conteúdo de argila do tipo expansivo e a diminuição da concentração da solução do solo, uma PST = 10 pode ser tomada como limite para solos argilosos de baixa salinidade (CE < 4) enquanto para solos moderadamente salinos (CE entre 6 e 8) uma PST = 15 pode ser tolerada (Molen & Van Horn, 1978).

EFEITOS DO SÓDIO TROCÁVEL E DA CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO SOBRE O MOVIMENTO DA ÁGUA NO SOLO.

As condições físicas do solo são, em última instância, dependentes da textura e estrutura que influenciam, dentre outras, as características de retenção e movimento da água. Os poros nos quais se processa o movimento da água constituem um sistema altamente complexo tanto pela irregularidade na forma, tamanho e distribuição como pelas características de suas paredes que muitas vezes podem ser significativamente diferentes, em composição e comportamento, do restante do sistema. A análise da distribuição de poros por tamanho tem conduzido freqüentemente a divisão da porosidade em macro e microporos embora existam discrepâncias no estabelecimento do limite da divisão. Alterações na geometria dos poros por efeito do deslocamento e transporte de partículas, de expansão das partículas coloidais e da modificação, na composição dos ions absorvidos e da própria solução do solo provocam modificações nas características do movimento da água no solo.

Condutividade hidráulica do solo saturado

O efeito da concentração da solução e da composição iônica do solo sobre as

propriedades hídras do solo tem sido objeto de grande número de pesquisas. Quirk & Schofield (1955) verificaram decréscimos na condutividade hidráulica do solo, diretamente relacionados à diluição da solução usada e determinaram a concentração necessária (threshold concentration) para manter o estado de floculação em solo sódico, o que possibilitou a aplicação do conceito de concentração crítica a problemas de irrigação e de manejo e recuperação de solos com elevado teor de sódio. O decréscimo da condutividade hidráulica é consequência direta da alteração na geometria dos poros decorrente da interação das partículas de argila, uma vez que parte da expansão dessas partículas é acomodada internamente provocando redução na macroporosidade. Quando o cátion sódio predomina no complexo de troca a expansão é mais pronunciada e ocorre também a dispersão das partículas de argila, porém uma alta concentração salina pode reduzir os efeitos desse cátion. A figura 1 ilustra o efeito da percentagem de sódio trocável e da concentração da solução sobre a permeabilidade do solo. A aplicação do conceito de concentração crítica é ilustrada pela figura 2, onde a relação $Na^+ / \sqrt{Ca^{++}}$ e a concentração da solução podem representar propriedades da água de irrigação. Discussão detalhada sobre as forças envolvidas nos processos de expansão de partículas de argila em relação ao teor de sódio trocável e concentração da solução do solo foi apresentada por Quirk (1971).

Sendo o decréscimo na condutividade hidráulica decorrente da expansão e dispersão das partículas de argila deduz-se que solos de composição diferente em minerais de argila devem apresentar comportamento diverso frente a níveis semelhantes de sódio trocável e de concentração da solução. Mcneal & Coleman (1966) apresentaram evidências para essa diferença de comportamento, ao concluírem que dos sete solos estudados, com grande variação na compo-

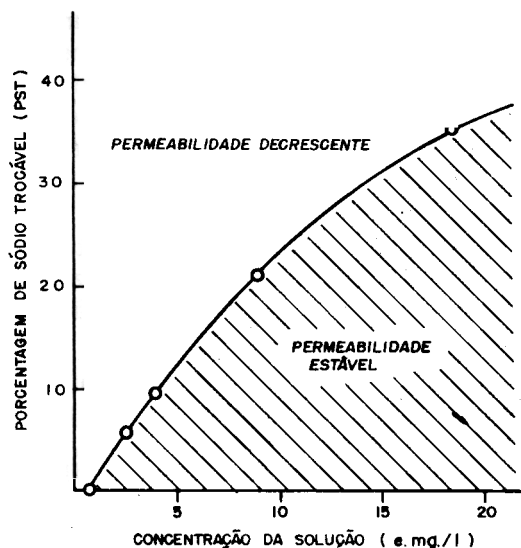


Fig. 1 — Concentração crítica (Threshold Concentration) em relação a PST. (Quirk, 1971).

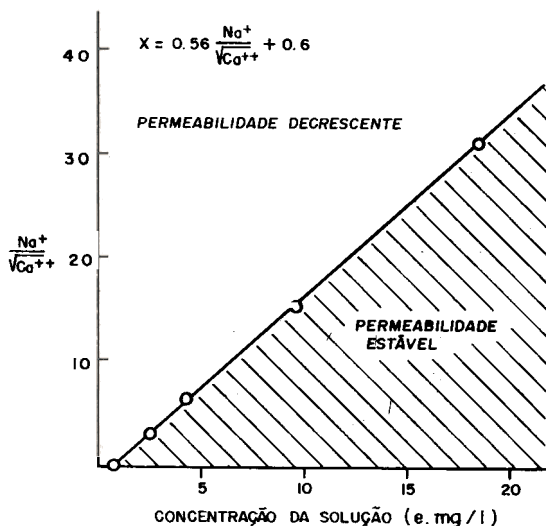


Fig. 2 — Aplicação do conceito de concentração crítica na determinação da qualidade da água de irrigação (Quirk, 1971).

sição mineralógica, os que continham maiores quantidades de argilo-minerais do grupo 2: 1 apresentaram decréscimos mais pronunciados na condutividade hidráulica e entre estes os mais instáveis foram aqueles que continham maior teor de montmorilonita. A condutividade hidráulica de um solo com alto teor em caulinita e sesquióxidos praticamente não foi afetado pela variação na concentração da solução percolante. Outra conclusão pertinente apresentada foi a de que o decréscimo na condutividade hidráulica mostrou-se altamente irreversível frente a reaplicação de soluções salinas mais concentradas ou com alto teor de cálcio aos solos que continham menos de 10% de montmorilonita em sua composição.

O estudo dos processos que causam mudanças na condutividade hidráulica tem merecido a atenção de muitos pesquisadores. Rhoades & Ingvalson (1969) concluíram que a dispersão é a causa principal do decréscimo da condutividade hidráulica em solos onde predomina a vermiculita. Felhendler *et alii* (1974) atribuíram a variação na condutividade hidráulica à suscetibilidade dos diferentes minerais de argila a dispersão. Van

Olphen (1977) verificou valores de floculação para montmorilonita entre 0,17 e 0,23 mE/1 para o mineral saturado com cálcio e entre 12a 16mE/1 para o mineral saturado com sódio. Frenkel *et alii* (1978) concluíram que a obstrução dos poros por partículas de argila dispersas foi a causa mais importante da redução da condutibilidade hidráulica. Arora & Coleman (1979) verificaram diferenças na suscetibilidade a floculação de diversos minerais de argila. Esses resultados e outros relatados por Rhoades *et alii* (1968) levaram Shainberg *et alii* (1981 a, 1981b) a investigar a influência da taxa de dissolução de minerais no solo sobre a redução da condutividade hidráulica induzida pelo emprego de água de baixa concentração. Concluíram que dentre três solos estudados (com RAS entre 20 e 30) os que possuíam maiores taxas de dissolução de minerais foram os menos afetados nas propriedades de transmissão da água e de dispersão.

Baixos valores de condutividade hidráulica foram também observados em solos sódicos e salino-sódicos do Nordeste do Brasil. Valores de condutividade hidráulica do solo saturado, determinada em amostras com estrutura não deforma-

da, variando entre 0,03 e 0,08 cm.h⁻¹ em dois solos sódicos e entre 0,0 e 0,08 cm.h⁻¹ em dois solos do município de Pentecoste-Ceará, e significativamente relacionados com o volume de macroporos e o grau de flocculação, foram obtidos por Coelho (1971). Millar & Cordeiro (1978) relataram valores nulos de condutividade hidráulica saturada determinada em amostras deformadas, em 15 solos sódicos e 13 solos salino-sódicos do Projeto de Irrigação de São Gonçalo (Paraíba), atribuindo esses valores aos elevados teores de sódio trocável e a dispersão da argila, expressa pelo grau de flocculação e volume de sedimentação. Valores de condutividade hidráulica do solo saturado determinada *in situ*, por três métodos (poço, piezômetro e infiltração básica) em área de 1,3 ha de solos normais, sódicos e salino-sódicos do Projeto de Irrigação de São Gonçalo situaram-se entre 0,03 e 2,0 m.dia⁻¹ (Gomes & Millar, 1978). Grande variação nas propriedades físicas foi observada e atribuída a alternância de camadas de textura arenosa a média com camadas de textura argilosa mais adensadas por efeito de alta concentração de sódio. Resultados semelhantes foram observados por Coelho (1980) em área de solos normais, sódicos e salino-sódicos do Projeto de Irrigação de Morada Nova (Ceará) onde os valores de condutividade hidráulica saturada, determinada pelo método do poço, variam entre 0,0 e 0,4 m.dia⁻¹ nas camadas de textura média.

Difusividade

Estudos sobre os efeitos do tipo de argila, teor de sódio trocável e concentração da solução percolante sobre a condutividade hidráulica do solo saturado são correntes na literatura, porém estudos semelhantes em relação ao fluxo não saturado são menos freqüentes. Gardner *et alii* (1959) verificaram, em dois solos com variáveis relações Na⁺/Ca⁺⁺ um acréscimo de até mil vezes na difusividade quando a níveis de PST superiores a

25 a concentração da solução foi aumentada de 3 para 300 mE/l. Christenses & Ferguson (1966) estudaram esses efeitos em colunas de dois solos contendo em torno de 20% de dickita a PST de 5 a 20,3 e montmorilonita a PST de 5,5 e 13,6 respectivamente, empregando solução de CaCl₂ 0,015N e água destilada, verificando um acréscimo de 1,8 vezes na difusividade por efeito da solução de CaCl₂ em todos os tratamentos com exceção do solo com montmorilonita de PST = 13,6, no qual houve apenas redução na expansão; associaram esse comportamento a uma reduzida influência da dupla camada no movimento da água e a mudança na geometria dos poros.

Infiltração

Na dinâmica da água em solos sódicos e salino-sódicos os processos de infiltração e evaporação são particularmente afetados pelo teor de sódio trocável e concentração da solução do solo. Condições de encharcamento, aeração deficiente e grande perda de água por escoamento superficial e evaporação resultam de baixos valores da taxa de infiltração nesses solos, especialmente quando ocorrem crostas na superfície do solo. Por outro lado, em solos com apreciável mudança de volume, que por efeito de contração origina fendas, o regime de infiltração em solo seco é alterado pela entrada rápida da água no início do processo. A implicação prática do fenômeno reside no fato de que, a água se movimenta apenas através dos poros maiores e contínuos prevenindo a circulação nos poros menores da massa do solo e promovendo o transporte de solutos em profundidade. A eficiência de alguns métodos de recuperação depende do movimento da água através dos poros pequenos promovendo o deslocamento da solução salina pela água de lavagem. Considerável número de referências sobre baixas taxas de infiltração em solos sódicos e salino-sódicos e sobre acréscimos sensíveis obtidos

após aplicação de métodos de recuperação é encontrada na literatura. A eficácia de um corretivo na recuperação de solos salino-sódicos depende fundamentalmente das características de infiltração do solo. Reeve & Doering (1966) verificaram em solo franco argiloso com alto teor de sódio trocável uma taxa de infiltração de $1,6 \text{ mm.dia}^{-1}$ em experimento de recuperação com gesso. Weeber *et alii* (1979) obtiveram aumento sensível na taxa de infiltração de um solo sódico pela aplicação de corretivos após adição de água de salinidade média ($\text{RAS} = 32,5$).

Evaporação

A taxa de evaporação da água através da superfície do solo é de fundamental importância do manejo da água em irrigação, especialmente em condições de alta demanda de evaporação. Dados apresentados por Acharya *et alii* (1979) são ilustrativos da influência do sódio trocável nas características do processo de evaporação de água do solo. O estudo foi realizado em parcelas de solo sódico com valores de PST entre 4 e 38 e entre 32 e 88 nas camadas de 0-15 e 15-30 cm, respectivamente. Os resultados apresentados para solos com $\text{PST} = 38$ sob condições de evaporação potencial de 2,5 e $12,5 \text{ mm.dia}^{-1}$ indicaram que a quantidade de água evaporada e o perfil de umidade após evaporação foram significativamente afetados pela PST. Em condições de alta demanda ($12,5 \text{ mm.dia}^{-1}$) a camada superficial do solo com $\text{PST} = 38$ secou rapidamente (redução de $0,68$ para $0,16 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ no conteúdo de água, em 2 dias) enquanto que no solo com $\text{PST} = 4$ semelhante redução só foi atingida após 4 dias. Na camada mais superficial do solo com alta PST o conteúdo inicial de água após irrigação foi mais elevado que no solo com baixa PST, devido às condições de infiltração, resultando em elevadas perdas iniciais, após o que o processo passou a depender exclusivamente da condutividade hidráulica

resultando em redução do fluxo de água para suprir a perda verificada na superfície. No solo com alta PST variações consideráveis no conteúdo de água ocorreram apenas na camada de 0 - 15 cm, ao passo que no solo de baixa PST essas mudanças foram observadas até a profundidade de 36 cm. Por outro lado o total de água evaporada em condições de profundidade de 36 cm. Por outro lado, o total de água evaporada em condições de alta e baixa demanda foi maior no solo com $\text{PST} = 4$, em virtude da mais alta condutividade hidráulica. O efeito adverso do sódio trocável sobre o desenvolvimento das plantas pode ser acentuado em condições de alta demanda de evaporação.

Movimento da água em solos que apresentam mudança de volume

A característica de expansão do solo relacionada diretamente com o tipo de argila e o teor de sódio trocável origina sérios problemas de drenagem e recuperação. A teoria do equilíbrio e movimento da água em solos que apresentam mudança de volume é acentuadamente diferente daquela aplicada a solos que não apresentam expansão e contração e, de acordo com Philip (1971), tais diferenças relacionam-se aos seguintes aspectos: — perfis de equilíbrio da umidade, distribuição da condutividade hidráulica em relação ao lençol freático, efeito da topografia na distribuição da umidade, variação do volume drenável de poros com o nível do lençol freático e espessura da camada e as características dos fluxos de regime permanente e transitório. Iniciando com a teoria clássica do equilíbrio e movimento da água no solo, Philip (1971), descreve a generalização para solos com mudança de volume introduzindo elementos relativos a: potencial de sobrecarga (componente do potencial total da água do solo devido ao "stress" causado pela expansão), densidade de fluxo da água em relação as partículas e função de índice de vãos.

Movimento simultâneo da água e de solutos

A transferência simultânea da água e de solutos ocorre praticamente em qualquer circunstância no solo.

A aplicação dos princípios envolvidos nessa transferência aos solos sódicos e salino-sódicos está diretamente relacionada à eficiência de lixiviação no processo de recuperação desses solos o qual envolve fundamentalmente o deslocamento do sódio do complexo de troca e o transporte da solução deslocadora em profundidade. Diferenças na eficiência de lixiviação entre os métodos empregados são causadas, de uma maneira geral, por diferenças na dispersão hidrodinâmica, difusão molecular e adsorção negativa que ocorrem entre fluxo saturado e fluxo não saturado. Biggar & Nielsen (1962) consideram as aplicações de água por aspersão de baixa intensidade e inundação intermitente como as mais eficientes em virtude da lixiviação ocorrer predominantemente em condições não saturadas e de fluxo lento o que admite maior permuta por difusão. Fendas que se desenvolvem freqüentemente em solos com alto teor de argila expansiva causam a redução do coeficiente de eficiência da lixiviação.

O processo de recuperação desses solos apesar de se basear numa reação química simples, envolve simultaneamente os processos de dissolução, permuta de cátions e movimento da água e de solutos. Modelos matemáticos têm sido usados na descrição do processo, porém, de acordo com Oster & Frenkel (1980), os problemas surgidos na aplicação de alguns modelos têm conduzido ao emprego de outros que consideram condições de equilíbrio no fluxo e na interação da solução deslocadora com o solo. Essas condições foram aplicadas por Oster & Frenkel (1980) na avaliação teórica da quantidade de gesso a ser utilizado na recuperação de um solo sódico. Magdoff & Bresler (1973) verificaram uma superestimativa dos resultados obtidos com modelo em relação aos dados

experimentais na avaliação da eficiência de recuperação de solo sódico com solução de CaCl_2 . A diferença foi devida em parte a imprecisões do modelo e, dentre estas, a não consideração da dependência entre condutividade hidráulica e concentração de solução e relação $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$, especialmente a conteúdos de água elevados. Alperovitch & Shainberg (1973) verificaram maior eficiência na recuperação de solos sódicos com a aplicação de soluções concentrada I que confirmam a maior eficiência da aplicação de água por inundação intermitente na recuperação do solo em áreas com drenagem subterrânea.

CONCLUSÕES GERAIS

Os aspectos da dinâmica da água em solos sódicos e salino-sódicos expostos acima enfatizam os efeitos adversos do conteúdo de sódio trocável e de concentração da solução sobre os processos de transferência da água e de solutos no solo e indicam a importância de estudos básicos e aplicados dos processos envolvidos, na recuperação desses solos.

Determinação de parâmetros hídricos e análise mais detalhada do movimento da água e dos sais no solo são importantes para a previsão e julgamento da eficiência dos métodos de recuperação. Metodologia já utilizada em colunas de solo homogêneo e em solos de estrutura mais estável em condições de campo, no País (Milarr *et alii*, 1975; Reichardt *et alii*, 1978; Reichardt *et alii*, 1979; Nascimento Filho *et alii*, 1979; Manfredini *et alii*, 1979; Saunders *et alii*, 1980) deve ser testada nos solos em exame. Estudos de variabilidade dos parâmetros físicos e químicos pertinentes necessitam ser intensificados para melhor previsão e extensão de resultados em solos de características extremamente variáveis em área e profundidade. Igualmente importante é a determinação qualitativa e quantitativa de argilo-minerais nos solos.

Estudos de recuperação de solos sódicos e salino-sódicos foram iniciados no

Nordeste do Brasil (Silva *et alii*, 1978; Matias Filho, 1980) e a avaliação dos resultados preliminares indicam boas perspectivas na utilização do gesso e materiais orgânicos no aumento da capacidade produtiva desses solos. Vários projetos de pesquisa relativos ao manejo do solo e da água em áreas irrigadas com problemas de sais estão sendo executados no Nordeste (Millar *et alii*, 1979; F.C.P.C., 1980).

SUMMARY

Soil-water dynamics in sodic and saline-sodic is discussed in respect to salinity and sodicity problems that occur in 25% of alluvial soils under irrigation in Northeastern Brazil, and to the techniques of management and reclamation that need to be developed for the particular conditions of that semi-arid region. Effects of electrolyte concentration and sodium saturation on soil permeability, diffusivity, infiltration and evaporation processes in sodic soils, water movement in swelling soils and salt transport are discussed. It is concluded that research should concentrate on characterization of hydrologic parameters, qualitative and quantitative analysis of clay minerals to improve management practices and to evaluate feasibility of reclamation processes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHARYA, C. L. et alii. Effect of exchangeable sodium on the fielddrying pattern of soil at two evaporativedemands. *Soil Sci.*, 127: 56-62, 1979.
- ALPEROVITCH, N. & SHAINBERG, I. Reclamation of alkaly soils with CaCl_2 solutions. In: HADAS, A. et alii (ed.) *Physical aspects os soil, water, and salts in ecosystems*. New York, Springer Verlag, 1973. p. 431-40.
- ARORA, H. S. & COLEMAN, N. T. The influence of electrolyte concentration on flocculation of clay suspensions. *Soil Sci.*, 127: :134-9, 1970.

- CHRISTENSEN, D. R. & FERGUNSON, H. The effect of interactions os salts and clays on unsaturated water flow. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 30: 549-53, 1966.
- COELHO, M. A. *Características de umidade de alguns solos de aluvião: normais, sódicas e salino-sódicos*. U.F.R.R.J., 1971. (TM)
- , — Caracterização de solos com problemas de sais do perímetro K do Projeto de Irrigação de Morada Nova. In: *Relatório de Pesquisas do Projeto Dessalinização*. Fortaleza, Convênio CNPq/FCPC, 1980. (mimeo).
- F.C.P.C. Dessalinização. *Relatório de Pesquisa*. Fortaleza, 1980.
- FEIHENDIER, F. I. et alii. Dispersion and hydraulic conductivity of soils in mixed solutions. *Int. Congr. Soil Sci. Trans.* 10th, Moscow, 1: 103-12, 1974.
- FRENKEL, H.J. et alii. Effects os clay type and content, ESP, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 32-9, 1978.
- GARDNER, W. R. et alii. Effect of electrolyte concentration and exchangeable sodium percentage on diffusivity of water in soils. *Soil Sci.*, 88: 270-4, 1959.
- GOES, E. S. de. Os problemas de salinidade e drenagem em projetos de irrigação do Nordeste e a ação da pesquisa com vistas a seu equacionamento. In: *Reunião sobre salinidade em áreas irrigadas*. Fortaleza, 1978. 20p. (mimeo).
- GOMES, P.C.F. & MILLAR? A.A. Problemática da caracterização de solos aluviais para fins de drenagem subterrânea. *R. Bras. Ci. Solo*, 2: 90-4, 1979.
- MAGDOFF, F. & BRASLER, E. Evaluation of methods for reclaiming sodic soils with CaCl_2 . In: HADAS, A. et alii (ed.) *Physical aspects of soil, water, and salts in ecosystems*. New York, Sptinger Verlag, 1973. p. 441-52.
- MANFREDINI, S. et alii. Absorção unidirecional da água em solos homogênos. *R. Bras. Ci. Solo*, 3: 5-5-8, 1979.
- McINTYRE, D. S. Exchangeable sodium, subplasticity, and hidraulica conductivity of some austrili-ansoils. *Aust. J. Soil Sci.*, 17: 115-20, 1979.
- McNEAL, B. L. & COLEMAN, N. T. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 30: 308-12, 1966.
- MATIAS FILHO, J. *Recuperação de solos salino-sódicos*. Fortaleza, 1980. 62p. (Tese apresentada em concurso para Professor Titular da Universidade Federal do Ceará).
- MILLAR, A.A. & CORDEIRO, G. G. Caracterização dos problemas de sais nos setores de irrigação em operação do Projeto São Gonçalo. In: *Reunião sobre salinidade em áreas irrigadas do Nordeste*. Fortaleza, 1978. 56p. (mimeo).
- , — et alii. Efeito da irrigação no movimento de nitrato em um latossolo. CONGRESSO DE IRRIG-

- GAÇÃO E DRENAGEM, 3, Fortaleza, 1975. Anais... Fortaleza, 1975.
- , — et alii. Pesquisa em manejo de solo e água para áreas irrigadas com problemas de sais do Nordeste. In: *Reunião sobre salinidade em áreas irrigadas do Nordeste*. Fortaleza, 1978.
- MOLEN, W. H. van der & VAN HORN, J. W. The salt balance and leaching requirement of irrigated soils. In: *Drainage principles and applications I. L. R. I. Wageningen*, 1978.
- NASCIMENTO FILHO, V. F. et alii. Deslocamento miscível do íon cloreto em terra rocha estruturada (Alfisol) em condições de campo. *R. Bras. Ci. Solo*, 3: 67-73, 1979.
- OSTER, J. D. & FRENKEL, H. The chemistry of the reclamation of sodic soils with gypsum and lime. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44: 41-5, 1980.
- PECK, A. J. Salt transport in soils. In: TALSMA, T. & PHILIP, J. R. (ed.) *Salinity and water use*. London, Mcmillan, 1971.
- PHILIP, J. R. Hydrology of swelling soils. In: TALSMA, T. & PHILIP, J. R. (ed.) *Salinity and water use*. London, Mcmillan, 1971.
- QUIRK, J. P. Chemistry of saline soils and their physical properties. In: TALSMA, T. & PHILIP, J. R. (ed.) *Salinity and water use*. London, Mcmillan, 1971.
- , — & SCHOFIELD, R. K. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *J. Soil Sci.*, 6: 163-78, 1955.
- REEVE, R. C. & DOERING, E. J. *Field comparison of the high-salt-water dilution method and conventional methods for reclaiming sodic soils*. 6 th. New Delhi, Internl. Comm on Irrig and Drainage, 1966.
- REICHARDT, K. et alii. Condutividade hidráulica saturada de um perfil de terra rocha estruturada (alfisol) *R. Bras. Ci. Solo*, 1978.
- , —. et alii. Dinâmica da água em solo cultivado com milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 3: 1-5, 1979.
- RHOADES, J. D. & INGVALSON, R. D. Macroscopic swelling and hydraulic conductivity properties of four vermiculitic soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33: 364-9, 1969.
- , —. et alii. The effect of soil mineral weathering on the sodium hazard of irrigation waters. *Soil Sci. Am. Proc.*, 32: 643-7, 1968.
- RICHARDS, L. A. (ed.) *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. U.S.D.A. Handbook 60, 1954.
- SAUNDERS, L.C.U. et alii. Condutividade hidráulica de um aluvião fluvial sob condições de campo. *Ciênc. Agron.*, Fortaleza, 10 (1): 77-82, 1980.
- SHAINBERG, I. et alii. Effect of low electrolyte concentration on clay dispersion and hydraulic conductivity of a sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45: 273-7, 1981a.
- , —. et alii. Effect of mineral weathering on clay dispersion and hydraulic conductivity of sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45: 287-91, 1981b.
- SILVA, M. J. da et alii. *Efeito de diferentes métodos de recuperação do solo com problemas de sódio sobre a produção e componentes da produção de arroz*. Convênio DNOCS/SUDENE/EMPRABA, 1978. 15p. (mimeo)
- VAN OLPHEN, H. *An introduction to clay colloids chemistry*. 2nd. New York, Interscience Pub, 1977.
- WEBER, S. J. et alii. Infiltration studies with sodic mine spoil material. *Soil Sci.*, 128: 312-8, 1979.