

EFEITO DO GESSO E DA CONCENTRAÇÃO SALINA DA ÁGUA NA CONDUTIBILIDADE HIDRÁULICA DO SOLO

FRANCISCO DE BRITO MELO

Dissertação Submetida à Coordenação  
do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração em Solos e  
Nutrição de Plantas para Obtenção  
do Grau de Mestre.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
FORTALEZA - 1987

Esta dissertação foi apresentada como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Setorial de Ciências e Tecnologia da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

FRANCISCO DE BRITO MELO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 10/04/87

Prof. MARDÔNIO AGUIAR COELHO, Ph.D.

/Orientador

Prof. FERNANDO FELIPE FERREYRA H., Doutor

Prof. BOANERGES FREIRE DE AQUINO, Ph.D.

Aos meus pais JOSÉ e RAIMUNDA,  
pelo exemplo de vida

À SOCORRO BANDEIRA pela compreens  
ensão e colaboração durante es  
ses anos

D E D I C O

## AGRADECIMENTOS

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo.

Ao Convênio FINEP/FCPC - Projeto Estudos sobre salinidade do solo, pelo apoio financeiro.

Ao Professor MARDÔNIO AGUIAR COELHO pela orientação da da para realização deste trabalho.

Aos Professores FERNANDO FELIPE FERREYRA HERNANDEZ e BOANERGES FREIRE DE AQUINO, pelas sugestões e críticas apresentadas.

Aos colegas de curso, pela amizade e pelo convívio durante esses anos.

Enfim a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	viii
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Condutibilidade hidráulica do solo .....	3
2.2. Concentração salina da água .....	5
2.3. Correção de solos sódicos e salinos-sódicos .....	7
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	14
3.1. Solos .....	14
3.2. Procedimento Experimental .....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
4.1. Efeito da aplicação de gesso sobre a condutibilidade hidráulica do so lo saturado .....	21
4.2. Efeito da aplicação de gesso sobre as propriedades químicas do solo .....	23
4.3. Eficiência da aplicação do gesso na lixiviação de sais .....	29
4.4. Balanço iônico no complexo de troca .....	37
4.5. Efeito da concentração de soluções eletrolíticas sobre a condutibili- dade hidráulica do solo saturado .....	37

Página

5. CONCLUSÕES .....	42
6. LITERATURA CITADA .....	43

## LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
1	Análises físicas e químicas das amostras dos solos AT8, BT3 e DS2 .....	15
2	Análises químicas das amostras dos solos AT8, BT3 e DS2 após salinização .....	16
3	Composição química da água utilizada no estudo .....	18
4	Valores médios de condutibilidade hidráulica dos solos AT8, BT3 e DS2 com e sem aplicação de gesso .....	22
5	Valores médios das concentrações dos cátions trocáveis, capacidade de troca de cátions, percentagem de sódio trocável e condutividade elétrica dos solos AT8, BT3 e DS2 antes da aplicação de gesso (I) e no final do experimento (F) .....	25
6	Balanço dos íons trocáveis nas colunas dos solos AT8, BT3 e DS2 .....	38
7	Efeitos de soluções eletrolíticas sobre a condutibilidade hidráulica dos solos AT8, BT3 e DS2 .....	40

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Valores médios de condutibilidade hidráulica dos solos AT8, BT3 e DS2 em função do tempo .....	24
2	Distribuição de cálcio trocável em profundidade no início e no final do experimento, nos solos AT8, BT3 e DS2 .....	28
3	Distribuição de sódio trocável em profundidade no início e no final do experimento, nos solos AT8, BT3 e DS2 .....	30
4	Distribuição do magnésio trocável em profundidade no início e no final do experimento, nos solos AT8, BT3 e DS2 .....	31
5	Concentração de sódio no percolado das colunas dos solos AT8, BT3 e DS2 .....	32
6	Concentração de sulfato no percolado das colunas dos solos AT8, BT3 e DS2 .....	34
7	Concentração de cálcio + magnésio no percolado das colunas dos solos AT8, BT3 e DS2 .....	36
8	Condutibilidade hidráulica relativa em função da concentração eletrolítica de soluções aplicadas aos solos AT8, BT3 e DS2 .....	41

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar, em colunas de três solos aluviais de diferentes texturas, o efeito da aplicação de gesso e soluções de diferentes concentrações eletrolíticas na condutibilidade hidráulica do solo saturado, a eficiência do gesso na substituição do sódio trocável, a efetividade do tratamento em profundidade e as características de lixiviação dos sais através das colunas de solos. O experimento foi conduzido em condições de laboratório.

Foram preparadas colunas de solo de 20 e 10cm de altura, com 10cm de diâmetro interno. Nas colunas de 20cm, contendo os três solos, foi aplicado gesso na camada superficial de 5cm em quantidade suficiente para substituir 100% do sódio trocável. Nas colunas de 10cm usou-se solução eletrolítica de diferentes valores de concentração e de RAS (relação de adsorção de sódio). Nestas colunas foi mantida uma carga hidráulica constante de 5cm com a finalidade de se determinar a condutibilidade hidráulica do solo saturado. No volume percolado foram determinados os íons  $SO_4^{2-}$ ,  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  e  $Na^+$ . No final do experimento as colunas foram seccionadas em segmentos de 5cm e realizadas determinações das modificações químicas ocorridas. Na avaliação dos efeitos dos tratamentos, utilizou-se um modelo fatorial cruzado, com três fatores e duas repetições e teste de Tukey com nível de significância de 1%.

Nos três solos a aplicação de gesso proporcionou aumentos na condutibilidade hidráulica e reduções significativas do sódio trocável, tendo sido alta a eficiência do corretivo em profundidade e maior no solo de menor conteúdo de argila e de condutibilidade hidráulica mais elevada. Ocorreu, de forma bastante efetiva, a lixiviação dos sais nas colunas, com eliminação completa do sulfato. A aplicação de solução de maior concentração eletrolítica proporcionou aumentos nos valores de condutibilidade hidráulica dos solos estudados.

## ABSTRACT

A laboratory experiment was conducted to observe the effect of gypsum and solutions of different electrolytical concentrations on the saturated soil hydraulic conductivity gypsum efficiency in exchanging sodium, the in depth effectiveness of the amendment and salt leaching characteristics through soil columns.

Soil columns of 20cm and 10cm of internal diameter were used for the three soils studied. To the superficial layer of the 20cm high columns, gypsum was applied in a sufficient quantity to replace the soil exchangeable sodium. Electrolytical solutions with different concentration and SAR (sodium adsorption ratio) was used in the 10cm high columns, which were maintained with a 5cm head to determine soil hydraulic conductivity. The concentration of  $SO_4^{2-}$ ,  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  and  $Na^+$  ions were also determined on the leachate. The chemical alterations that occurred were also observed at the end of the experiment, when the columns were sectioned into 5cm segments. A crossed factorial model (with 3 factors and 2 replications) and the Tukey's test at 1% of significance were used to evaluate the effect of treatments.

Gypsum application on three soils increased hydraulic conductivity and reduced exchangeable sodium values, showing a high corrective efficiency with depth. In soil with less clay content and high hydraulic conductivity depth corrective effectiveness was higher.

Effective salt leaching from columns occurred and sulphate was completely eliminated. Application of the highest electrolytical concentrated solution increased hydraulic conductivity values of the studied soils.

## INTRODUÇÃO

A acumulação de sais solúveis e sódio trocável é frequente em regiões áridas e semi-áridas. A região nordeste do Brasil, decorrente das condições climáticas, relevo e gênese dos solos, apresenta condições propícias aos processos de salinização e sodificação que podem prejudicar a produção agrícola nas áreas afetadas.

No Estado do Ceará aproximadamente 2% da área é constituída de solos aluviais, os quais, em parte, apresentam problemas de salinidade ou sodicidade. Esses solos ocorrem nas margens dos principais cursos d'água e são importantes pelo seu potencial agrícola. De acordo com JACOMINE et alii (1973) esses solos são derivados de sedimentos arenosos, argilosos e siltosos do Holoceno e apresentam grande variação na disposição de suas camadas e, conseqüentemente, em suas características físicas e químicas. Em virtude de sua posição no relevo, dos processos pedogenéticos envolvidos e das características climáticas da região, grande parte desses solos apresentam problemas de salinidade e sodicidade ou apresentam vários riscos de salinização ou sodificação, problemas que merecem maiores atenções quando sistemas de irrigação são implantados.

A recuperação de solos com excesso de sódio é uma prática difícil e onerosa que exige conhecimentos das características do solo, do corretivo e da água a serem usados, a fim de propiciar a eliminação dos sais que vão se formar como resultado das reações do corretivo no solo. Estes aspectos devem ser considerados conjuntamente se maior eficiência for desejada no manejo de solos sódicos.

O objetivo principal da recuperação de solos sódicos e salino-sódicos é o melhoramento das características físicas, especialmente as condições de infiltração e condutibilidade hidráulica no perfil do solo. Isso pode ser conseguido tanto pela adição de corretivos químicos capazes de fornecer íons cálcio

cio, como também por aplicação de soluções de altas concentrações eletrolíticas.

Comparação de corretivos tem sido realizada por diversos investigadores (PRATER et alii 1978; AZEVEDO et alii 1982; FREITAS, 1983) e avaliada através de melhoramento das condições físicas do solo. O gesso tem apresentado bons resultados em comparação a outros corretivos apesar de resultados contrários como os observados por AZEVEDO et alii (1982). No entanto, o gesso é mais econômico devido sua fácil aquisição com custo relativamente baixo, especialmente no Nordeste, onde outros corretivos tais como enxofre, ácido sulfúrico e cloreto de cálcio são importados.

A quantidade de sódio removida representada pela taxa de decréscimo da PST do solo é um parâmetro químico utilizado para avaliar a eficiência do corretivo no melhoramento de solos com excesso de sódio. Da mesma forma, a condutibilidade hidráulica é um indispensável parâmetro físico nessa avaliação. A eficiência de recuperação depende também da dissolução do gesso no solo sendo esta relacionada com a textura do solo.

O presente trabalho teve como objetivos verificar, em colunas de três solos aluviais de diferentes texturas, o efeito da aplicação de gesso e soluções de diferentes concentrações eletrolíticas na condutibilidade hidráulica do solo saturado, a eficiência do gesso na substituição do sódio trocável, a efetividade do tratamento em profundidade e as características de lixiviação dos sais através das colunas de solos.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Condutibilidade hidráulica do solo

A condutibilidade hidráulica é um dos parâmetros físicos mais importantes na avaliação da dinâmica da água no solo, na irrigação e drenagem, na dotação de água, no movimento dos sais no perfil do solo e na recuperação e aproveitamento de solos afetados por sódio (CORDEIRO, 1977).

O valor da condutibilidade hidráulica do solo pode ser afetado por diversos fatores como distribuição granulométrica, porosidade do solo, conteúdo e tipo de argila, presença de sódio no complexo de troca, teor de umidade do solo, concentração de sais na solução percolante e presença de fendas e de cavidades decorrentes da atividade biológica no solo (NUÑEZ, 1978). 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 (COELHO, 1983). Os efeitos da forma dos poros e do tipo de estrutura sobre a condutibilidade hidráulica do solo saturado foram estudados por COOPER (1984).

As relações entre condutibilidade hidráulica e diversas propriedades do solo têm sido objeto de muita pesquisa. RODAS (1970) verificou a existência de relação muito definida entre a composição granulométrica e a condutibilidade hidráulica do solo, determinada em amostras não alteradas, encontrando expressões para o cálculo da condutibilidade hidráulica através da percentagem de areia ou percentagem de silte + argila. GOMES & MILLAR (1978) estudando problemas de representatividade de valores de condutibilidade hidráulica de solos aluviais do projeto de irrigação de São Gonçalo (PB), obtiveram também relação entre a condutibilidade hidráulica e a granulometria do

solo.

A variabilidade espacial, inerente ao solo, constitui fator de importância na utilização dos parâmetros da dinâmica da água e dos sais, e é agravada nos solos aluviais devido a extratificação e mistura de materiais que ocorrem nesses solos (COELHO, 1981). Estudos sobre amostragem e variabilidade em solos aluviais salinos e sódicos têm sido conduzidos. GOMES & MILLAR (1978) verificaram em solos aluviais que há grande variação horizontal das propriedades físicas, principalmente devido à mistura de camadas de solo de texturas arenosa barrenta e barro arenoso, com outras mais argilosas e de alta concentração de sódio. WAGNET & KNIGHTON (1984) estudaram a influência da variação da salinidade e textura do solo sobre a variabilidade espacial da condutibilidade hidráulica dos solos e observaram que as mudanças na condutividade elétrica e percentagem de areia influenciaram de forma significativa a estimativa do valor da condutibilidade hidráulica dos solos estudados. A análise estatística realizada por BRESLER (1984) mostrou que a condutividade elétrica contribuiu com somente 10 a 15% na variabilidade da condutibilidade hidráulica, enquanto que a textura (percentagem de areia) contribuiu com 25 a 45% dessa variabilidade.

Nos solos aluviais irrigados do Nordeste tem sido encontrado relações diretas entre condutibilidade hidráulica e conteúdo de sódio trocável. MILLAR & CORDEIRO (1978) relataram valores nulos de condutibilidade hidráulica saturada, determinada em amostras deformadas, em 15 solos sódicos e 13 salino-sódicos do projeto de irrigação de São Gonçalo (PB); atribuíram esses valores aos elevados teores de sódio trocável e a dispersão de argila, expressa pelo grau de floculação e volume de sedimentação. Em áreas de solos normais, sódicos e salino-sódicos do projeto de irrigação de Morada Nova (CE) COELHO (1980) observou valores baixos de condutibilidade hidráulica determinado "in situ" pelo método do poço, onde esses valores variaram de 0,0 a 0,4 m.dia<sup>-1</sup> nas camadas de textura média. AZEVEDO et alii (1982) observaram valores nulos de condu

tibilidade hidráulica em colunas de solo que permaneceram com uma lâmina constante de água de boa qualidade, durante um período de 40 dias, sendo esse fato atribuído ao alto teor de sódio trocável do solo.

Do exposto acima podemos concluir que são vários os fatores que influenciam a condutibilidade hidráulica dos solos, merecendo destaque a composição granulométrica, a porosidade do solo, o conteúdo e o tipo de argila, a presença de sódio no complexo de troca e a concentração eletrolítica da água aplicada.

## 2.2. Concentração salina da água

A composição da água afeta de maneira marcante o fluxo de água através do solo. De acordo com KLUTE (1965) os efeitos da concentração e composição da água usada, são causados por fenômenos de troca de íons na fração coloidal do solo, com uma resultante variação na expansão e floculação dos colóides do solo. NAVARRO (1979) relata a existência de uma relação direta entre concentração de água e permeabilidade do solo. QUIRK & SCHOFIELD (1955) estabeleceram níveis de concentração eletrolítica necessários para manter uma permeabilidade satisfatória em solo saturado, tendo fixado uma concentração crítica de 250meq/l de cloreto de sódio, na qual o decréscimo na condutibilidade hidráulica do solo saturado foi de 15%. Concentrações abaixo desse limite, causaram reduções drásticas na condutibilidade hidráulica do solo. PARK & O'CONNOR (1980) observaram que pequenas adições de água de alta qualidade, quando aplicada ao solo previamente equilibrado com água contendo sais de sódio causou um decréscimo na permeabilidade do solo. SHAINBERG et alii (1981) concluíram que a dissolução e hidrólise dos minerais do solo aumentou a concentração de eletrólitos na solução do solo, sendo que nessa condição, a aplicação de soluções de baixa concentração eletrolítica não causou redução na condutibilidade hidráulica do solo. KINJO & MARCOS (1982) observaram que elevações no valor da RAS de Soluções salinas causou aumento de sódio

dio trocável nos solos. ZARTMAN & GICHURO (1984) constataram que após 4 anos de irrigação ocorreu um aumento no nível de sódio no perfil do solo. A acumulação de sódio afetou diretamente os valores da condutibilidade hidráulica do solo ao longo do perfil. YADAV & GIRDHAR (1981) estudando o efeito de diferentes relações  $Mg^{++}/Ca^{++}$  e valores de RAS na água de lixiviação com concentração eletrolítica de 80meq/l sobre as propriedades de dois solos, aluviais de textura franco arenosa, calcário e não calcário, concluíram que o grau de dispersão aumentou e a condutibilidade hidráulica diminuiu com o aumento da relação  $Mg^{++}/Ca^{++}$  na água de lixiviação com RAS constante, em ambos os solos, sendo o efeito mais pronunciado a valores altos de RAS.

O tipo de argila e a presença de óxidos de ferro e alumínio apresentam efeitos sobre as propriedades físicas, particularmente aquelas relacionadas com erodibilidade, infiltração de água e movimento da água no solo. KEMPER citado por EL-SWAIFY (1969) observou que a deterioração da estrutura nos solos aumenta com o aumento nas quantidades de sódio trocável, particularmente quando é mais baixa a concentração de eletrólitos na solução do solo. EL-SWAIFY (1969) estudando o efeito do sódio trocável e concentração de sais sobre a estabilidade de agregados contendo altas quantidades de óxido de ferro e sendo compostos primariamente de caulinita e minerais amorfos, observou que não houve mudanças na estrutura dos solos quando tratados com água do mar e com cloreto de sódio, cálcio e magnésio numa concentração que variou de 0,2 a 0,6N.

Diversos autores têm estudado o efeito da dispersão de argilas na permeabilidade dos solos, a qual é dependente da quantidade e tipo de argila presente no solo. FIREMAN & BODMAN (1939) e McNEAL & COLEMAN (1966) observaram que um solo contendo, predominantemente, argila do tipo 1:1 apresentou maior permeabilidade que um solo contendo, predominantemente, argila do tipo 2:1, sendo esse fato atribuído à dispersão e expansão dos minerais de argila. A obstrução de poros como resultado da dispersão e movimento de argila (SHAINBERG et alii 1971; PUPISKY & SHAINBERG 1979; FRENKEL et alii 1978) foi a principal causa

responsável pela redução na permeabilidade de solos de baixa percentagem de sódio trocável quando lixiviados com solução salina diluída. De acordo com os mesmos autores, a expansão foi considerada o principal mecanismo responsável pela redução da condutibilidade hidráulica em solos com alto valor de PST. SHAINBERG et alii (1981) verificaram que solos sódicos contendo calcário e poucos minerais primários tais como plagioclasio, feldspato e hornblenda, que facilmente liberam eletrólitos solúveis, não foram dispersados quando lavados com água destilada com moderadas percentagens de sódio trocável, porque foram mantidas suficientemente altas concentrações de sais na solução do solo para prevenir a dispersão da argila. GUPTA et alii (1984) estudaram o efeito da sodicidade e pH sobre o comportamento dispersivo dos solos. O estudo revelou que crescentes aumentos na alcalinidade da solução percolante ou na RAS, causaram um aumento na dispersão de argilas. Alta concentração eletrolítica mostrou-se muito eficiente em evitar a dispersão.

De posse das informações expostas acima podemos concluir que um dos maiores problemas no manejo e recuperação dos solos sódicos e salino-sódicos é sua baixa condutibilidade hidráulica. Isto se deve ao alto conteúdo de sódio trocável presente que causa dispersão das argilas. É condição básica para o sucesso da recuperação dos solos com problemas de sódio, além da utilização dos corretivos químicos, fazendo passar água através do perfil para lixiviar o sódio. Uma alta concentração eletrolítica na água percolante, pode reduzir os efeitos desse cátion.

### 2.3. Correção de solos sódicos e salino-sódicos

Existem diversos métodos por meio dos quais se procura promover a recuperação dos solos com problemas de sais e sódio. Porém, dentre os métodos existentes, o que utiliza corretivos químicos é largamente utilizado, consistindo em incorporar ao solo substâncias químicas com a finalidade de solubi-

lizar o cálcio existente ou adicioná-lo diretamente em forma solúvel, para proporcionar a substituição do sódio pelo cálcio no complexo de troca, com a finalidade de obter a floculação dos colóides do solo, proporcionando aumento na penetração da água e do ar no solo (MATIAS FILHO, 1980; FREITAS, 1983).

Várias substâncias são utilizadas como corretivos dependendo das características do solo, da velocidade desejada de recuperação e das limitações econômicas ou custo no mercado por equivalente químico. O gesso, pela fácil aquisição e custo relativamente baixo, é o corretivo químico mais usado na recuperação de solos com problemas de sódio.

A aplicação de gesso no solo é comumente recomendada para a recuperação de solos sódicos e para redução dos efeitos causados pelo alto teor de sódio da água de irrigação. O tratamento do solo com gesso é seguido por uma lavagem com água para dissolver o gesso aplicado e para percolar os sais solúveis para uma profundidade abaixo do sistema radicular (HIRA et alii, 1981). Devido sua baixa solubilidade, grandes quantidades de água devem ser aplicadas ao solo para a completa dissolução. Além disso, a condutibilidade hidráulica dos solos sódicos é muito baixa e isso pode também implicar em aumentos do tempo necessário para a recuperação (FREITAS 1983). DUTT et alii (1972) citam que foram necessários 52 a 75,2 cm de água de irrigação para dissolver 16,6 a 24,0 toneladas de gesso por hectare, misturado na camada superficial do solo.

Vários trabalhos tem sido conduzidos com o objetivo de estudar a eficiência de corretivos na recuperação de solos sódicos. PRATER et alii (1978) concluíram que a combinação de cloreto de cálcio ou ácido sulfúrico com gesso (em proporção de 1/4 e 3/4 respectivamente) causou uma redução no tempo e requerimento de água durante a recuperação do solo, comparado com gesso separadamente. DUTT (1964) observou que pequenas quantidades de gesso (0,5; 1,0 e 2,0% em peso), quando aplicados ao solo contendo 19,0meq/100g de cálcio trocável lixiviado com soluções contendo 50meq/l de NaCl e 50meq/l de MgCl<sub>2</sub>,

não afetaram a curva do  $\text{Na}^+$  (meq/l de  $\text{Na}^+$  no lixiviado verso ml do lixiviado). Contudo, a curva do  $\text{Mg}^{++}$  dependeu da quantidade de gesso presente no solo. Quando ainda existia gesso no solo, a concentração de  $\text{Mg}^{++}$  no lixiviado aumentou e nivelou-se numa concentração um pouco abaixo daquela que estava entrando no solo. Quando o gesso foi totalmente lixiviado a concentração do  $\text{Mg}^{++}$  aumentou para um valor aproximadamente igual ao da solução que estava entrando no sistema. SHAINBERG et alii (1982) estudando a resposta da aplicação de gesso e cloreto de cálcio em 3 solos sódicos, com textura variando de argila a areia, observaram aumentos na condutibilidade hidráulica quando quantidades crescentes de corretivos foram aplicados aos solos, sendo esses aumentos atribuídos ao aumento da concentração eletrolítica. Porém, para uma mesma quantidade de corretivo, aplicado aos solos de diferentes texturas, aqueles com maior porcentagem de argila apresentaram menores valores de condutibilidade hidráulica.

AZEVEDO et alii (1982) estudando os efeitos de corretivos químicos e águas salinas na infiltração e condutibilidade hidráulica de um solo salino sódico, observaram que devido a alta PST (porcentagem de sódio trocável do solo) no caso da testemunha, a infiltração de água no solo foi praticamente nula. Um efeito positivo foi verificado na infiltração e condutibilidade hidráulica do solo com os diversos tratamentos. O ácido sulfúrico proporcionou aumentos na condutibilidade hidráulica do solo quase sete vezes maior que os tratamentos com gesso, gesso + ácido sulfúrico e carbonato + ácido sulfúrico, os quais não apresentaram diferenças entre si, o que significa grande economia de tempo e volume de água necessárias para o processo de recuperação desse solo, quando utilizado o ácido sulfúrico como corretivo.

ABROL & BHUMBLA (1973) estudaram o efeito de aplicação de lâmina d'água de forma contínua e intermitente, com ou sem aplicação de gesso, sobre a lixiviação de sais em um solo salino-sódico. Os resultados dos testes após 42 dias mostraram que o gesso proporcionou aumento na lixiviação de sais. Além de um

aumento, em profundidade, dos sais lixiviados nas parcelas tratadas com gesso, os sais sofreram considerável dispersão e se distribuíram em grandes profundidades no solo.

A aplicação de gesso em solos sódicos objetiva o melhoramento das condições de movimento da água no solo através dos efeitos da concentração eletrolítica e da troca de cátions.

SHAINBERG et alii (1982) compararam o efeito da aplicação de gesso e cloreto de cálcio, em quantidades equivalentes, sobre a condutibilidade hidráulica de três solos de Israel. O efeito da troca de cátions foi semelhante em ambos os tratamentos, mas houve uma demora no efeito da concentração e eletrolítica, no tratamento com aplicação de gesso. Esse comportamento foi muito importante no solo quimicamente estável, o qual não libera íons para a solução do solo, e proporcionou a manutenção de alta condutibilidade hidráulica. No caso dos solos calcáreos a eficiência dos dois tratamentos foi similar. Estes solos liberam eletrólitos para solução do solo evitando a dispersão de argilas e a conseqüente diminuição da condutibilidade hidráulica.

Vários trabalhos têm sido conduzidos com o gesso, aplicado isoladamente ou associado a materiais orgânicos. FADHI et alii (1965) testaram o efeito do gesso e fécula de batata e combinações desses corretivos sobre o movimento de água e remoção do sódio de solos solonéticos. Observaram melhores resultados com a aplicação de 8ton/ha de gesso e combinação de 20ton/ha de gesso e 12ton/ha de fécula. ABROL & BHUMBLA (1973) concluíram que a aplicação de gesso ao solo salino-sódico franco argiloso causou uma maior eficiência na lixiviação de sais.

O gesso tem uma solubilidade em água de 30meq/l, variando em solos salinos com a composição da solução. Em solos sódicos com pH menor que 8,5 a solubilidade pode ser de 35 a 40meq/l. Em solos com pH menor que 9,0 e em presença de carbonato de sódio, a solubilidade do gesso se reduz grandemente. O conteúdo de água do solo, a forma de aplicação e a pureza do produto também têm influência na velocidade de reação (MATIAS

FILHO, 1980).

Vários pesquisadores (GLAS et alii, 1979; HIRA & SINGH 1980; HIRA et alii, 1981) desenvolveram equações matemáticas para predizer a dissolução de gesso em solos sódicos utilizando a hipótese da igual-redução, a qual postula que a taxa de redução do diâmetro da partícula durante a dissolução não é afetada pelo tamanho da partícula.

Alguns dos fatores que influenciam a dissolução de gesso em solos são: a composição da solução do solo, a temperatura, a granulometria do gesso aplicado e a velocidade do fluxo da água durante a lixiviação (HIRA & SINGH, 1980). Um importante fator que influencia a dissolução do gesso é a quantidade de sódio trocável do solo.

HIRA & SINGH (1980) conduziram estudos em laboratório para verificar o efeito do conteúdo de sódio trocável dos solos e o tamanho da partícula de gesso sobre a água de irrigação necessária para dissolver o gesso incorporado em solo sódico. Concluíram que a dissolução do gesso aumentou com o aumento do conteúdo de sódio trocável no solo. Uma lâmina de água de 4cm foi suficiente para dissolver totalmente 1g de gesso incorporado a uma coluna contendo 200g de solo, tendo o corretilvo granulometria menor que 0,26 milímetros.

KEREN & O'CONNOR (1982) concluíram em seu estudo que o aumento da velocidade de água no solo aumenta o coeficiente de dissolução, mas decresce o tempo de contato. O efeito final é tal que a velocidade de dissolução do gesso decresce quando a velocidade da água no solo aumenta.

KEREN et alii (1980) constataram que o tamanho das partículas de gesso influenciou a condutibilidade hidráulica do solo saturado, devido sua limitada solubilidade, podendo o excesso de sólidos causar bloqueio dos poros condutores de água no solo. A adição de gesso com granulometria menor que 44mm ; causou decréscimo na condutibilidade hidráulica do solo, mas essa propriedade física não foi afetada por partículas de gesso de tamanho entre 0,25 e 1,00mm de diâmetro.

Um método que oferece possibilidade de aumentar e man

ter a condutibilidade hidráulica de solos, originariamente de baixa permeabilidade, faz uso da elevada concentração eletrolítica da água para produzir efeito flocculante e manter uma permeabilidade substancialmente elevada e, ao mesmo tempo, o elevado conteúdo de sais da água pode servir como fonte de cations divalentes para substituição do sódio (QUIRK & SCHOFIELD, 1955; RAHMAN et alii, 1974; FREITAS, 1983). Esse método tem como objetivo a obtenção de um incremento na condutibilidade hidráulica através do aumento da concentração eletrolítica da água aplicada e posterior substituição e remoção do sódio trocável do solo, mantendo-se o aumento na condutibilidade hidráulica mesmo com a aplicação de água com menor concentração eletrolítica. (RAHMAN et alii, 1974).

DANE & KLUTE (1977) verificaram um decréscimo na condutibilidade hidráulica durante uma seqüência de decréscimos de concentração de solução percolante. Quando a concentração foi subseqüentemente aumentada, pouca ou nenhuma mudança ocorreu na condutibilidade hidráulica. Quando houve decréscimo da concentração para valores suficientemente baixos, as argilas foram dispersadas e translocadas pela solução de fluxo, obstruindo os poros condutores.

REEVE & DOERING, citado por RAHMAN et alii (1974), fizeram uma comparação no campo utilizando o método de diluição de água de alta concentração salina e o método convencional para recuperar solos sódicos. Eles estabeleceram que o método da diluição de água de alta concentração salina é mais efetivo e prático do que os métodos convencionais para recuperação de solos sódicos.

Pesquisas sobre recuperação têm, principalmente, sido centralizadas em torno do problema de minimização do tempo de recuperação pela manutenção de alta permeabilidade durante a lixiviação. REEVE & BOWER citados por JURY et alii (1979) propuseram a recuperação de solos sódicos com a diluição progressiva de água salina de irrigação, a qual permitiu a rápida lixiviação dos sais.

FERREYRA (1984), em uma coletânea realizada sobre so

los afetados por sais e qualidade de água de irrigação, observou que as águas utilizadas nos projetos de irrigação do Nordeste, especialmente no Estado do Ceará, são relativamente de boa qualidade.

De posse dessa informação, seria muito difícil e inviável a aplicação do método de diluição progressiva de água salina de irrigação, para as condições de Nordeste, a não ser em situações especiais, onde possam ser utilizadas água de drenagem de áreas com problemas de salinidade.

De acordo com o exposto acima, podemos concluir que são vários os produtos químicos utilizados, de forma isolada ou combinada, como corretivo das propriedades físicas e químicas de solos sódicos, dentre os quais podemos citar: cloreto de cálcio, sulfato de cálcio (gesso), carbonato de cálcio, enxofre e ácido sulfúrico. Todos, com a finalidade de proporcionar a substituição do sódio pelo cálcio no complexo de troca, causando a floculação dos colóides do solo que proporcionaria aumento nas penetrações da água e do ar no perfil.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Solos

Foram selecionados para o estudo, três solos aluviais da área do perímetro irrigado da Fazenda Experimental do Vale do Curu, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, situada no Município de Pentecoste, Ceará.

Foram coletadas amostras na profundidade de 0 a 20cm dos solos AT8 (franco arenoso), BT3 (franco) e DS2 (franco argiloso), selecionados de modo a incluir classes de textura média mais frequentes em solos aluviais do Estado do Ceará (COELHO, 1985).

Resultados das análises físicas e químicas dos três solos são apresentados na Tabela 1.

#### 3.2. Procedimento experimental

As amostras coletadas foram secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2,0mm de abertura de malha.

As massas de solo, assim preparadas, 10,0kg de solo, foram adicionados 2.000, 3.000 e 3.200ml de uma solução de NaCl 0,2N nos solos AT8, BT3 e DS2, respectivamente, destinada a elevar a PST a valores entre 15 e 30. Os solos foram incubados por um período de 15 dias e mantidos em condições controladas de umidade (conteúdo de água em torno de 1/3atm). Em seguida, as amostras foram secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2,0mm de abertura de malha, sendo procedida nova análise química, cujos resultados serão apresentados na Tabela 2.

TABELA 1. Análises físicas e químicas das amostras dos solos AT8, BT3 e DS2.

AMOSTRAS	Composição Granulométrica			Grau de Umidade		
	Areia (2,00-0,05mm)	Silte (0,05-0,002mm)	Argila (<0,002mm)	Flocu lação	1/3 atm	15 atm
	%			%		
AT8	57	31	12	13	20,6	6,3
BT3	33	44	23	34	30,9	9,8
DS2	24	48	28	42	32,0	12,0

AMOSTRAS	Matéria orgânica (%)	pH (H <sub>2</sub> O)	CE (mmhos/cm)	PST (%)	RAS
AT8	1,10	7,50	0,70	2,86	2,69
BT3	1,40	7,10	1,30	2,97	3,43
DS2	1,30	7,50	1,27	3,42	4,44

$$N_0 = (2472 - 2,26) = 7,73 \times 10^5 \times 5 \times 4,35$$

100

TABELA 2 - Análises químicas das amostras dos solos AT8, BT3 e DS2 após salinização.

AMOSTRAS	COMPLEXO SORTIVO							V	PST
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+++</sup>	S	T		
	meq/100g								
AT8	4,71	1,78	0,42	2,39	0,00	9,31	9,31	100	25,72
AT3	7,87	3,69	0,52	2,38	0,00	14,47	14,47	100	16,48
DS2	10,10	5,04	0,30	3,50	0,00	18,94	18,94	100	18,47

AMOSTRAS	pH (H <sub>2</sub> O)	CE  (mmhos/cm)	EXTRATO DE SATURAÇÃO					RAS
			Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	
			meq/l					
AT8	6,80	8,52	16,25	4,37	1,23	96,78	0,74	30,14
BT3	6,90	8,61	14,37	4,25	0,91	92,03	1,39	30,15
DS2	6,85	11,31	24,62	6,62	0,42	105,60	1,61	26,71

Foram montadas 12 colunas de solo, constituídas de 3 segmentos de tubo de PVC de 10cm de diâmetro interno, e 10cm de altura, sendo o solo colocado nos 2 segmentos inferiores, atingindo uma profundidade de 20cm. O segmento inferior recebeu uma tampa com um orifício para a drenagem do percolado, sendo colocados internamente um disco de tela de nylon e um de papel de filtro. Procedeu-se ao preenchimento da seção inferior, adicionando-se o solo em porções sucessivas de aproximadamente 70,0g, batendo-se em superfície rígida, até completar o volume com a massa calculada para se obter a densidade previamente selecionada. Em seguida a segunda seção foi fixada à inferior, com cola para PVC e, adotando-se o mesmo procedimento, efetuou-se a colocação do solo. Cada coluna de solo ficou com um volume de  $1.570\text{cm}^3$ , porosidade total de 51% que corresponde a  $779,80\text{cm}^3$  e densidade do solo igual a  $1,35\text{g/cm}^3$ . O terceiro segmento, foi em seguida fixado à coluna de solo e conectado através de tubo de latex ao reservatório de nível constante do permeâmetro, regulado para uma lâmina de 5,0cm de água.

O corretivo utilizado, gesso na forma de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , reativo p.a. de granulometria fina (0,1mm), foi aplicado na camada superficial de 5,0cm de espessura das colunas de solo, em quantidades suficientes para substituir 100% do sódio trocável, correspondendo a 4,35, 4,32 e 6,38g de gesso por coluna e a 5,54, 5,50 e 8,13ton/ha para os solos AT8, BT3 e DS2, respectivamente. Foram preparadas quatro colunas para cada solo, duas com o tratamento de gesso e duas usadas como testemunha (sem corretivo).

A condutibilidade hidráulica das amostras contidas nas colunas foi determinada utilizando-se permeâmetro de carga constante, com uma lâmina de 5,0cm de água, cuja composição química pode ser observada na Tabela 3.

O percolado de cada coluna, foi coletado e medido em provetas graduadas, em intervalos constantes de 24 horas. O experimento foi continuado até que o volume percolado no intervalo de tempo, em cada coluna, permaneceu constante e foi

TABELA 3 - Composição química da água utilizada no estudo

---

CARACTERÍSTICA	
Condutividade elétrica	0,29mmhos/cm a 25°C
Cloretos (Cl <sup>-</sup> )	1,00 meq/l
Cálcio+Magnésio (Ca <sup>++</sup> + Mg <sup>++</sup> )	0,50 meq/l
Sódio (Na <sup>+</sup> )	1,87 meq/l
Relação de adsorção de sódio(RAS)	3,74
Classificação	<u>C2S1</u>

---

verificada a ausência de sulfato no efluente.

No volume lixiviado foram determinados os íons  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{++}$  +  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , além de pH e condutividade elétrica. O sulfato foi determinado por turbidimetria (MOSSOUMI & CORNFIELD, 1963);  $\text{Ca}^{++}$  +  $\text{Mg}^{++}$  por titulação com EDTA 0,025N;  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  por fotometria de chama (EMBRAPA, 1979); condutividade elétrica medida em condutivímetro Metrohm Herisau E-527; o pH foi determinado potenciométricamente empregando-se diretamente a solução percolada.

No final do experimento (36 dias), as colunas foram seccionadas em segmentos de 5,0cm e as amostras colocadas para secar ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2,0mm de abertura de malha.

As análises para determinação das modificações químicas ocorridas nas amostras de cada segmento foram executadas utilizando-se a metodologia empregada pela EMBRAPA (1979). O pH foi determinado potenciométricamente, empregando-se uma relação solo-água 1:1, os cátions trocáveis extraídos com acetato de amônio normal pH 7, determinando-se o cálcio e magnésio por titulação com EDTA e sódio e potássio por fotometria de chama, subtraindo-se dos cátions extraídos os cátions solúveis; valor T (capacidade de troca de cátions) obtida pela soma dos cátions trocáveis; porcentagem de sódio trocável (PST) calculada pela fórmula  $100\text{Na}^+/\text{T}$ ; condutividade elétrica (CE) determinada no extrato de saturação utilizando-se condutivímetro Metrohm Herisau E-527; cátions solúveis, determinados no extrato de saturação, empregando-se os mesmos métodos indicados para os trocáveis. De posse dos dados, foi realizado um balanço de sais para cada solo, tomando-se por base os íons aplicados, removidos e adsorvidos no complexo de troca.

Com o objetivo de verificar o efeito da concentração de diversas soluções eletrolíticas sobre a condutibilidade hidráulica, foram preparadas colunas de solo de 10cm de altura com densidade do solo igual a  $1,35\text{g}/\text{cm}^3$  em tubo de PVC, utilizando-se o procedimento já enunciado. Foram utilizadas soluções salinas de cloreto de cálcio e cloreto de sódio com as

seguintes concentrações: 423,37, 346,50, 125,88 27,53 e 7,57meq/l e valores de RAS iguais a 80, 34, 22, 9 e 5, respectivamente. Inicialmente as colunas de solo foram saturadas com a solução eletrolítica mais concentrada e conectadas ao reservatório de nível constante do permeâmetro, contendo a referida solução, mantendo-se uma lâmina de 5,0cm até que o volume de percolado se mantivesse constante num período de 6 horas. Interrompeu-se o fluxo para que a solução em todo o sistema fosse substituída pela de menor concentração, procedendo-se assim para as demais soluções. A condutibilidade hidráulica foi calculada pela equação de Darcy e os valores relativos estimados a partir do valor obtido com a solução de concentração mais alta.

Na avaliação dos efeitos dos tratamentos utilizou-se um modelo fatorial cruzado com 3 fatores e o teste de Tukey com nível de significância de 1%.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1. Efeito da aplicação de gesso sobre a condutibilidade hidráulica do solo saturado

Os valores médios de condutibilidade hidráulica dos solos AT8, BT3 e DS2 determinados nas amostras submetidas ao tratamento com gesso e nas colunas contendo as testemunhas são apresentados na Tabela 4. Os resultados indicam efeito pronunciado da aplicação do gesso sobre a condutibilidade hidráulica dos três solos, considerando que foram observados valores nulos nas testemunhas, as quais permaneceram sem percolar durante o período de 36 dias de duração do experimento. O valor da condutibilidade hidráulica no solo AT8 foi duas vezes maior que o dos solos BT3 e DS2, os quais não diferiram entre si, indicando um efeito mais pronunciado do gesso na redução da PST e também da diferença de textura entre eles. Efeitos semelhantes da aplicação de gesso no aumento da condutibilidade hidráulica de solos argilosos salino-sódicos foram relatados por FREITAS et alii (1984) e AZEVEDO et alii (1982). Resultados apresentados por SHAINBERG et alii (1982) relativos a três solos de diferentes classes texturais, submetidos a diversos tratamentos com gesso, confirmam a influência do gesso e da textura sobre a condutibilidade hidráulica do solo. Determinações da condutibilidade hidráulica *in situ* em solos aluviais irrigados indicaram também relação estreita entre este parâmetro e o conteúdo de argila, e nível de sódio trocável no solo (GOMES & MILLAR, 1978; MILLAR & CORDEIRO, 1978; COELHO, 1985). Valores nulos de condutibilidade hidráulica foram observados em condições de textura argilosa e elevada percentagem de sódio trocável nesses solos.

Os valores apresentados na Tabela 4 foram calculados com volumes de efluente obtidos durante a metade final do experimento, período no qual a variação do volume diário perco-

TABELA 4 - Valores médios de condutibilidade hidráulica dos solos AT8, BT3 e DS2 com e sem aplicação de gesso.

SOLO	CONDUTIBILIDADE HIDRÁULICA	
	SEM GESSO	COM GESSO
	cm.h <sup>-1</sup>	
AT8	0,00	0,04
BT3	0,00	0,02
DS2	0,00	0,02

lado foi reduzida, conforme pode ser observado através da Fi gura 1, que indica a variação da condutibilidade hidráulica ao longo do tempo para os três solos. As curvas indicam reduções na condutibilidade hidráulica em torno de 50%, para os três solos, nas primeiras 120 horas, período no qual foram percolados 1505, 615 e 784ml nos solos AT8, BT3 e DS2, respectivamente. Essas reduções foram certamente decorrentes do de crê scimo na concentração salina da solução percolante, com a consequente dispersão e movimentação das argilas e obstrução dos poros condutores (SHAINBERG et alii 1971; PUPISKY & SHAINBERG, 1979; FRENKEL et alii, 1978; PRATHER et alii 1978). A alta concentração eletrolítica da solução, proporciona no iní cio, porosidade estável e consequentemente maior velocidade da água. Com a lixiviação dos sais, o de crê scimo na concentração da solução, provoca a redução na permeabilidade do solo. QUIRK & SCHOFIELD (1955) estabeleceram níveis de concentração limite, para diversas soluções e composições químicas do so lo, a partir dos quais a condutibilidade hidráulica foi drasticamente reduzida. AZEVEDO et alii (1982) observaram também de crê scimos na condutibilidade hidráulica em colunas de solo salino-sódico, ao longo do tempo, quando submetido a tratamentos com gesso, gesso + ácido sulfúrico e carbonato de cálcio + ácido sulfúrico. Curvas semelhantes as da Figura 1, foram apresentadas por ALPEROVITCH & SHAINBERG (1973) em colunas de solo sódico, submetidas a tratamentos com solução de cloreto de cálcio. A solução mais concentrada no início favoreceu a estabilidade na porosidade e consequentemente maior condutibilidade hidráulica do solo. É possível admitir, portanto, que os valores finais de condutibilidade hidráulica dos três so los estudados teriam sido mais elevados com o emprego de água de maior concentração eletrolítica.

#### 4.2. Efeito da aplicação de gesso sobre as propriedades químicas do solo

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios das concentrações dos cátions trocáveis, percentagem de sódio trocá

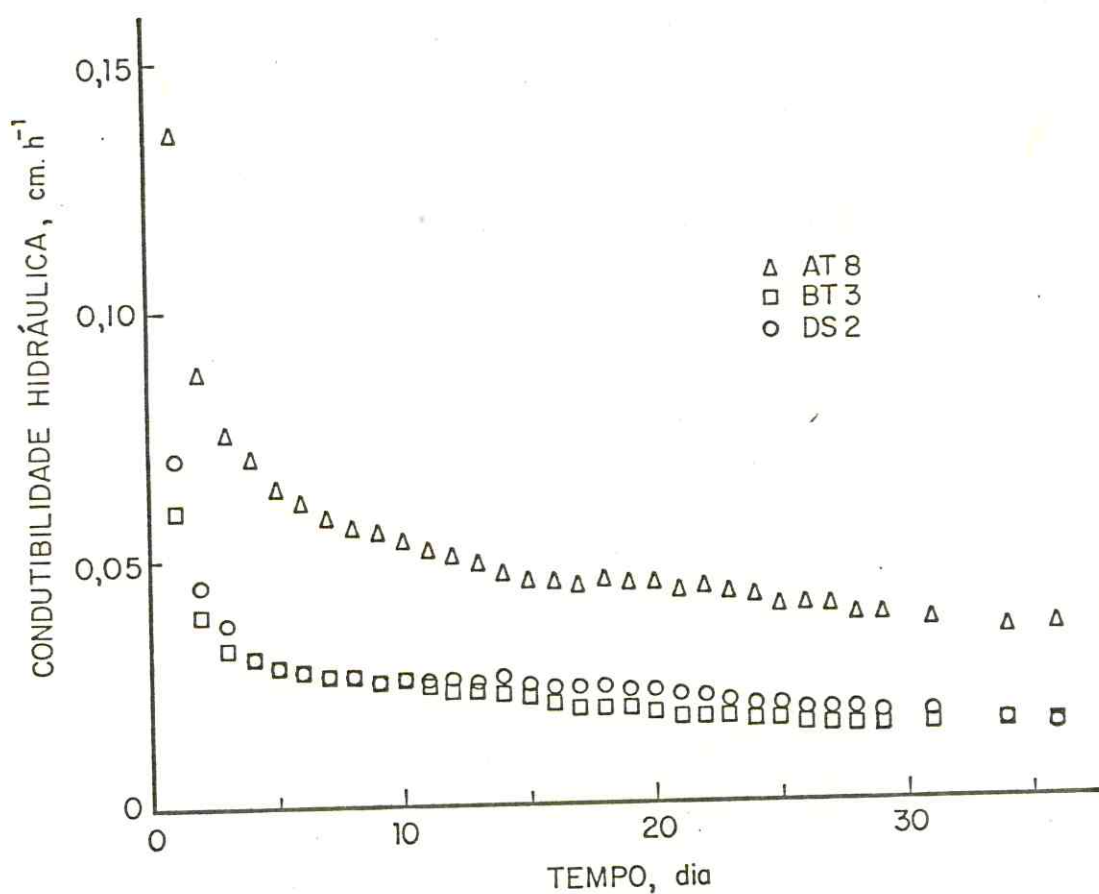


FIGURA 1 - Valores médios de condutibilidade hidráulica dos solos AT8, BT3 e DS2 em função do tempo.

TABELA 5 - Valores médios das concentrações dos cátions trocáveis, capacidade de troca de cátions, percentagem de sódio trocável e condutividade elétrica dos solos AT8, BT3 e DS2 antes da aplicação de gesso (I) e no final do experimento (F).

SOLO	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	CTC	PST	Condutividade elétrica
	meq/100g					(%)	(mmhos.cm <sup>-1</sup> )
AT8 I	4,71a <sup>1</sup>	1,78b	0,42a	2,39b	9,30a	25,72b	8,52b
AT8 F	6,15b	1,27a	0,38a	0,16a	7,96a	2,03a	0,38a
BT3 I	7,87a	3,69b	0,52a	2,38b	14,47a	16,49b	8,61b
BT3 F	10,53b	2,29a	0,50a	0,19a	13,51a	1,38a	0,46a
DS2 I	10,10a	5,05b	0,30a	3,50b	18,95a	18,47b	11,31b
DS2 F	14,86b	1,72a	0,29a	0,46a	17,33a	2,71a	0,48a

(1) Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente ao nível de 1% em cada solo.

vel e condutividade elétrica dos três solos antes da aplicação do gesso e ao final do experimento.

A análise de variância dos dados apresentados revelou aumentos significativos, ao nível de 1%, nos valores de cálcio trocável para os três solos estudados, decorrentes da aplicação do corretivo. Os aumentos foram proporcionalmente maiores para os solos com maiores valores de CTC. Acréscimos nos valores do cálcio trocável em solo tratado com gesso foram também observados por FREITAS (1983), sendo esses aumentos proporcionais às dosagens do corretivo aplicado, em razão da maior quantidade de gesso solubilizado. Reduções, estatisticamente significativas ao nível de 1%, nos teores de magnésio e sódio trocáveis, e nos valores da PST e da condutividade elétrica nos três solos, foram verificadas em decorrência da aplicação do gesso. As reduções do magnésio trocável atingiram a 29, 38 e 66% nos solos AT8, BT3 e DS2, respectivamente. Tais decréscimos foram decorrentes da substituição do magnésio pelo cálcio no complexo de troca, o que pode ser atribuído à maior afinidade pelo cálcio do que pelo magnésio (YADAV & GIRDHAR, 1981). Os valores de sódio trocável apresentaram decréscimos altamente significativos, variando de 87 a 93% e proporcionais aos teores iniciais. Esses decréscimos foram devidos à solubilização do gesso pela água de lixiviação e consequente substituição do sódio pelo cálcio. A diferença entre os valores da CTC, no início e no final do experimento, apesar de não significativa, pode ser atribuída a perdas de argila, que ocorrem frequentemente e a menor eficiência do extrator, em virtude da predominância do cálcio sobre o sódio, no complexo de troca. De acordo com HIRA & SINGH (1980) a solubilidade do gesso depende também da PST do solo, o que justifica, em parte, a maior eficiência na substituição do sódio trocável no solo AT8. As reduções na PST, decorrentes da remoção do sódio trocável, foram de 92,92 e 85% para os solos AT8, BT3 e DS2, respectivamente. Os resultados indicaram maior eficiência na substituição do sódio trocável nos solos AT8 e BT3 do que no DS2. Estes resul-

tados estão de acordo com os de SHAINBERG et alii (1982) que verificaram maiores eficiências na substituição do sódio trocável em solos com menores percentagens de argila. A redução nos valores de condutividade elétrica foi de grande magnitude, cerca de 95%, nos solos AT8, BT3 e DS2, aos quais foram adicionados 5,54, 5,50 e 8,13ton/ha de gesso, respectivamente e demonstra a eficiência do tratamento na lixiviação dos sais. Decrêscimos de 60% na condutividade elétrica foi observado por ABROL & BHUMBLA (1973) com a aplicação de 10ton/ha de gesso, a um solo franco arenoso, enquanto FREITAS (1983) verificou redução de 50% na condutividade elétrica de um solo argiloso salino-sódico com a aplicação de 28ton/ha de gesso na profundidade de 0 - 25cm. Os valores de condutividade elétrica determinados nos segmentos das colunas, ao final do experimento, revelaram não ter havido variação da condutividade elétrica em profundidade, comprovando ainda a eficiência na lixiviação dos sais.

Na correção de solos com problema de sódio trocável é importante considerar a eficiência dos tratamentos em profundidade no perfil do solo. Os teores de cálcio, sódio e magnésio trocáveis determinados no início e final do experimento em relação à profundidade das colunas são indicados nas Figuras 2, 3 e 4. Verifica-se, através da Figura 2, redução do cálcio trocável com o aumento da profundidade nos três solos, resultante, provavelmente, da aplicação do gesso na camada superficial das colunas de solo, que proporcionou maior concentração de cálcio nessa camada, favorecendo o processo de troca. A distribuição desses valores no início e final do experimento, revela ainda a relação direta entre os acréscimos do cátion e a textura do solo. Os valores de sódio trocável, em profundidade, no início e final do experimento (Figura 3) indicaram uma significativa redução desse cátion na profundidade de 0 a 15cm, nos três solos. Os decrêscimos foram proporcionais e quase uniformes em profundidade, comprovando a eficiência da aplicação do gesso na parte superficial do solo (ABROL & BHUMBLA, 1973; SHAINBERG et alii 1982). No entanto, ve

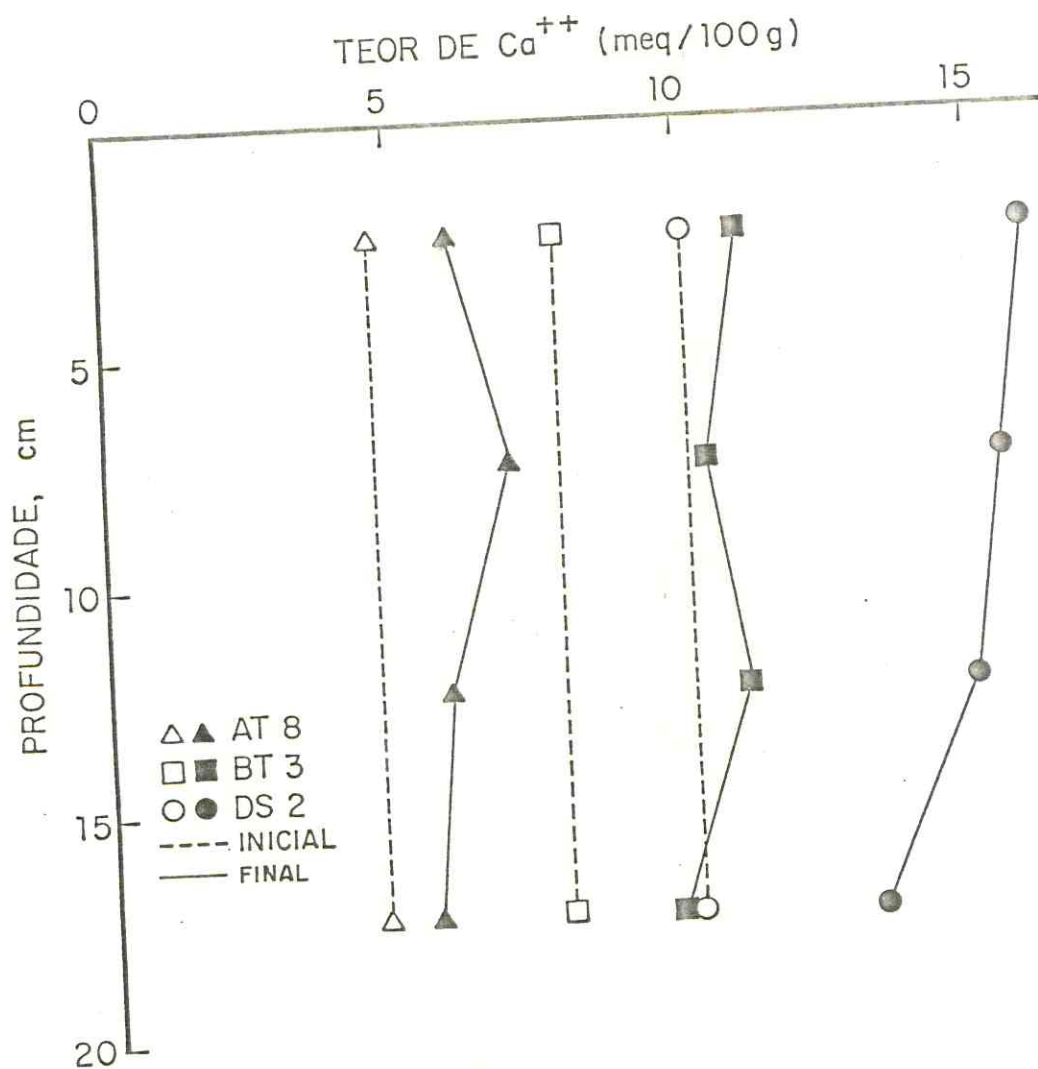


FIGURA 2 - Distribuição do cálcio trocável em profundidade no início e no final do experimento, nos solos AT8, BT3 e DS2.

rificaram-se diferenças marcantes na redução do sódio trocável entre os três solos na profundidade de 15 a 20cm. Nos solos AT8 e BT3 as reduções foram em torno de 90%, enquanto que no solo DS2 o decréscimo foi de 60%. SHAINBERG et alii (1982) observaram, também, teores mais elevados de sódio trocável na camada mais profunda, guardando ainda relação direta com a quantidade de argila, característica que pode ser também observada nas curvas da Figura 3. Na Figura 4, os teores de magnésio trocável são apresentados, em profundidade, nos três solos, no início e ao final do experimento. Apesar das curvas apresentarem diferenças entre si nota-se tendência para o aumento das concentrações finais de magnésio trocável com a profundidade, particularidade também observada por ALPEROVICH & SHAINBERG (1973), os quais segerem que tal efeito é devido ao equilíbrio não favorável nas relações de troca entre cálcio e magnésio.

A distribuição das concentrações iniciais e finais de cálcio, sódio e magnésio trocáveis, discutida acima, indicam a alta eficiência, em profundidade, da aplicação do gesso, nos três solos. Altas reduções da PST, em profundidade, foram obtidas, situando-se seus valores nas diversas camadas, ao final do experimento, em torno de 2,0 com exceção da camada de 15 a 20cm do solo DS2 na qual o valor final atingiu a 6,4.

#### 4.3. Eficiência da aplicação do gesso na lixiviação de sais

No período de 36 dias de duração do experimento foram percolados através das colunas volumes equivalentes a 4.670, 1.990 e 2.300ml de água, nos solos AT8, BT3 e DS2, respectivamente. As concentrações, em miliequivalentes por litro dos íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{Ca}^{2+}$  no volume do lixiviado até 2.000ml, são apresentadas nas Figuras 5, 6 e 7. Na Figura 5 podemos observar um decréscimo na concentração de  $\text{Na}^+$  com o aumento do volume de lixiviado, nos três solos, e a tendência, das curvas, ao equilíbrio com valor da concentração de  $\text{Na}^+$

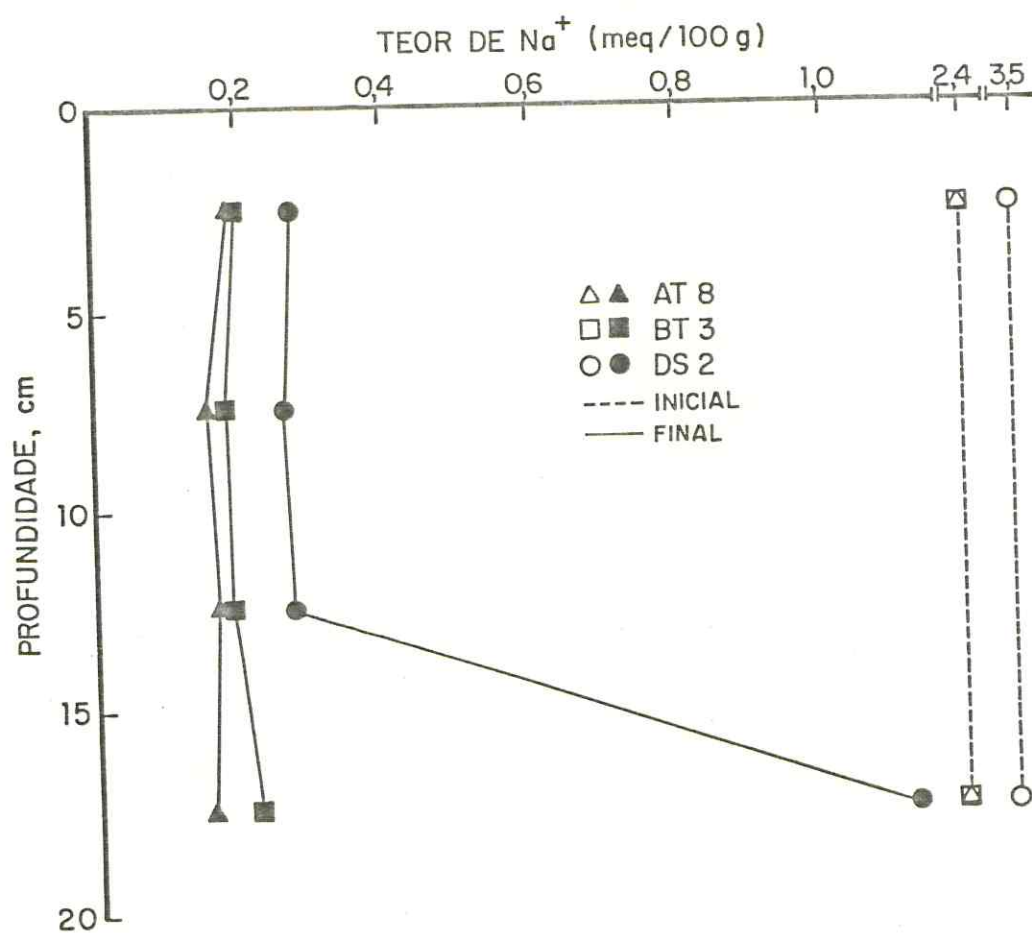


FIGURA 3 - Distribuição de sódio trocável em profundidade no início e no final do experimento, nos solos AT8, BT3 e DS2.

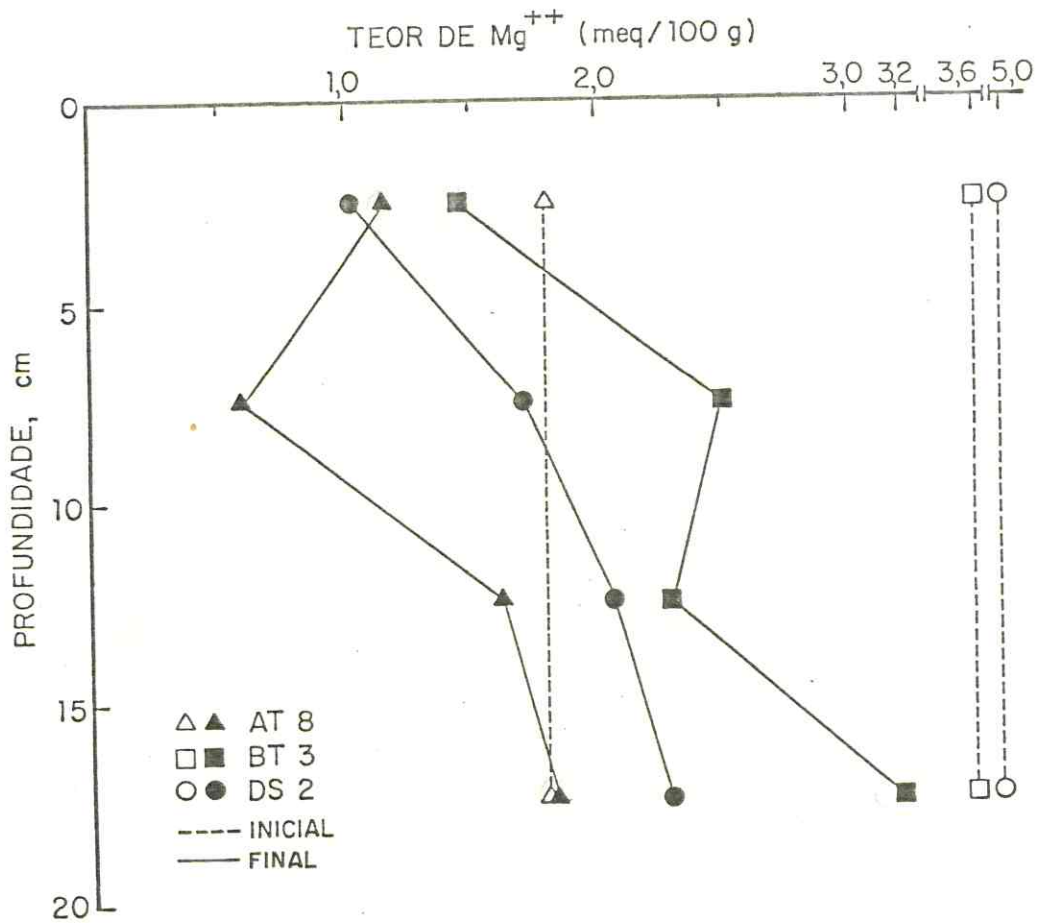


FIGURA 4 - Distribuição do magnésio trocável em profundidade no início e no final do experimento, nos solos AT8, BT3 e DS2.

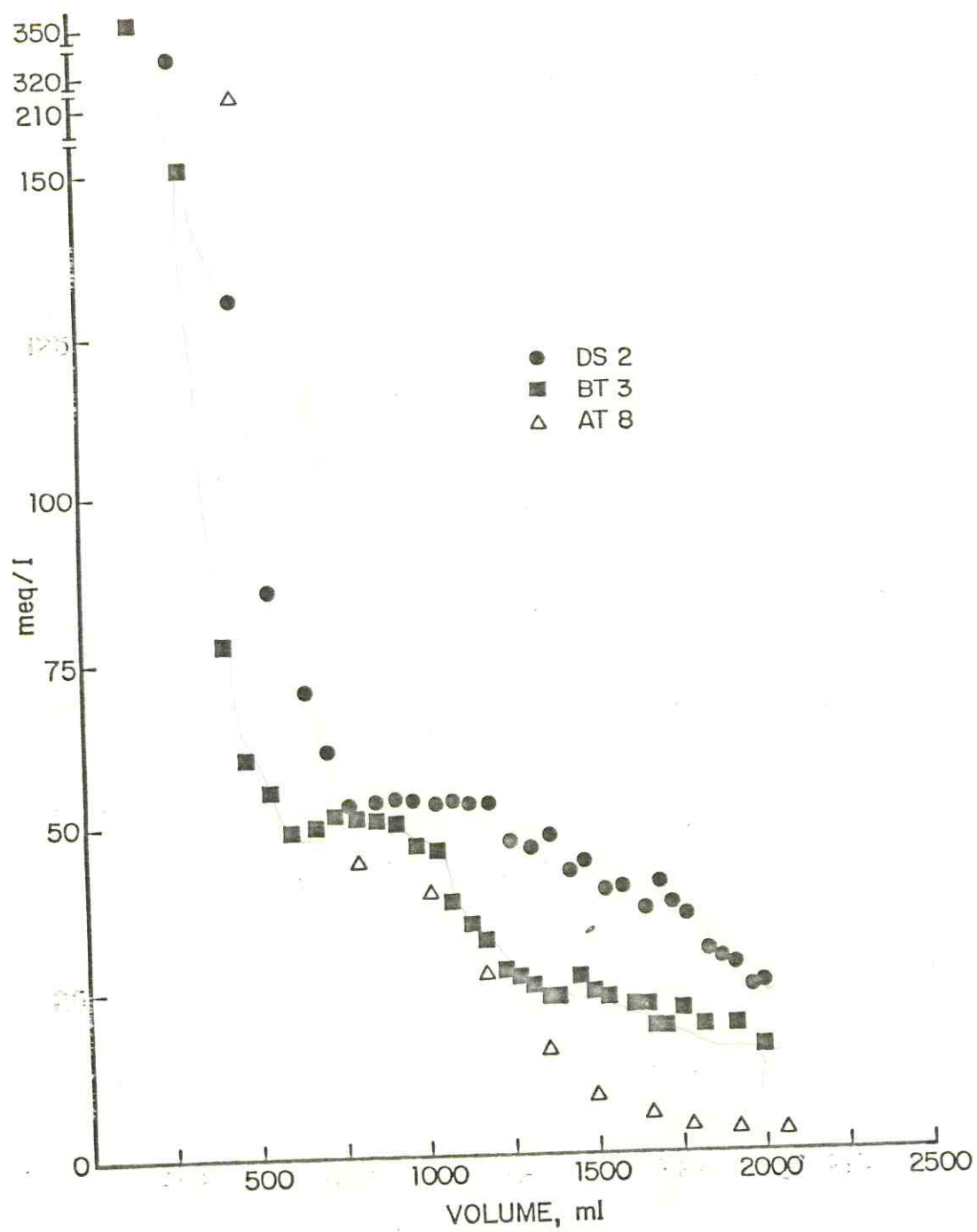


FIGURA 5 - Concentração de sódio no percolato das colunas dos solos AT8, BT3 e DS2.

da água aplicada. O decréscimo na concentração do sódio foi mais acentuado no solo AT8, e atingiu o equilíbrio com a concentração da água aplicada, após a percolação de aproximadamente 2.300ml. As curvas dos solos BT3 e DS2 apresentaram, no entanto, algumas diferenças. No solo BT3 foi observado um decréscimo acentuado na concentração até um volume de lixiviado em torno de 700ml, seguindo-se pequenos acréscimos que constituíram um patamar até o volume de 900ml, a partir do qual sucederam-se decréscimos menos pronunciados até o volume final de 1990ml com uma concentração de 15meq/l. A curva do solo DS2 com forma semelhante a do BT3, diferiu apenas na localização e extensão do patamar, formado após o decréscimo inicial acentuado, e nas reduções menos pronunciadas na parte final. A concentração do sódio correspondente ao volume total lixiviado, de 2.300ml, foi de 24meq/l. Através de regressão linear foram estimados volumes de água necessários para lixiviação total dos sais, referida ao equilíbrio nas concentrações do lixiviado e da água aplicada, que expressos em lâmina de água, totalizaram 353 e 185cm nos solos BT3 e DS2, respectivamente. No solo AT8, seria aplicada lâmina de 29cm, para o mesmo objetivo.

Os teores de sódio no percolado dos três solos, determinados no final do experimento, indicaram influência pronunciada da textura, evidenciada pela ordem decrescente das concentrações finais do solo mais argiloso para o mais arenoso. Resultados semelhantes foram relatados por SHAINBERG et alii (1982).

Na Figura 6, observa-se uma tendência para o decréscimo da concentração de  $SO_4^{2-}$  com o volume de água percolado. No entanto, nos solos DS2 e BT3 ocorreram, inicialmente, aumentos na concentração de  $SO_4^{2-}$  até volumes de 456 e 314ml, após o que foram verificadas reduções bruscas, sucedendo-se pequenos decréscimos, constituindo patamares idênticos aos observados na Figura 5, e novamente reduções mais pronunciadas até a ausência de  $SO_4^{2-}$  no percolado, indicando assim o final da solubilização do gesso aplicado. Referidos patama -

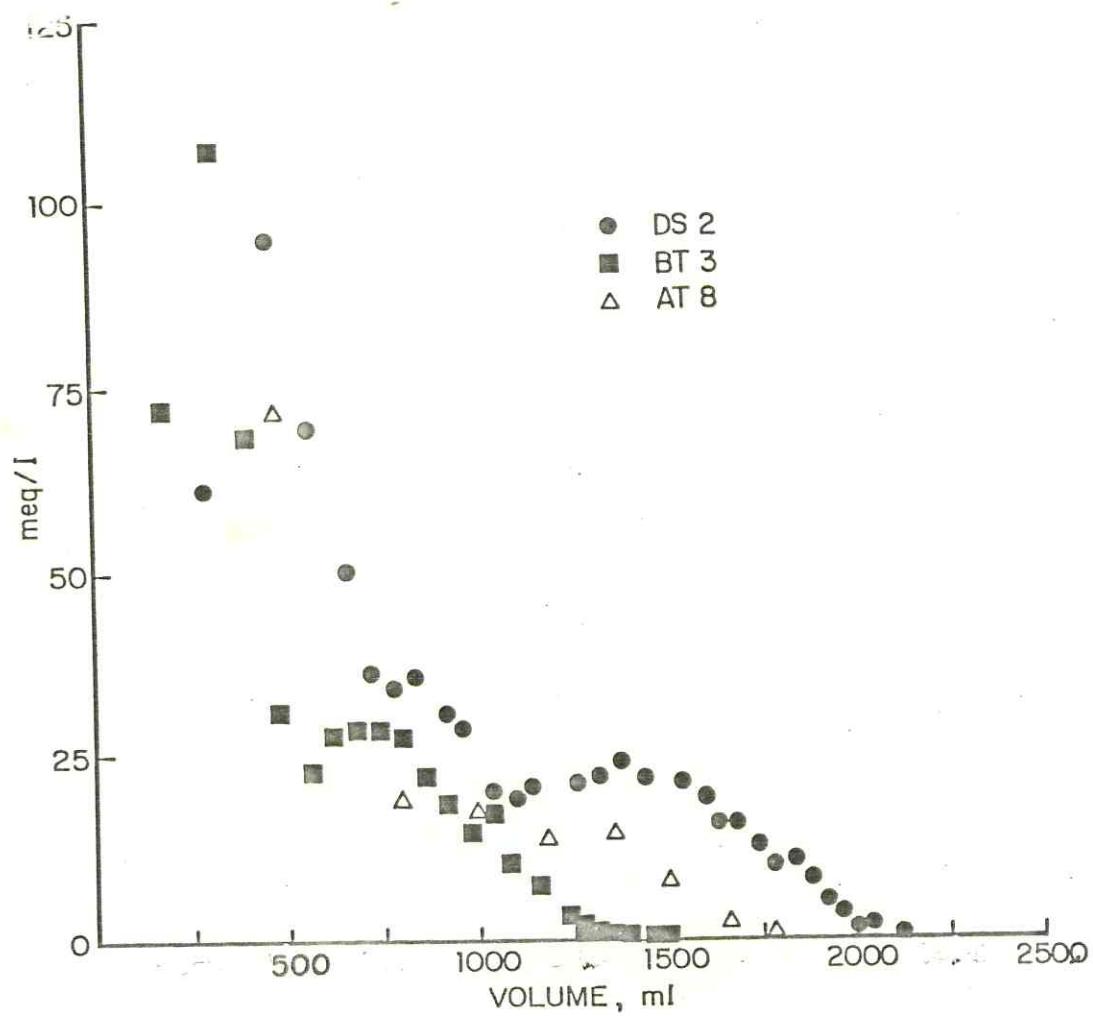


FIGURA 6 - Concentração de sulfato no percolado das colunas dos solos AT8, BT3 e DS2.

res corresponderam, em extensão, aos ilustrados na Figura 5, o que indica uma relação entre a solubilização do gesso e a substituição do sódio trocável e sua consequente lixiviação. Aumentos na concentração de  $SO_4^{2-}$  no início da percolação foram também observados por JURY et alii (1979), em dois solos de texturas média e argilosa, tendo sido atribuídos a um incremento inicial na dissolução de gesso. No solo AT8 ocorreram decréscimos bruscos na concentração de  $SO_4^{2-}$  logo no início da percolação e reduções de menor valor até o volume de 1.300ml após o que as reduções tornaram-se mais lentas até a ausência de  $SO_4^{2-}$  correspondente a 1800ml de solução percolada.

A eficiência da lixiviação de sais constitui fator de fundamental importância no processo de recuperação desses solos. Considerando a lixiviação de 99% de  $SO_4^{2-}$  aplicado, como estágio final da solubilização do gesso e espaços de tempo e volumes de água para se atingir essa situação, foram verificados períodos de 5, 15 e 25 dias e volumes em torno de 1500, 1200 e 1900ml nos solos AT8, BT3 e DS2, respectivamente. Extrapolando-se os dados para condições de campo, seriam necessárias lâminas de 26, 21 e 27cm de água, para a dissolução completa de 5,6; 5,5 e 8,2ton/ha de gesso incorporado nos 5cm superficiais dos solos AT8, BT3 e DS2, respectivamente. Esses resultados estão de acordo com os apresentados por DUTT et alii (1972) os quais verificaram a necessidade de lâminas entre 52 e 75cm de água para a dissolução de 16,6 a 24,0ton/ha de gesso aplicado.

Os decréscimos da concentração de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  no percolado, em função do aumento do volume de água, não apresentaram diferenças significativas nos três solos, conforme pode ser observado através da Figura 7. Foram observados decréscimos bruscos na concentração de  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  no percolado, até volumes de 100, 670 e 920ml nos solos AT8, BT3 e DS2, respectivamente, seguidos de pequenas variações até valores próximos à concentração existente na água aplicada ao sistema. Os pequenos acréscimos observados a partir dos pontos de infle

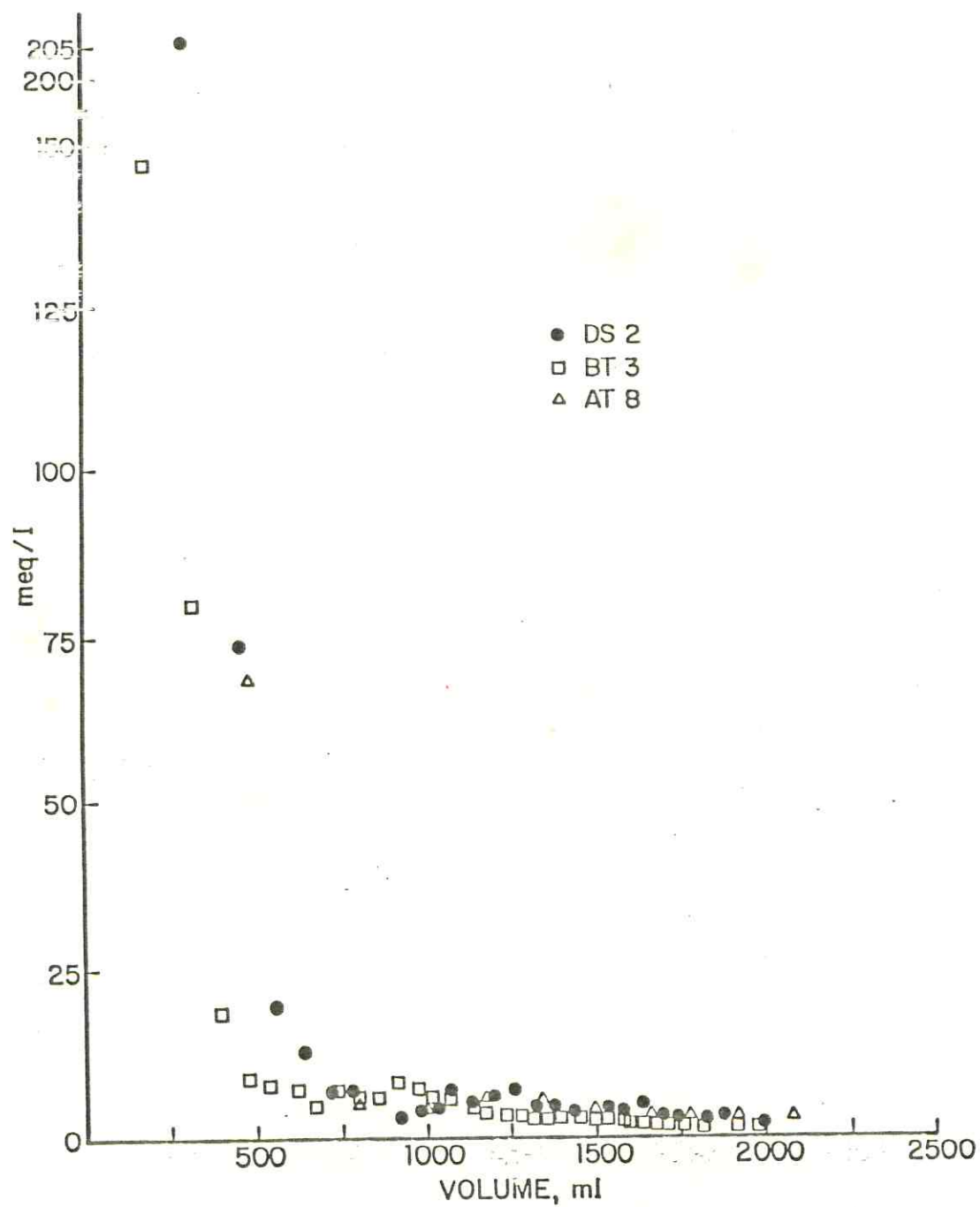


FIGURA 7 - Concentração de cálcio+magnésio no percolado das colunas dos solos AT8, BT3 e DS2.

xão, coincidem com os patamares das curvas de concentração de  $\text{Na}^+$  (Figura 6), provavelmente devido ao fato da substituição do  $\text{Na}^+$  pelo  $\text{Ca}^{2+}$  ter ocorrido lentamente, enquanto se processava a solubilização do gesso e consequente liberação de  $\text{Ca}^{2+}$

#### 4.4. Balanço iônico no complexo de troca

O balanço dos íons  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$  no complexo de troca das colunas está na Tabela 6, na qual estão consignadas as percentagens de eficiência de substituição do sódio trocável. Os teores de cálcio solúvel existentes nos solos BT3 e DS2 contribuíram certamente para tornar os valores de cálcio substituído maiores que a quantidade aplicada no gesso. Os valores encontrados para a eficiência do tratamento com gesso foram elevados nos três solos - entre 87 e 93% - e superiores aos observados por KEREN & O'CONNOR (1982); FREITAS (1983) e ALPEROVITCH & SHAINBERG (1973) em experimentos com gesso e solução de  $\text{CaCl}_2$  em colunas de solo. No entanto, verificou-se maior eficiência no solo AT8, de textura arenosa e de condutibilidade hidráulica mais elevada. De acordo com SHAINBERG et alii (1982) a eficiência de substituição do  $\text{Na}^+$  em colunas de solo não depende somente da quantidade de cálcio aplicada, mas também da textura e da condutibilidade hidráulica do solo. Segundo KEREN & SHAINBERG (1978) a eficiência de tratamentos com gesso, em condições de campo, tende a ser menos expressiva pois depende de fatores como granulometria e composição do corretivo, dentre outros. Esses autores relataram eficiências de substituição do  $\text{Na}^+$  pelo  $\text{Ca}^{2+}$  variando entre 50 e 63%. Eficiências na faixa de 40 a 50% foram observadas por FERREYRA & COELHO (1986), em experimento de campo com a aplicação de 12 ton/ha de gesso, em solo sódico cultivado com arroz sob inundação.

#### 4.5. Efeito da Concentração de soluções eletrolíticas sobre a condutibilidade hidráulica de solos saturado

TABELA 6 - Balanço dos Íons trocáveis nas colunas dos solos AT8, BT3 e DS2

	Ca <sup>2+</sup>			Mg <sup>2+</sup>			Na <sup>+</sup>		
	AT8	BT3	DS2	AT8	BT3	DS2	AT8	BT3	DS2
Inicial	99,9	166,8	214,1	37,7	78,2	106,9	50,7	50,7	74,2
Final	131,2	223,5	315,0	26,9	48,6	36,5	3,4	4,0	9,8
Substituído <sup>1</sup>	+31,3	+56,7	+100,9	-10,8	-29,6	-70,4	-47,3	-46,7	-64,4
% do íon substituído	-	-	-	28,6	37,9	65,9	93,3	92,0	86,9

(1) Os sinais + e - significam aumentos e reduções, respectivamente.

Os valores médios de condutibilidade hidráulica do solo saturado, obtidos com a aplicação de soluções salinas de crescentes nos solos AT8, BT3 e DS2 são apresentados na Tabela 7. Os valores mais elevados de condutibilidade hidráulica foram obtidos nos três solos pela aplicação da solução salina mais concentrada. No solo AT8 os valores foram superiores aos dos solos BT3 e DS2 em todos os níveis de concentração eletrolítica, e os menores valores correspondem ao solo DS2. Na Figura 8, os valores de condutibilidade hidráulica relativa estão plotados em função da concentração das soluções utilizadas. Tomando-se como base a solução eletrolítica mais concentrada (423meq/l) que correspondeu ao maior valor de condutibilidade hidráulica relativa igual a 1,0 nos três solos, as soluções de 346 meq/l, 125meq/l, 27meq/l e 7meq/l produziram reduções na condutibilidade hidráulica de 16, 19, 29 e 60% no solo AT8 de 22, 30, 36 e 61% no solo BT3 e de 19, 34, 50 e 70% no solo DS2. De acordo com os resultados apresentados na Figura 8, podemos estabelecer concentrações crítica de 117, 352 e 337meq/l de cloreto de sódio + cloreto de cálcio para os solos AT8, BT3 e DS2, respectivamente, correspondentes a um decréscimo de 20% na condutibilidade hidráulica nos três solos. Sendo que abaixo dessas concentrações, as reduções na condutibilidade hidráulica ocorreram de forma acentuada comprometendo portanto a permeabilidade dos solos. QUIRK & SCHOFIELD (1955) estabeleceram uma concentração limite de 250meq/l de cloreto de sódio, na qual o decréscimo na permeabilidade do solo foi de 15%. Concentrações abaixo desse limite, causaram reduções acentuadas na condutibilidade hidráulica do solo. A diminuição da condutibilidade hidráulica com a diluição da solução aplicada é, principalmente, devido à dispersão e expansão das argilas e translocação destas pela solução de fluxo, causando obstrução dos poros condutores (DANE & KLUTE, 1977; QUIRK & SCHOFIELD, 1955; RAHMAN et alii 1974 & GUPTA et alii 1984).

TABELA 7 - Efeitos de soluções eletrolíticas sobre a condutibilidade hidráulica dos solos AT8, BT3 e DS2.

CONCENTRAÇÃO CaCl <sub>2</sub> + NaCl (meq/l)	RAS	CE (mmhos.cm <sup>-1</sup> )	CONDUTIBILIDADE HIDRÁULICA		
			AT8	BT3 cm.h <sup>-1</sup>	DS2
423	80	39	0,40	0,16	0,11
346	34	31	0,33	0,12	0,09
125	22	13	0,32	0,11	0,07
27	8	3	0,28	0,10	0,05
7	5	1	0,16	0,06	0,03

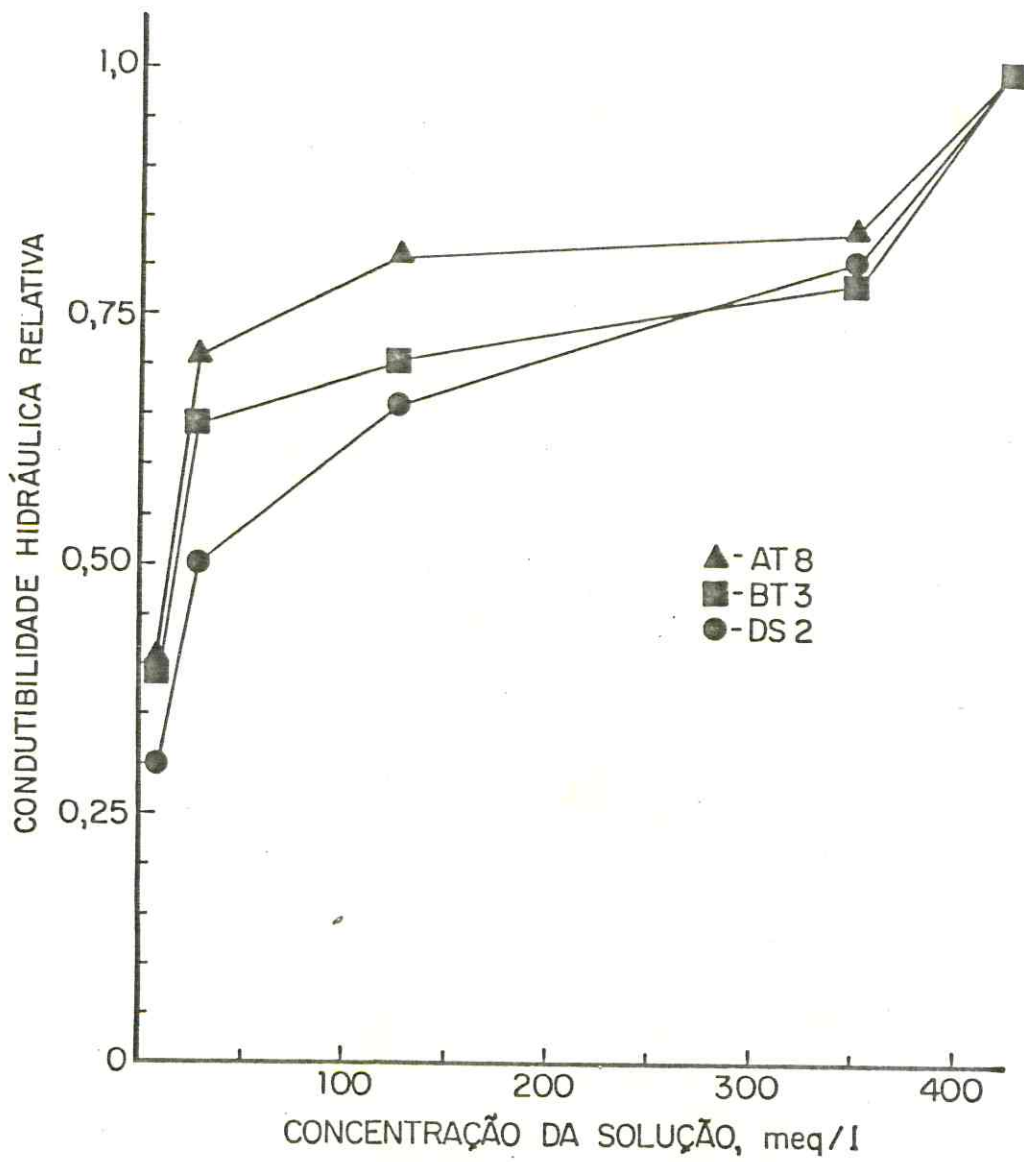


FIGURA 8 - Condutibilidade hidráulica relativa em função da concentração eletrolítica de soluções aplicadas aos solos AT8, BT3 e DS2.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram as seguintes conclusões:

1. O gesso proporcionou aumentos pronunciados na condutibilidade hidráulica dos três solos, considerando que foram observados valores nulos nas testemunhas. O uso de água de maior concentração resultará em maior eficiência do gesso no aumento da condutibilidade hidráulica.
2. A aplicação do gesso proporcionou reduções significativas do sódio trocável nos três solos. No solo de menor conteúdo de argila e de condutibilidade hidráulica mais elevada a redução do sódio trocável foi mais acentuada e menor o volume de água utilizado na lixiviação completa dos sais.
3. O corretivo apresentou alta eficiência na substituição do sódio trocável, em profundidade, nos dois solos com menores percentagens de argila.
4. A lixiviação dos sais nas colunas dos três solos foi bastante efetiva, tendo sido verificado a eliminação completa do sulfato.
5. A aplicação da solução de maior concentração eletrolítica proporcionou aumento nos valores de condutibilidade hidráulica dos três solos.

#### LITERATURA CITADA

- ABROL, I.P. & BHUMBLA, D.R. Field studies on leaching in a highly saline sodic soil. Soil Science 115:420-433, 1973.
- ALPEROVITCH, N. & SHAINBERG, I. Reclamation of alkali soils with  $\text{CaCl}_2$  solutions. In: A. Hada et alii (ed.) Physical aspects of soil water and salts in ecosystems. Vol.4, Springer-Verlag, Berlim. 1973. p.431-440.
- AZEVEDO, N.C. AZEVEDO, H.M.; GHEYI, H.R. Influência de diversos tratamentos nas propriedades físico-hídricas e químicas de um solo salino-sódico. I - Infiltração e condutividade hidráulica. XII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Itabuna. Resumos, p.47. 1982.
- BRESLER, E.; DAGAN, G.; WAGENET, R.J.; LAUFER, A. Statistical analysis of salinity and texture effects on spatial variability of soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 16-25, 1984.
- COELHO, M.A. Caracterização de solos com problemas de sais do perímetro K do Projeto de Irrigação de Morada Nova. In: Relatório de Pesquisa do Projeto Dessalinização. Fortaleza Convênio CNPq/FCPC, 1980 (Mimeografado).
- COELHO, M.A. Variabilidade de características físicas e químicas em solo salino-sódico. Ciê. Agron. 12: 37-43, 1981.
- COELHO, M.A. Aspectos da dinâmica da água em solos sódicos e salino-sódicos. Ciê. Agron. 14: 61-68, 1983.
- COELHO, M.A. Estudos sobre as propriedades físicas de solos sódicos e salino-sódicos do Estado do Ceará. Fortaleza, UFC 61 p. Tese de Professor Titular. 1985.
- COOPER, J.M. Hydraulic conductivity and structure of three Australian irrigated clays. In: Proceedings of the ISSS symposium on water and solute movement in heavy clay

- soils. Publication 37, Holanda. 1984. p.129-132.
- CORDEIRO, J.C. Características físico-hídricas de latossolos sob vegetação de cerrados do Brasil Central. Rio de Janeiro, U.F.R.R.J., Tese de Mestrado, 1977.
- DANE, J.H. & KLUTE, A. Salt effects on the hydraulic properties of a swelling soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 41:1043 - 1049. 1977.
- DUTT, G.R. Effect of small amounts of gypsum in soils on the solutes in effluents. Soil Science Soc. Amer. Proc. 28: 754-757, 1964.
- DUTT, G.R.; TERKELTOUB, R.W.; RAUSCHKOLB, R.S. Prediction of gypsum and leaching requirements for sodium - Affected soils. Soil Sci. 114:93-103, 1972.
- EL-SWAIFY, S.A. The stability of saturated soil aggregates in certain tropical soil as affected by solution composition. Soil Science 109:197-201. 1969.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo, 1979.
- FERREYRA, H.F.F. & COELHO, M.A. Efeito de doses de gesso e subsolagem na produtividade de arroz em solo sódico. R. bras. Ci. Solo. 10:157-161. 1986.
- FERREYRA, H.F.F. Solos afetados por sais e qualidade de água de irrigação. Curso de atualização em fertilidade de solos. ESAM. Mossoró-RN. 18p. 1984.
- FIREMAN, M. & BODMAN, G.B. The effect of saline irrigation water upon the permeability and base status of soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 4:71-77. 1939.
- FREITAS, J.A.D. Efeito de corretivos químicos e matéria orgânica sobre características físicas e químicas de um solo salino-sódico. Fortaleza, UFC, 72p. Tese de Mestrado, 1983.
- FREITAS, J.A.D. de; COELHO, M.A.; FERREYRA, H.F.F. Efeito de

- corretivos químicos e materiais orgânicos sobre o movimento de água e estrutura de um solo salino-sódico. R. Bras. Ci. Solo. Campinas, 8:261-264. 1984.
- FRENKEL, H.; GOERTZEN, J.O.; RHOADES, T.D. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. Soil Sci Soc. Amer. J. 42: 32-39. 1978.
- GLAS, T.K.; KLUTE, A. McWHORTER, D.B. Dissolution and transport of gypsum in soil. II. Experimental. Soil Sci Soc. Am. J. 43:266-273. 1979.
- GOMES, P.C.F. & MILLAR, A.A. Problemática da caracterização de solos aluviais para fins de drenagem subterrânea. R. Bras. Ci. Solo. 2:90-94. 1978.
- GRUPTA, R.K.; BHUMBLA, D.K.; ABROL, I.P. Effect of salinity, pH, organic matter, and calcium carbonate on the dispersion behavior of soils. Soil Science 137: 245-251. 1984.
- HIRA, G.S.; BAJWA, M.S.; SINGH, N.T. Prediction of water requirement for gypsum dissolution in sodic soils. Soil Science 131:353-358. 1981.
- HIRA, G.S. & SINGH, N.T. Irrigation water requirement for dissolution of gypsum in sodic soil. Soil. Sci. Soc. Am. 44:920-933, 1980.
- JACOMINE, P.K.T.; ALMEIDA, J.C.; MEDEIROS, L.A.R. Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Ceará. Boletim técnico nº 28. Série Pedologia nº 16 DPP/Ma, DRN/SUDENE. Recife, 1973.
- JURY, W.A.; JARRELL, W.M.; DEVITT, D. Reclamation of saline-sodic soils by leaching. Soil.Sci.Soc. Am. J. 43:1100 - 1106. 1979.
- KEREN, R.; KREIT, J.F.; SHAINBERG, I. Influence of size of gypsum particles on the hydraulic conductivity of soils. Soil Science 130:113-117. 1980.

- KEREN, R. & O'CONNOR, G.A. Gypsum dissolution and sodic soil reclamation as affected by water flow velocity. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:726-732, 1982.
- KEREN, R. & SHAINBERG, I. Irrigation with sodic and brackish water and its effect on the soil and on cotton yield (in Hebrew). Hassadeh 58:963-979, 1978.
- KINJO, T. & MARCOS, Z.Z. Adsorção de sódio em solos do Estado de São Paulo. I. Isoterma de adsorção de sódio. R. Bras. Ci. Solo 6:73-77. 1982.
- KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: Methods of soil analysis. Part 1. Ed. C.A. Black. Amer. Soc. of Agron. Madison, Wise. 1965.
- MASSOUMI, A. & CORNFIELD, A.H. A rapid method for determining sulphate in water extract of soil and plants. Analyst, Londres, 88:321-332, 1963.
- MATIAS FILHO, J. Recuperação de solos salino-sódicos. Fortaleza, UFC. 62p. Tese de Professor Titular, 1980.
- McNEAL, B.L. & COLEMAN, N.T. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30: 308-312, 1966.
- 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, 56p., 1978 (Mimeografado).
- NAVARRO, E.A. El ensalitramiento de los suelos bajo riego (Identificación, control, combate y adaptación). Chapingo, Colegio de Post-graduados, 1979. 382p.
- NUÑEZ, M.T.H. Metodo para estimar la conductividade hidraulica. K. Mexico, D.F., 1978. 107p. (Memorandum tecnico n° 373).
- PADHI, U.C.; ODELL, R.T.; FEHRANBACHER, J.B., SEIF, R.D. Effect of gypsum and atarch on water movement and sodium removal from solonetzic soils in Illinois. Soil Sci. Soc.

- Amer. Proc. 29:227-229. 1965.
- PARK, C.S. & O'CONNOR, C.A. Salinity effects on hydraulic properties of soils. Soil Sci. 130: 167-174. 1980.
- PEREIRA, J.R.; VALDIVIESO, C.R.; CORDEIRO, G.G. Recuperação de solos afetados por sódio através do uso de gesso. In: Anais do I Seminário sobre o uso do fosfogesso na agricultura, Brasília, D.F. 1986.
- PUPIISKY, H. & SHAINBERG, I. Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil. Soil Sci. Soc. Amer. J. 43: 429-433. 1979.
- QUIRK, J.P. & SCHOFIELD, R.K. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. J. Soil Sci. 6: 163-178, 1955.
- RAHMAN, M.A.; HILER, E.A.; RUNKLES, J.R. High electrolyte water for reclaiming slowly permeable soils. ASAE. 28: 129 - 133. 1974.
- RODAS, A. Determinacion de la conductividad hidraulica en muestras de suelo inalteradas. Lima, Peru. Centro de Drenaje Y Recuperacion de tierras (CENTRET). 1970. 118p.
- PRATHER, R.T.; GOERTZEN, J.O.; RHOADES, J.D.; FRENKEL H. Efficient amendment use in sodic soil reclamation. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42: 782-786. 1978.
- SHAINBERG, I.; BRESLER, E.; KLAUSNER, Y. Studies on Na/Ca montmorillonite systems. 1. The swelling pressures. Soils Science 111:214-219. 1971.
- SHAINBERG, I.; KEREN, R.; FRENKEL, H. Response of sodic soils to gypsum and calcium chloride application. Soil Sci. Soc. Am.J. 46:113-117. 1982.
- SHAINBERG, I.; RHOADES, J.D.; SUAREZ, D.L.; PRATHER, R.J. Effect of mineral weathering on clay dispersion and hydraulic conductivity of sodic soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:287 - 291. 1981.
- WAGENET, R.J. & KNIGHTON, R.E. Soil chemical and physical ef

fects on spatial variability of hydraulic conductivity. Soil Science 137: 252-262. 1984.

YADAV, J.S.P. & GIRDHAR, I.K. The effects of different magnesium: calcium ratios and sodium adsorption ratio values of leaching water on the properties of calcareous versus non-calcareous soils. Soil Science 131: 194-198. 1981.

ZARTMAN, R.E. & GICHURU, M. Saline irrigation water. Effects on soil chemical and physical properties. Soil Science 137: 417-422. 1984.