

EFEITO DA RELAÇÃO DE ADSORÇÃO DE SÓDIO E CONCENTRAÇÃO SALI  
NA DA ÁGUA SOBRE A CONDUTIBILIDADE HIDRÁULICA E COEFICIENTE  
DE SELETIVIDADE DE GAPON EM SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS.

FÁTIMA REGO DA SILVA

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 - 1988

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 a 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.

\_\_\_\_\_  
Fátima Rêgo da Silva

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 17/06/88

\_\_\_\_\_  
Prof. Fernando Felipe Ferreyra H., Doutor  
Orientador

Prof. Mardônio Aguiar Coelho, Ph.D.

Prof. Boanerges Freire de Aquino, Ph.D.

À minha MÃE, VALQUÍRIA  
pelo amor e sacrifício

D E D I C O

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade na realização do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação do Núcleo de Tecnologia Industrial (NUTEC) pelas concessões de bolsas de estudo.

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

Ao Professor FERNANDO FELIPE FERREYRA HERNANDEZ, pelo apoio, orientação da dissertação, confiança e amizade.

Aos Professores MARDÔNIO AGUIAR COELHO e BOANERGES FREIRE DE AQUINO, pelo apoio, incentivo e sugestões apresentadas.

Aos Professores ELDER GURGEL SOUZA MOREIRA, FRANCISCO DE ASSIS MAIA LIMA e FRANCISCO ARIOSTO HOLANDA pela ajuda e amizade.

Aos Amigos EISENHOWER CARVALHO BRAGA GOMES e ADRIANO DE SOUSA SANTIAGO pela ajuda prestada.

Aos Funcionários do Departamento de Ciências do Solo, especialmente TEREZINHA DE JESUS PINTO FARIAS e MARIA LUÍZA GURGEL SOUZA MOREIRA pela presteza e cooperação.

À Sra. CLARA ALMEIDA CASTELO BRANCO, pelo trabalho datilográfico.

Aos Colegas de Curso, pelo convívio e amizade.

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

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
RESUMO .....	xi
ABSTRACT .....	xiii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Efeito da relação de adsorção de sódio da água de irrigação sobre a condutibilidade hidráulica do solo .....	3
2.2. Efeito da concentração salina e da relação de adsorção de sódio sobre a relação de sódio trocável e coeficiente de seletividade de Gapon .....	5
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	9
3.1. Solos .....	9
3.2. Análises físicas e químicas .....	9
3.3. Análise mineralógica .....	9
3.4. Sódio trocável, grau de flocculação e condutibilidade hidráulica dos solos .....	12
3.5. Coeficiente de seletividade de Gapon em sistema Na-Ca .....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	17
4.1. Análise mineralógica das frações areia e argila .....	17
4.2. Efeito da relação de adsorção de sódio sobre a condutibilidade hidráulica do	

	Página
solo saturado e grau de flocculação .....	23
4.3. Efeito da relação de adsorção de sódio sobre a percentagem de sódio trocável .....	31
4.4. Efeito da salinidade e da relação de adsorção de sódio sobre a rela ção de sódio trocável e coeficien te de seletividade de Gapon .....	38
CONCLUSÕES .....	51
LITERATURA CITADA .....	52

## LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
1	Características físicas dos solos .....	10
2	Características químicas dos solos .....	11
3	Condutividade elétrica (CE), relação de adsorção de sódio (RAS) e concentração de Ca e Na das águas utilizadas .....	13
4	Constituintes da fração areia dos solos .....	18
5	Composição mineralógica da fração argila .....	19
6	Efeito da relação de adsorção de sódio (RAS) da água aplicada sobre a condutibilidade hidráulica saturada e grau de floculação dos solos .....	27
7	Sódio trocável e percentagem de sódio trocável (PST) das colunas de solos, após infiltração de água com condutividade elétrica igual a 2,0mmhos/cm e diferentes relações de adsorção de sódio (RAS) .....	34
8	Relação entre a RAS e RST para os três solos .....	35
9	Efeito da salinidade e da relação de adsorção de sódio (RAS) sobre a relação de sódio trocável (RST) e coeficiente de seletividade de $G_a$ pon ( $K_g$ ) para o solo K-2 .....	43

## TABELA

## Página

10	Efeito da salinidade e da relação de adsorção de sódio (RAS) sobre a relação de sódio trocável (RST) e coeficiente de seletividade de $G_a$ pon (K $\bar{g}$ ) para o solo K-6 .....	44
11	Efeito da salinidade e da relação de adsorção de sódio (RAS) sobre a relação de sódio trocável (RST) e coeficiente de seletividade de $G_a$ pon (K $\bar{g}$ ) para o solo K-14 .....	45
12	Equação de regressão entre a relação de adsorção de sódio (RAS) e relação de sódio trocável (RST) , para o solo K-2, nas várias concentrações eletrolíticas .....	46
13	Equação de regressão entre a relação de adsorção de sódio (RAS) e relação de sódio trocável (RST), para o solo K-6, nas várias concentrações eletrolíticas .....	47
14	Equação de regressão entre a relação de adsorção de sódio (RAS) e relação de sódio trocável (RST), para o solo K-14, nas várias concentrações eletrolíticas .....	48

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Difratogramas de raios X da fração argila do solo K-2. Amostras saturadas com $K^+$ , $Mg^{+2}$ , $Mg^{+2}$ + etileno glicol e $Na^+$ em montagens orientadas .....	20
2	Difratogramas de raios X da fração argila do solo K-6. Amostras saturadas com $K^+$ , $Mg^{+2}$ , $Mg^{+2}$ + etileno glicol e $Na^+$ , em montagens orientadas .....	21
3	Difratogramas de raios X da fração argila do solo K-14. Amostras saturadas com $K^+$ , $Mg^{+2}$ , $Mg^{+2}$ + etileno glicol e $Na^+$ em montagens orientadas .....	22
4	Difratogramas de raios X da fração argila do solo K-2 saturada com $K^+$ (amostras orientadas) a $25^{\circ}C$ e após aquecimento a $300$ e $500^{\circ}C$ .....	24
5	Difratogramas de raios X da fração argila do solo K-6 saturada com $K^+$ (amostras orientadas) a $25^{\circ}C$ e após aquecimento a $300$ e $500^{\circ}C$ .....	25
6	Difratogramas de raios X da fração argila do solo K-14 saturada com $K^+$ (amostras orientadas) a $25^{\circ}C$ e após aquecimento a $300$ e $500^{\circ}C$ .....	26
7	Variação da condutibilidade hidráulica do solo saturado em função dos valores da relação de adsorção de sódio (RAS) da água aplicada, nos solos K-2, K-6 e K-14 .....	29
8	Variação do grau de flocculação em função dos valores da relação de adsorção de sódio (RAS) da água aplicada, nos solos K-2, K-6 e K-14 .....	30

## FIGURA

## Página

9	Variaco da condutibilidade hidrulica do solo saturado em funco dos valores de percentagem de sdio trocvel nos solos K-2, K-6 e K-14 .....	32
10	Variaco da condutibilidade hidrulica do solo saturado em funco dos valores do grau de disperso, nos solos K-2, K-6 e K-14 .....	33
11	Relaco entre a percentagem de sdio trocvel (PST) e relaco de adsorco de sdio (RAS) da gua aplicada, nos solos K-2, K-6 e K-14 .....	37
12	Relaco entre a RAS e RST para o solo K-2 na faixa de concentrao entre 20 - 400 meq/l .....	39
13	Relaco entre a RAS e RST para o solo K-6 na faixa de concentrao entre 20 - 400 meq/l .....	40
14	Relaco entre a RAS e RST para o solo K-14 na faixa de concentrao entre 20 - 400meq/l .....	41
15	Relaco entre a RAS e RST nas concentrao es eletrolticas usadas (meq/l), no solo K-14 .....	49

## RESUMO

Em três solos aluviais, de diferentes texturas, foram estudados a composição mineralógica e o efeito da relação de adsorção de sódio (RAS) sobre propriedades físicas e químicas dos solos. Os minerais de argila foram identificados através de difratogramas de raios X, em amostras livres de sais, matéria orgânica e sesquióxidos. Em colunas com 1,5kg de solo, de densidade global de  $1,35\text{g/cm}^3$ , foi determinada a condutibilidade hidráulica do solo saturado ( $K_s$ ) usando-se soluções de diferentes RAS (5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 30,0 e 40,0) e condutividade elétrica igual a  $2,0\text{mmhos/cm}$ , mantendo-se lâmina constante de 5cm de água. As soluções foram preparadas com  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{NaCl}$ ; as colunas foram mantidas durante 45 dias, tempo em que a concentração do lixiviado assemelhou-se à da água aplicada. Após secagem dos solos foram determinados argiladispersa em água e cátions trocáveis, sendo seus valores relacionados com a RAS das soluções aplicadas. Também foi estudado o equilíbrio de troca catiônica entre  $\text{Na}^{+2}$  e  $\text{Ca}^{+2}$  usando-se cinco concentrações salinas (20,0; 50,0; 100,5; 187,7 e  $397,2\text{meq/l}$ ), com cinco diferentes RAS (5,0; 10,0; 20,0; 40,0 e 80,0). Todas as soluções foram preparadas com  $\text{NaCl}$  e  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ajustando-as a um pH final 7,0. Após o equilíbrio dos solos com as soluções, foram determinados a relação de sódio trocável e os coeficientes de seletividade de Gapon.

Os difratogramas de raios X mostraram que nos três solos a fração argila é uma mistura na qual predominam os minerais 2:1 expansíveis: vermiculita e montmorilonita e, os não expansíveis: micas ou illita, seguidas de caulinita e quartzo. Na fração areia, predominou o quartzo (90 a 96%), seguidas das micas biotita intemperizada e muscovita (4 a 10%) e traços de outros minerais. Aumentos da RAS e da percentagem de sódio trocável, induziram diminuições nos valores do

grau de flocculação e da  $K_s$ , os quais variaram com a textura dos solos. No solo de textura franco-arenosa, com 14% de argila (K-2), a redução da  $K_s$  foi 87% e ocorreu de forma linear, enquanto que, em outro solo da mesma classe textural, com 18% de argila (K-6), o decréscimo da  $K_s$  foi 93% e ocorreu, segundo uma curva assintótica, com 86% da redução para RAS 15. O solo de textura franco-argilosa, com 29% de argila (K-14), apresentou o mais baixo valor da  $K_s$  e a redução (57%) ocorreu de forma linear. A relação entre sódio trocável (RST) e a adsorção de sódio (RAS), mostrou um comportamento linear para cada concentração salina individual e também com todas as concentrações em conjunto. Foram verificados que os solos apresentaram uma tendência a diminuir sua afinidade pelo Ca com o aumento da salinidade. Por outro lado, a afinidade pelo Ca aumentou com aumentos dos valores da RAS. Nas condições experimentais usadas, os valores médios do coeficiente de seletividade de Gapon (Na-Ca) foram 0,0085; 0,0086 e 0,0099 para os solos K-2, K-6 e K-14, respectivamente. Os valores do coeficiente de seletividade de Gapon inferiores ao valor de  $0,015 \text{ (mmol)}^{-1/2}$ , em parte são explicados pela metodologia empregada.

## ABSTRACT

Three aluvial soils with different textures were investigated in order to study mineralogical composition and the effects of sodium adsorption ratio (SAR) on their physical and chemical properties. Clay minerals were identified using X-ray diffratograms in salt, organic matter and sesquioxids free samples. Soil columns weighing 1.5 Kg and having bulk density of  $1.35\text{g/cm}^3$  were used to determine hydraulic conductibility of saturated soil ( $K_s$ ) with solutions having different SAR (5.0; 10.0; 15.0; 20.0; 30.0 and 40.0) and  $2\text{mmhos/cm}$  electrial conductivity, keeping a 5cm constant water layer. The solutions were prepared with  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{NaCl}$ . After 45 days the concentration of the leachete was the same as that of the applied water. After soil drying the water dispersal clay and the exchangeable cations were determined and the results were related to SAR of the applied solutions. Exchangeable cation equilibrium between  $\text{Na}^+$  and  $\text{Ca}^{2+}$  was also studied using five salt concentrations (20.0; 50.0; 100.5; 187.7 and 397.2 meq/l) with five different SAR (5.0; 10.0; 20.0; 40.0 and 80.0). All solutions were prepared with  $\text{NaCl}$  and  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  and the pH adjusted to 7.0. After the soil had reached the equilibrium with the solution SAR and Gapon's selectivity coefficients were determined.

The X-ray difratograms showed that the three soils presented a clay fraction mixture with 2:1 expandible minerals predominance (vermiculite and montmorilonite) and 2:1 non-expandible minerals (mica, ilite, caolinite and quartz). In the sand fraction it was observed a predominance of quartz (90 to 96%) followed by weathered biotite and muscovite mica (4 to 10%) and traces of other minerals. Increases of SAR and exchangeable sodium percentage depressed the  $K_s$  and clay flocculation grade values varying with

soil texture. In the sandy-loam soil (14% clay content, K-2)  $K_s$  reduction was 87%, describing a linear curve. In another soil of the same textural class, having 18% clay content (K-6), there was a decrease of 93% taking an assintotic curve. The clay-loam texture, with 29% clay content (K-14), showed the lowest  $K_s$  value and the reduction (57%) had a linear shape. The relationship between exchangeable sodium and exchangeable sodium ratio had a linear shape for each individual saline concentration and also for all concentrations together. It was detected that the soils had a tendency to depress its afinity to  $Ca^{2+}$  with increasing salinity. The  $Ca^{2+}$  afinity increased with increasing SAR values. The mean values for Gapon's coefficient were 0.0085, 0.0086 and 0.0099  $(mmol/l)^{-1/2}$  for soils K-2, K-6 and K-14, respectively. The Gapon's selectivity coefficient values found in the present study were lower than the usual value of 0.015  $(mmol/l)^{-1/2}$ . This is partially explained due to the methodology used.

## 1. INTRODUÇÃO

Solos com problemas de sais ocorrem em todas as regiões do mundo, sendo mais frequentes nas regiões áridas e semi-áridas, onde as condições climáticas favorecem a sua formação. Baixas precipitações, condições inadequadas de drenagem, baixa permeabilidade do solo, irrigação com água salina e manejo inadequado da água de irrigação, são fatores que contribuem para o acúmulo de sais no solo, os quais podem afetar o desenvolvimento e o nível de produção das culturas chegando-se, em casos extremos, à inutilização do solo para fins agrícolas.

No Brasil, os solos afetados por sais se concentram na região Nordeste onde os fatores clima e relevo contribuem decisivamente para sua formação. De acordo com os levantamentos exploratório-reconhecimento dos Estados do Nordeste, estima-se que uma área de 91.110Km<sup>2</sup>, representando 9,4% da área total, está constituída por solos planossolo solódico, solonetz solodizado e solonchak solonético (PEREIRA, 1983). Nos perímetros irrigados, aproximadamente 25% dos solos encontram-se afetados por sais (GOES, 1978) havendo predominância dos sódicos, seguidos dos salino-sódicos e, em pequena quantidade, os solos salinos (COELHO, 1981).

O problema de solos afetados por sais é de importância nas regiões áridas e semi-áridas, uma vez que, para o atendimento da demanda crescente de alimentos da população, há necessidade de expansão da área irrigada. Toda a água de irrigação contém sais dissolvidos que podem concentrar-se nos solos quando não lixiviados pelas precipitações ou a água de irrigação em excesso, ocasionando o surgimento de novas áreas com problemas de salinidade ou agravá-las, quando existentes. A concentração absoluta dos cátions na água de irrigação não é suficiente para estimar o potencial de risco. Uma importante consideração é a percentagem de sódio trocável do

solo, resultante do aumento da relação de adsorção de sódio da água de irrigação. Este aumento depende da proporção do sódio com os cátions divalentes na solução do solo. Dentre as equações que têm sido propostas para descrever o equilíbrio, entre os cátions solúveis e trocáveis, uma das mais utilizadas é a Gapon, na qual a razão de sódio e cálcio adsorvido na forma trocável está relacionada com a razão de sódio e cálcio da solução de equilíbrio. Essa equação considera um coeficiente de seletividade médio, Na-Ca (coeficiente de Gapon), para todos os solos. No entanto, diversas pesquisas indicam que o coeficiente de seletividade pode variar com a textura, composição mineralógica, pH, teor de matéria orgânica e capacidade de troca de cátions dos solos. Com essa equação é possível avaliar a relação de sódio trocável e, até mesmo, a percentagem de sódio trocável em função da relação de adsorção de sódio da solução de equilíbrio.

O presente trabalho teve como objetivo estudar a influência da relação de adsorção de sódio na água de irrigação sobre a condutibilidade hidráulica de três solos aluviais de diferentes texturas, assim como estudar o efeito da salinidade e relação de adsorção de sódio sobre a relação de sódio trocável e coeficiente de seletividade de Gapon dos referidos solos.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Efeito da relação de adsorção de sódio da água de irrigação sobre a condutibilidade hidráulica do solo.

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 salina 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 (COELHO, 1983). Os estudos dos processos de salinização e sodificação e sua influência sobre a permeabilidade do solo vêm merecendo especial atenção, especialmente em áreas irrigadas, devido a sua grande importância no manejo e recuperação desses solos. Todas as águas de irrigação contêm sais dissolvidos em várias proporções. O uso dessas águas pode modificar as condições de equilíbrio químico entre o solo e a solução e determinar mudanças nas propriedades do solo.

QUIRK & SCHOFIELD (1955) mostraram que a condutibilidade hidráulica do solo decresce com o aumento da percentagem de sódio trocável e também com a diminuição na concentração de eletrólitos e estabeleceram valores críticos de concentrações para manter uma permeabilidade satisfatória. Esses valores críticos podem variar de solo para solo, mesmo para solos similares em conteúdo e tipo de argila (Mc NEAL & COLEMAN, 1966; THOMAS & YARON, 1968; RHOADES & INGVALSON, 1969; NAGHSHINEH - POUR et alii 1970). FELHENDLER et alii, citado por SHAINBERG & LETEY (1984) mediram a condutibilidade hidráulica ( $K_s$ ) de solos montmoriloníticos de texturas franco-arenosa e franco-siltosa em função da relação de adsorção de sódio (RAS) e da concentração salina da solução percolada e constataram que a  $K_s$  dos solos foi ligeiramente afetada quan

do a solução percolada apresentou RAS acima de 20 e concentração salina acima de 10 meq/l. Quando a solução percolada foi substituída por água destilada, a resposta dos solos diferiu drasticamente. Também observaram que com água destilada a argila do solo de textura franco-arenosa se mobilizou a parecendo no lixiviado enquanto que, no solo de textura franco-siltosa não se dispersou. SHAINBERG et alii (1981a) verificaram que solos sódicos de baixa salinidade não se dispersaram e nem tiveram redução na Ks quando foram lixiviados com água destilada. A não dispersão das argilas e a consequente manutenção da Ks, foram atribuídas à presença de minerais intemperizáveis (carbonato de cálcio e minerais primários, tais como plagioclásio, feldspato e hornblenda), que liberam sais solúveis. ARORA & COLEMAN (1979) também explicam as reduções na Ks em solos sódicos, contendo pouco ou nenhum mineral de argila expansiva, baseados na influência da composição mineralógica, da saturação de íons e da concentração eletrolítica sobre a floculação e a dispersão dos minerais de argila. PUPISKY & SHAINBERG (1979) trabalhando com solo de textura franco-arenosa, verificaram que a dispersão das argilas provocadas pela alta percentagem de sódio trocável e concentração salina acima de 0,01N, foi o principal mecanismo responsável pelo decréscimo da Ks. Sob condições de baixa percentagem de sódio trocável e soluções do solo muito diluídas, a dispersão e migração das partículas das argilas para os poros condutores, também foi o mecanismo responsável pela obstrução dos poros do solo. Esses pesquisadores ainda indicam que a dispersão das partículas de argilas só é possível quando a concentração da solução do solo diminui abaixo de um valor crítico, no qual as argilas floculam. A dispersão das argilas e a Ks do solo, também são afetadas pelos cátions trocáveis. Segundo ALPEROVITCH et alii (1981; 1986) trabalhando em sistema Na-Ca e Na-Mg indicam que, em solos bem intemperizados, os eletrólitos da solução do solo, em sua maioria, derivam da hidrólise dos minerais de argila. O magnésio trocável diminui a hidrólise das argilas, provocando uma redução na concentração de eletrólitos em relação ao cálcio trocável. Nessas condições, pode favorecer-se a disper

são das argilas e diminuir a condutibilidade hidráulica de solos sódicos quando o contra-íon é o magnésio ao invés do cálcio.

2.2. Efeito da concentração salina e da relação de adsorção de sódio sobre a relação de sódio trocável e coeficiente de seletividade de Gapon.

O conhecimento das relações entre a composição dos cátions trocáveis e a solução do solo é de grande importância no estudo de solos afetados por sais. Para o estudo dessas relações, diversas equações têm sido desenvolvidas, baseadas na lei da ação das massas e na teoria da dupla camada iônica difusa (BOLT, 1955; BOWER, 1959; BOLT & PAGE, 1965). Uma das equações comumente usada é a de Gapon (PAL & POONIA, 1978). Assumindo as atividades do Ca e Mg iguais na reação de troca, a equação define o conceito relação de adsorção de sódio (RAS) pela seguinte expressão:

$$RAS = [Na^+] / ([Ca^{+2}] + [Mg^{+2}])^{1/2} \quad (1)$$

onde  $[Na^+]$ ,  $[Ca^{+2}]$  e  $[Mg^{+2}]$  representam as concentrações dos íons livres na fase solução, expressa em mmoles/l. Para aplicação no campo, essa expressão foi modificada pela equipe do Laboratório de Salinidade dos USA, (RICHARDS, 1954) resultando noutra similar:

$$RAS = Na_T / (Ca_T + Mg_T)^{1/2} \quad (2)$$

onde os sub-índice T representam a concentração total dos respectivos elementos na solução, expressa em mmoles/l. A equação (2) não leva em consideração a formação de pares de íons, de complexos e nem dos coeficientes de atividades. A RAS é usada como índice de periculosidade do sódio em solos e águas de irrigação, devido relacionar-se com o sódio trocável do solo através da equação:

$$RST = K_g \cdot RAS \quad (3)$$

onde a RST é a relação de sódio trocável e  $K_g$  representa o coeficiente de seletividade de Gapon modificado para uso prático. SPOSITO & MATTIGOD (1977) analisaram detalhadamente a validade da RAS original e da RAS modificada. Eles concluíram que o valor da RAS modificada não possui uma relação química exata com a teoria catiônica e sua correlação com a RAS original é apenas estatística. Os valores da RAS modificada para uso prático geralmente são inferiores aos valores da RAS original, devido a maior influência do cálcio e magnésio, em relação ao sódio, na formação de pares de íons, de complexos e nas correções pelo coeficiente de atividade. SPOSITO (1977) revisando a equação de Gapon com bases termodinâmicas, indica que o coeficiente de seletividade de Gapon para uso prático é incorreto, por não ter uma interpretação molecular e deriva a expressão correta para o caso de Na-Ca, na qual o  $K_g$  é dependente da fração de sódio trocável. OSTER & SPOSITO (1980) comparando essas duas expressões, não encontraram diferenças entre elas para valores da percentagem de sódio trocável (PST) ou RAS do solo entre 0-40. Essa faixa de valores é de grande significação prática e justificam o uso das RAS empírica.

Na equação de regressão linear, obtida ao relacionar-se a RAS e RST o coeficiente angular representa o  $K_g$  para uso prático. O valor médio de 0,015 do  $K_g$  determinado em 59 solos dos Estados Unidos é amplamente usado na caracterização de solos afetados por sais. Segundo SPOSITO (1977) e SPOSITO & MATTIGOD (1977) não existe base teórica para seu uso generalizado. Relações empíricas entre a RAS e RST em outros solos têm mostrado valores de  $K_g$  similares e com ligeiras diferenças aos encontrados nos solos dos Estados Unidos (ELSEEWI et alii, 1977; PEREIRA et alii, 1983; COELHO & FERREYRA, 1986).

O coeficiente de seletividade de Gapon para uso prático pode variar com a composição mineralógica, composição da fase trocável e solução do solo (THOMAS & YARON, 1968; SHAINBERG et alii, 1980; EVANGELOU & COALE, 1987). HUNSAKER & PRATT (1971) verificaram uma preferência do complexo de troca pelo Ca sobre o Mg em solos com quantidades relativa

mente altas de hidróxidos de alumínio, matéria orgânica e minerais amorfos. PALIWAL & GANDHI (1976) trabalhando com solos da Índia de diferentes texturas, também encontraram maior adsorção de sódio, em sistemas com Na - Mg do que em sistemas com Na - Ca, atribuindo uma maior afinidade do complexo de troca pelo Ca em relação ao Mg. Baseados nesses resultados, eles concluíram que, para o julgamento da água de irrigação, além da RAS, deve ser considerado a relação Ca/Mg. Trabalhando com diferentes concentrações salinas e relações Na/Ca no complexo de troca, SHAINBERG et alii (1980) encontraram para a ilita um  $K_g$  médio de 0,023, o qual foi praticamente independente da concentração salina e da fração de sódio trocável ( $E_{Na}$ ). Na montmorilonita o  $K_g$  médio foi inferior ao da ilita, apresentando, para valores de  $E_{Na}$  menores que 0,2 o valor de 0,011, e uma ligeira tendência a aumentar com a concentração salina. JURINAK et alii (1984) verificaram uma diminuição do  $K_g$  com o aumento da salinidade em solos com minerais de argila formados pela mistura de ilita, caulinita e clorita, atribuindo-a preferência do complexo sortivo pelo Ca. Esse efeito não foi constatado em solos com minerais de argila formado pela mistura de caulinita, clorita, ilita e montmorilonita. FLÉTCHER et alii (1984), trabalhando com suspensões de argila de um solo montmorilonítico, verificaram uma preferência pelo Ca e Mg sobre o Na, e do Ca sobre o Mg, atribuindo essa preferência à matéria orgânica associada às partículas do solo. Explicam esse fato pelo maior poder de substituição de prótons nos grupos funcionais superficiais da matéria orgânica, que apresentam os cátions divalentes em relação aos monovalentes. Esses pesquisadores também apresentaram evidências da formação de complexos Ca - matéria orgânica mais estáveis do que Mg - matéria orgânica. O efeito do pH em soluções de equilíbrio com o solo sobre a  $E_{Na}$  tem sido estudado por diversos pesquisadores. Aumentos de pH reduzem a relação Na/Ca no complexo de troca devido ao aumento da densidade de carga (ou capacidade de troca de cátions) dos minerais de argila e da matéria orgânica, o qual é dependente do pH (KINJO & MARCOS, 1982); FLETCHER et alii,

1984; GUPTA et alii, 1984).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Solos

Para o estudo foram selecionados três solos aluviais, de diferentes texturas, do Perímetro K do Projeto de Irrigação de Morada Nova, Estado do Ceará. As amostras foram coletadas na camada de 0 a 20cm de profundidade, secas ao ar, des<sub>u</sub>torradas, passadas em peneira de 2mm e procedidas análises físicas, químicas e mineralógicas.

#### 3.2. Análises físicas e químicas

As análises físicas e químicas dos solos, foram procedidas de acordo com a metodologia adotada pela EMBRAPA(1979). Resultados das análises físicas e químicas dos três solos estudados (K-2, K-6 e K-14) são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

#### 3.3. Análise mineralógica

Aproximadamente 20g de TFSA foram colocados em becker de 600ml, adicionando-se 100ml de NaOAc 1N, aquecidos em ba<sub>u</sub>nho-maria a 70°C por 30 minutos e eliminado o sobrenadante. A operação foi repetida por três vezes para eliminação dos sais solúveis. Em seguida, removeu-se a matéria orgânica com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30 vol.), seguindo metodologia descrita por MOREIRA (1979) e CARVALHO FILHO (1981). Procedeu-se a remoção dos óxidos de ferro de acordo com a metodologia adotada por KUNZE (1965). Em seguida, efetuou-se a separação das argilas em suspensão após sedimentação da fração silte e areia. A areia foi separada por tamização em peneira com malha de 0,053mm (ABNT-Nº 270) ,

TABELA 1 - Características físicas dos solos

S O L O	Composição Granulométrica			Grau de Floculação	Umidade		Classificação Textural
	Areia (2,00-0,05mm)	Silte (0,05-0,002mm)	Argila ( $\leq$ 0,002mm)		1/3 atm	15 atm	
%							
K-2	68	18	14	69	12,9	4,2	Franco-Arenoso
K-6	57	25	18	59	16,2	6,1	Franco-Arenoso
K-14	41	30	29	57	23,1	9,8	Franco-Argiloso

TABELA 2 - Características químicas dos solos

S O L O	EXTRATO DE SATURAÇÃO					
	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	RAS	CE
	meq/l				(mmol/l) <sup>1/2</sup>	(mmhos/cm a 25°C)
K-2	1,4	2,0	4,0	0,2	3,1	0,7
K-6	1,6	2,0	3,3	0,3	2,5	0,7
K-14	4,2	3,2	5,1	0,4	2,7	1,3

S O L O	pH (Água)	COMPLEXO SORTIVO							
		Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S	T	V	PST
		meq/100g					%		
K-2	7,3	7,3	0,5	0,29	0,22	8,3	8,3	100	3,5
K-6	7,1	9,5	0,2	0,29	0,37	10,4	10,4	100	2,8
K-14	7,0	15,3	0,6	0,57	0,47	16,9	16,9	100	3,4

coletando-se a argila e silte em suspensão. Após sedimentação do silte a suspensão da argila foi separada e subdividida em três frações para saturação com  $K^+$ ,  $Na^+$  e  $Mg^{+2}$ . A saturação das argilas foi realizada equilibrando-se por três vezes com soluções de  $KCl$ ,  $NaCl$  e  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  1N, separando-se os sobrenadantes por centrifugação. O excesso de cloretos foi eliminado por lavagens sucessivas com metanol a 50%, metanol a 95% e acetona a 95%, comprovando-se sua ausência com  $AgNO_3$  0,05N. As argilas saturadas foram secas em estufa a  $40^\circ C$  e, em seguida, destorroadas em almofariz, colocadas em recipientes próprios e remetidas para o Laboratório de Mineralogia do Serviço Nacional de Levantamentos e Conservação de Solos no Rio de Janeiro, onde foram obtidos os difratogramas das amostras saturadas com  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  + etileno glicol a  $25^\circ C$ . Nas argilas saturadas com  $K^+$ , também foram obtidos difratogramas a temperatura de 300 e  $500^\circ C$ . Os difratogramas foram obtidos com aparelho de raios X Rigaku Geiger flex Dmax IIA nas seguintes condições: radiação Cu K; potência (voltímetro) 35Kv; corrente (amperímetro) 15ma; ângulo de varredura  $2\theta$  ( $2^\circ$  a  $30^\circ$  e  $2^\circ$  a  $15^\circ$ ); velocidade de varredura (goniômetro)  $2^\circ$  por minuto; velocidade do papel 10mm/min.; tempo constante 1seg.; relação de contagem (cps) 1000; fendas  $1^\circ$  DS;  $0,15^\circ$  RS;  $1^\circ$  SS; filtro Ni.

#### 3.4. Sódio trocável, grau de flocculação e condutibilidade hidráulica dos solos.

Com os três solos foi instalado um experimento em colunas de 20cm de altura, com 1,5Kg de solo em tubos de PVC ( $\varnothing = 7,5cm$ ) e densidade global igual a  $1,35 g/cm^3$ . Nas colunas foram aplicadas soluções de diferentes relações de adsorção de sódio (RAS = 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 30,0 e 40,0) mantendo-se em todos casos concentração iônica constante de 20,0 meq/l (CE = 2,0 mmhos/cm). As soluções (veja os tratamentos indicados na Tabela 3) foram preparadas a partir de padrões concentrados de  $NaCl$  e  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$  1N, ajustando - as

TABELA 3 - Condutividade elétrica (CE), relação de adsorção de sódio (RAS) e concentração de Ca e Na das águas utilizadas.

Nº	CE	RAS	Ca	Na
	(mmhos/cm a 25°C)	(mmol/l <sup>1/2</sup> )	meq/l	
1	2,0	5,0	9,25	10,75
2	2,0	10,0	4,26	15,31
3	2,0	15,0	2,67	17,33
4	2,0	20,0	1,68	18,32
5	2,0	30,0	0,82	19,18
6	2,0	40,0	0,48	19,52

a um pH final 7,0. Em todas as colunas foi mantida uma lâmina de 5cm de água, medindo-se diariamente o volume do lixiviado. No lixiviado foram determinados os íons  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e condutividade elétrica. O sódio e o potássio foram determinados por fotometria de chama os cloretos por titulação com  $\text{AgNO}_3$  0,05N; e a condutividade elétrica foi medida em condutivímetro Metrom Herisau E-527. O experimento teve a duração de 45 dias, observando-se no período final de 10 dias, que o volume do lixiviado e sua condutividade elétrica permaneceram constantes. A  $K_s$  foi calculada pela equação de Darcy utilizando-se o procedimento do permeâmetro de carga constante. No final do experimento as amostras de cada coluna foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2mm. Nos solos foram efetuadas as determinações do grau de floculação e do sódio trocável. No extrato de saturação foram determinados o sódio e cálcio + magnésio solúveis. Em ambos os casos o sódio foi determinado por fotometria de chama, fazendo-se a correção por sais solúveis, para determinar-se o valor real do sódio trocável do solo. Para o cálculo da percentagem de sódio trocável dos solos, após os tratamentos, foi considerado constante o valor da capacidade de troca de cátions, determinada com  $\text{NH}_4\text{OAC}$  1N pH 7,0 (EMBRAPA, 1979).

### 3.5. Coeficiente de seletividade de Gapon em sistema Na-Ca

Para o estudo do equilíbrio de troca catiônica entre Na e Ca, os solos foram equilibrados com vinte e cinco soluções (Tratamentos), resultantes da combinação de cinco concentrações salinas (2,0; 5,0; 10,0; 20,0 e 40,0 mmhos/cm) e cinco valores de relações de adsorção de sódio ( $\text{RAS} = 5,0$ ; 10,0; 20,0; 40,0 e 80,0). Cada tratamento foi repetido por três vezes. As soluções para cada tratamento foram preparadas a partir de  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{NaCl}$ , ajustando-se o pH final a 7,0. Aproximadamente 4g de solo foram colocados em tubos de centrifugação, pesados e adicionados 30ml de solução segundo os tratamentos. Os tubos foram agitados por 15 minutos, cen

trifugados e eliminados os sobrenadantes. A operação foi repetida três vezes, coletando-se o último sobrenadante para análise. No sobrenadante, solução de equilíbrio final, foram analisados os íons  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  e calculada a RAS. O cálcio e o magnésio foram determinados por complexometria com EDTA 0,01N, o sódio por fotometria de chama e os cloretos por titulação com  $\text{AgNO}_3$  0,05N. Após decantação do sobrenadante, os tubos com as amostras foram pesados para determinação da umidade do solo. Em seguida, as amostras foram novamente agitadas durante 15 minutos, com alíquotas de 30ml do extrator  $\text{NH}_4\text{OAC}$  1N pH 7,0. Essa operação foi repetida por três vezes e após cada agitação, as amostras foram centrifugadas coletando-se os sobrenadantes para análise de Na e Cl, os quais foram determinados pelos métodos acima citados. A relação de sódio trocável (RST) nos solos, no sistema Na-Ca, foi calculada pela seguinte expressão:

$$\text{RST} = \text{NaX} / \text{Ca}_{1/2}^{\text{X}} \quad (4)$$

onde NaX refere-se ao sódio trocável e o termo  $\text{Ca}_{1/2}^{\text{X}}$  ao cálcio trocável. O NaX foi calculado através da expressão:

$$\text{NaX} = T_{\text{Na}} - \theta C_{\text{O}Na} \quad (5)$$

onde  $T_{\text{Na}}$  é o Na total do solo extraído com  $\text{NH}_4\text{OAC}$  1N pH 7,0 e  $\theta C_{\text{O}Na}$  é o Na solúvel, expressos em meq/100g, e  $\theta$  é o conteúdo de umidade da amostra em  $\text{cm}^3/100\text{g}$ . O  $\text{Ca}_{1/2}^{\text{X}}$  foi calculado pela expressão:

$$\text{Ca}_{1/2}^{\text{X}} = \text{CTC} - \text{NaX} - \bar{Y}_{\text{an}} \quad (6)$$

onde CTC é a capacidade de troca de cátions (meq/100g) determinada pelo método de POLEMIO & RHOADES (1977) e  $\bar{Y}_{\text{an}}$  é um termo de correção para exclusão de ânions. O termo  $\bar{Y}_{\text{an}}$  é significativo para altas concentrações eletrolíticas e é definido como um número positivo que pode ser calculado conhecendo-se a concentração do íon  $\text{Cl}^-$  na solução de equilíbrio ( $C_{\text{OCl}}$ ) em  $\text{meq}/\text{cm}^3$ , através da seguinte expressão:

$$y_{\text{Cl}} = \theta C_{\text{OCl}} - T_{\text{Cl}} \quad (7)$$

onde  $T_{Cl}$  é o  $Cl^-$  total do solo extraído com  $NH_4OAC$  1N pH 7,0 e  $\theta_{CoCl}$  é o cloreto da solução de equilíbrio, ambos expressos em meq/100g. Com os valores de RAS da solução de equilíbrio final e os valores de RST dos solos, foi calculado o coeficiente de seletividade de Gapon no sistema Na-Ca, segundo metodologia de JURINAK et alii (1984).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Análise mineralógica das frações areia e argila

Os resultados das análises mineralógicas da fração areia dos solos K-2, K-6 e K-14 constam na Tabela 4. Na fração areia dos três solos, foram identificados os mesmos componentes minerais, observando-se pequenas diferenças nas proporções encontradas. O quartzo apresentou-se como mineral predominante, com teores que variaram de 90 a 96%, seguido das micas, biotita intemperizada e muscovita, com teores que variaram de 4 a 10% e traços de outros minerais.

É apresentada na Tabela 5 a identificação qualitativa dos minerais da fração argila dos três solos estudados observando-se composição mineralógica similares nos solos K-2, K-6 e K-14. Nas Figuras 1, 2 e 3 são apresentados os difratogramas de raios X da fração argila saturada com  $K^+$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  + etileno glicol e  $Na^+$ , em lâminas orientadas, para os solos K-2, K-6 e K-14, respectivamente. Verifica-se que a fração argila dos solos estudados é dominada por minerais 2:1 expansíveis (vermiculita e montmorilonita) e não expansíveis (mica ou ilita), seguidas de caulinita e quartzo.

Nos difratogramas das amostras saturadas com  $K^+$ , através dos espaçamentos basais, foi evidenciada a presença de caulinita (7,0 e 3,5Å), mica ou ilita (10,0Å) e quartzo (3,3Å). Nesses difratogramas, espaçamentos superiores a 12,0Å, característicos de argilas 2:1 expansíveis, não foram identificados. Quando as amostras foram saturadas com  $Mg^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  + etileno glicol, os difratogramas evidenciaram a presença de minerais de argila com espaçamentos basais superiores a 13,5Å, pelo aparecimento de picos difusos e pouco diferenciados entre si, sugerindo a presença de minerais 2:1 associados.

TABELA 4 - Constituintes da fração areia dos solos

SOLO	Constituintes minerais
K-2	96% de quartzo, grãos geralmente angulosos e subangulosos, incolores e brancos, brilhantes e fosc <u>os</u> ; 4% de mica biotita intemperizada e mica muscov <u>ita</u> ; traços de zircão, sillimanita, anfibó <u>lio</u> , e <u>pidoto</u> , turmalina, feldspato (microclima e plagioclásio) e detritos.
K-6	90% de quartzo, grãos angulosos, superfícies irregulares, incolores e brancos; brilhantes e fosc <u>os</u> ; 10% de mica biotita intemperizada e mica muscov <u>ita</u> ; traços de granada, anfibó <u>lio</u> , turmalina, molibden <u>ita</u> , feldspato (microclina e plagioclásio), epidoto, zircão, sillimanita e detritos.
K-14	90% de quartzo, grãos angulosos, subangulosos, su <u>perfícies</u> irregulares, incolores e brancos, bri <u>lhantes</u> e fosc <u>os</u> ; 10% de mica biotita intemperizada e mica muscov <u>ita</u> ; traços de turmalina, anfibó <u>lio</u> , epidoto, sillimanita, feldspato (microclina e plagioclásio), granada, molibdenita e detritos.

TABELA 5 - Composição mineralógica da fração argila

---

SOLO	Mineral de argila
K-2	Caulinita, mica ou ilita, montmorilonita e vermicu <u>l</u> ita.
K-6	Caulinita, mica ou ilita, montmorilonita e vermicu <u>l</u> ita.
K-14	Caulinita, mica ou ilita, montmorilonita e vermicu <u>l</u> ita.

---

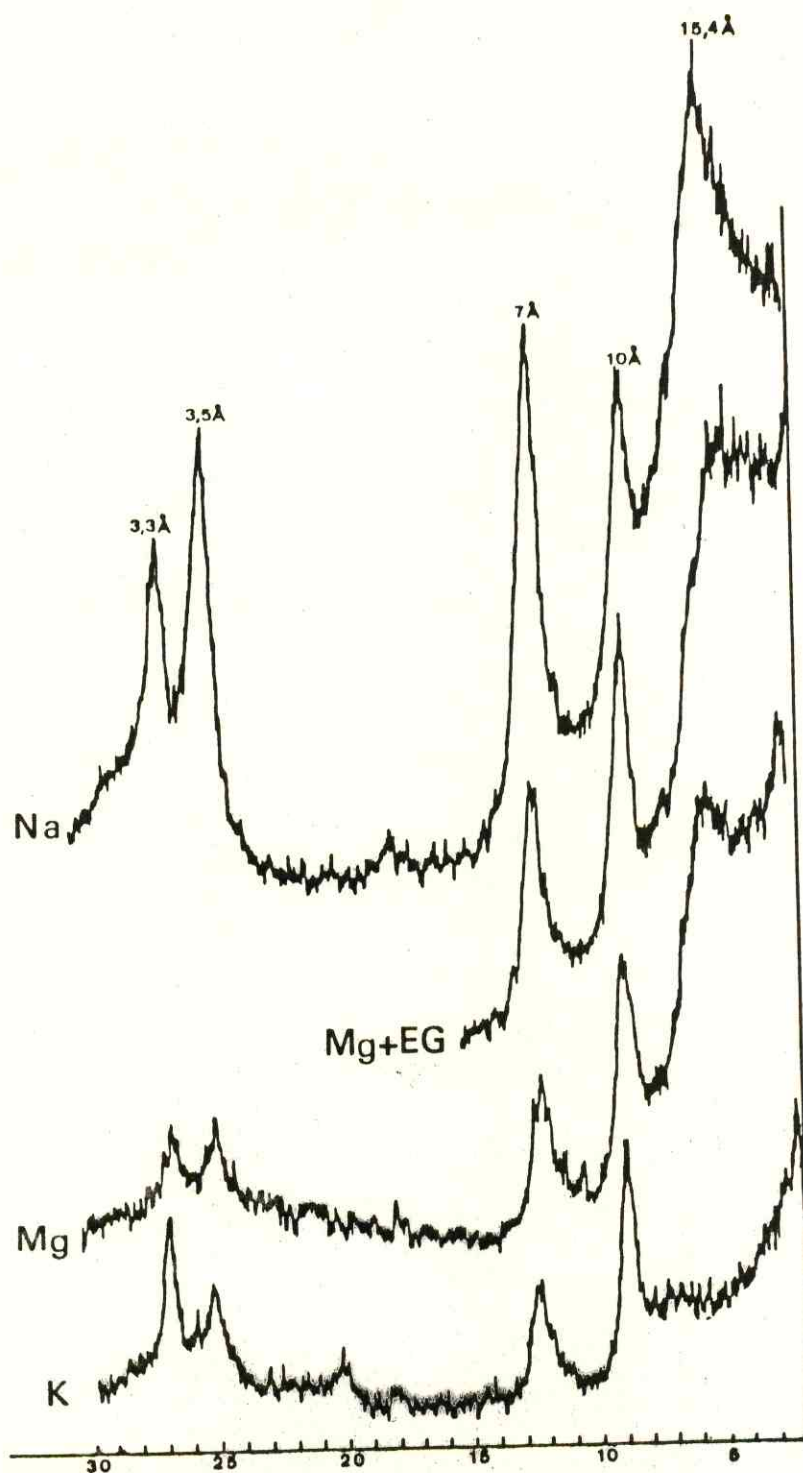


FIGURA 1 - Difratoogramas de raios X da fração argila do solo K-2. Amostras saturadas com  $K^+$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  + etileno glicol e  $Na^+$  em montagens orientadas.

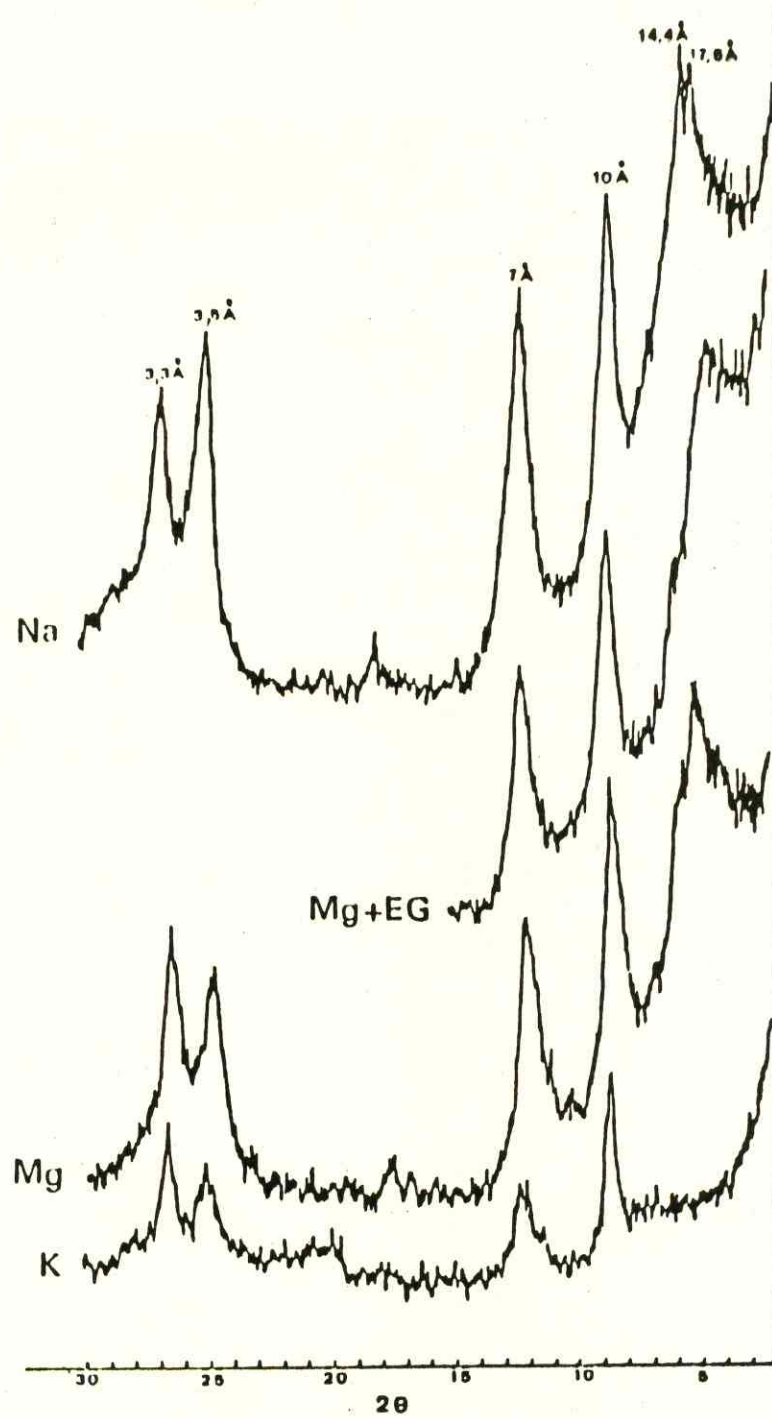


FIGURA 2 - Difratoogramas de raios X da fração argila do solo K-6. Amostras saturadas com  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  + etileno glicol e  $\text{Na}^+$ , em montagens orientadas.

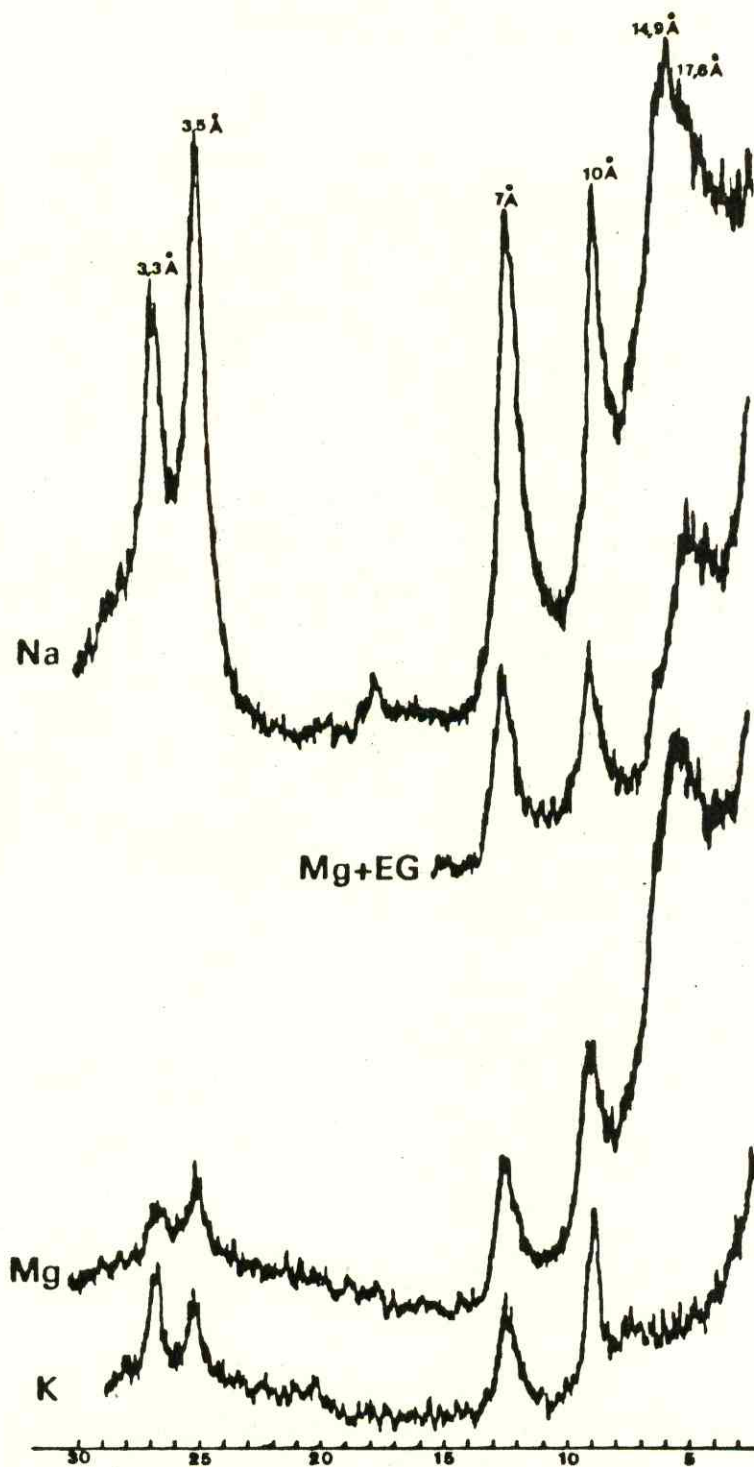


FIGURA 3 - Difractogramas de raios X da fração argila do solo K-14. Amostras saturadas com  $K^+$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  + etileno glicol e  $Na^+$  em montagens orientadas.

A presença de caulinita nos solos estudados foi confirmada pelo desaparecimento do espaçamento de  $7,0\text{\AA}$  nos difratogramas das argilas saturadas com  $K^+$  e aquecidas a  $500^\circ\text{C}$  (Figuras 4, 5 e 6). A esta temperatura, a estrutura das caulinitas são destruídas desaparecendo os picos de difração (BESOAIN, 1985). A largura e assimetria do pico de  $7,0\text{\AA}$  indicam que a caulinita se encontra mal cristalizada e está acompanhada por haloisita e meta-haloisita (POTTER & KAMPF, 1981). Com o aquecimento também foi observada uma maior intensidade no pico de  $10,0\text{\AA}$  o qual é decorrente da contração dos espaçamentos basais da vermiculita e conseqüente transformação para mica ou ilita.

Nas reflexões dos minerais de argila 2:1 expansíveis apresentados nos difratogramas das amostras saturadas com  $Mg^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  + etileno glicol (Figuras 1, 2 e 3) foram identificadas a vermiculita e a montmorilonita. A vermiculita se caracteriza por não expandir-se além de  $14,6\text{\AA}$  quando saturada com  $Mg^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  + etileno glicol. A série de picos, observados próximos a da montmorilonita ( $17,6\text{\AA}$ ), são indicativos de que esta não se encontra diferenciada. Segundo BARSHAD & KISHK, citados por BESOAIN (1985), entre a montmorilonita e vermiculita se desenvolve uma série mineralógica contínua. Nas mesmas Figuras (1, 2 e 3), nos difratogramas das amostras saturadas com  $Na^+$ , também foram identificados pelos espaçamentos basais os minerais de argila: caulinita, mica ou ilita, vermiculita e montmorilonita.

As semelhanças da composição mineralógica das frações areia e argila são explicáveis pelo fato dos três solos estarem localizados próximos e terem como material originário os mesmos sedimentos aluviais do rio Banabuiú.

#### 4.2 Efeito da relação de adsorção de sódio sobre a condutibilidade hidráulica do solo saturado e o grau de floculação

Na Tabela 6 são apresentados os valores da condutibi

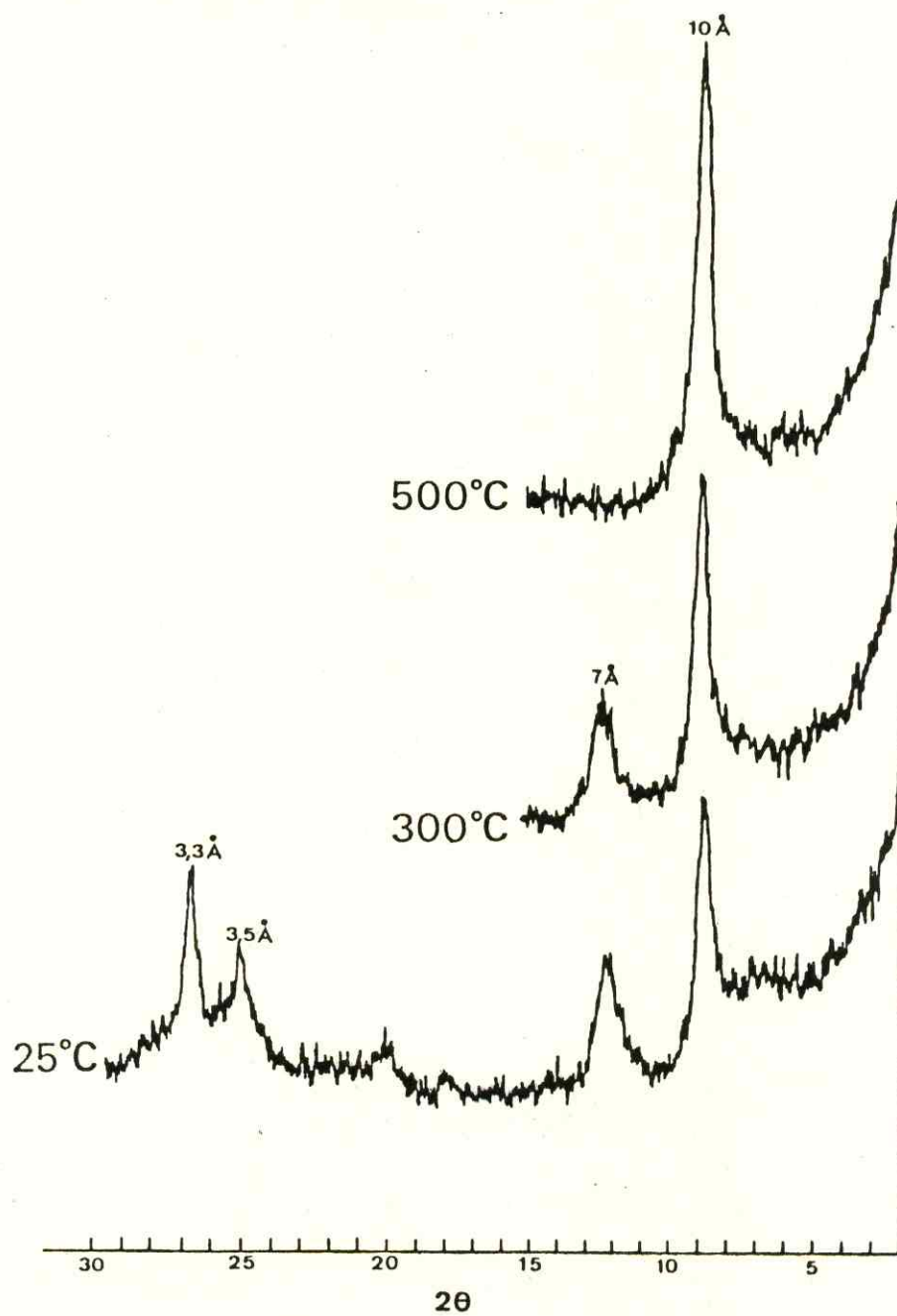


FIGURA 4 - Difratoogramas de raios X da fração argila do solo K-2 saturada com  $K^+$  (amostras orientadas) a  $25^\circ C$  e após aquecimento a  $300$  e  $500^\circ C$ .

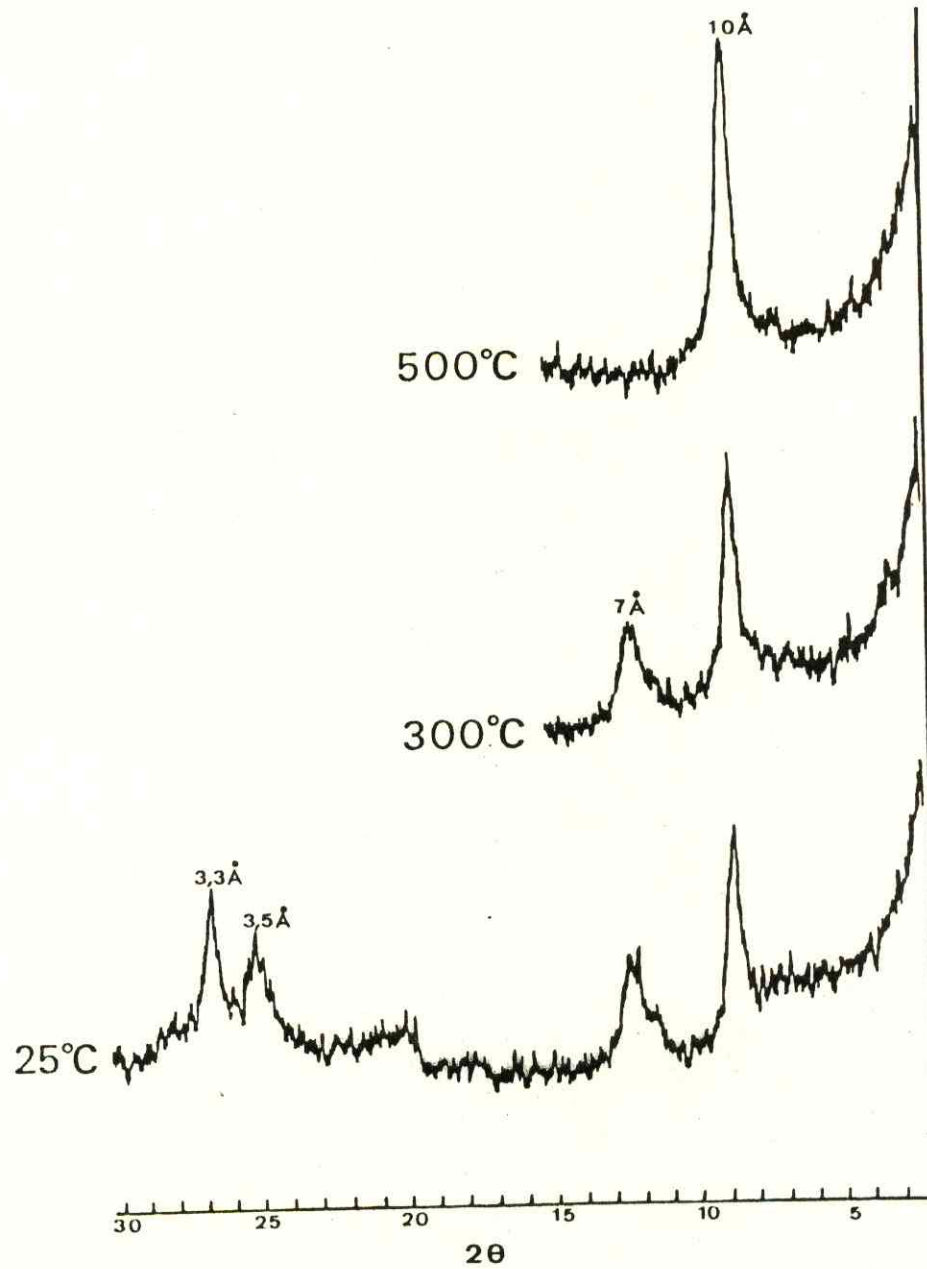


FIGURA 5 - Difratoigramas de raios X da fração argila do solo K-6 saturada com  $K^+$  (amostras orientadas) a  $25^\circ C$  e após aquecimento a  $300$  e  $500^\circ C$ .

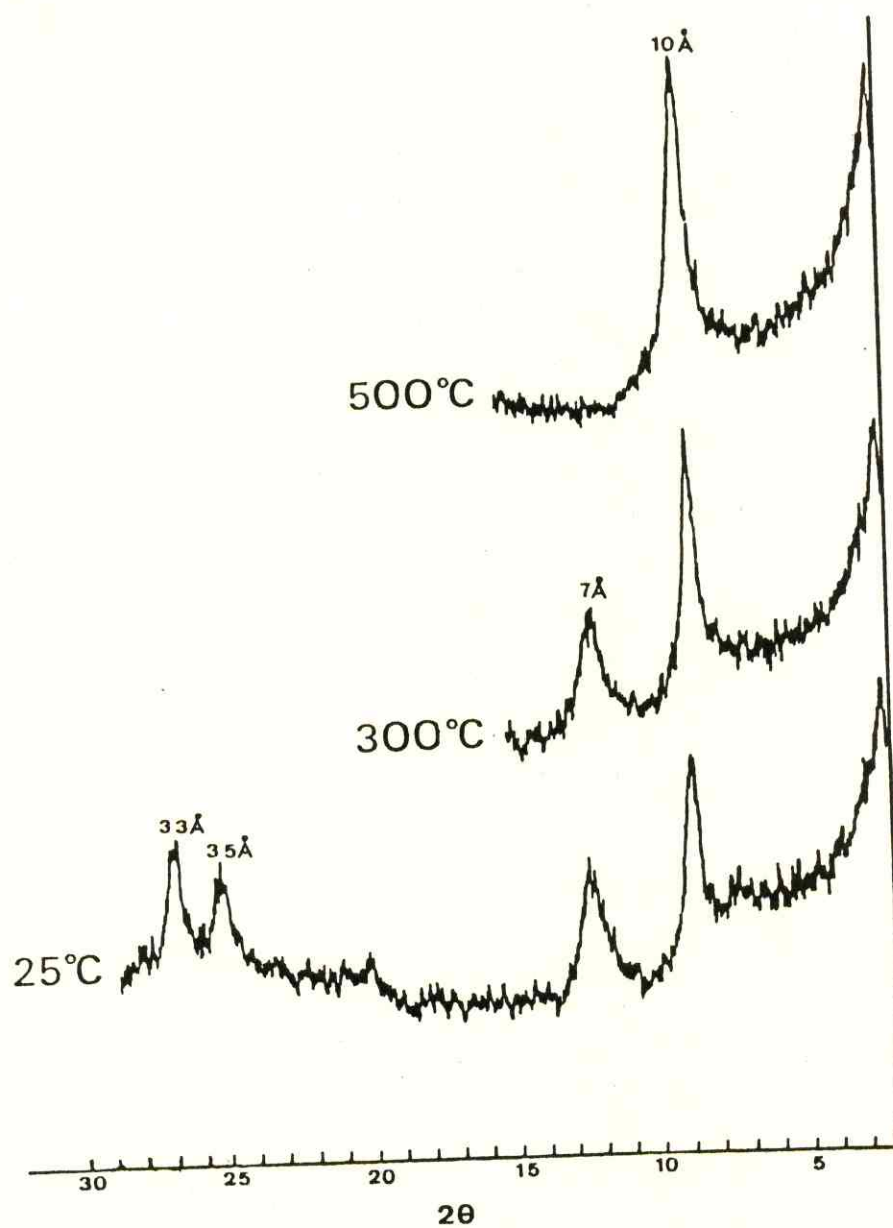


FIGURA 6 - Difratoogramas de raios X da fração argila do solo K-14 saturada com  $\text{K}^+$  (amostras orientadas) a  $25^{\circ}\text{C}$  e após aquecimento a  $300$  e  $500^{\circ}\text{C}$ .

TABELA 6 - Efeito da relação de adsorção de sódio (RAS) da água aplicada sobre a condutibilidade hidráulica saturada e grau de floculação dos solos.

RAS (mmol) <sup>1/2</sup>	Solo K - 2		Solo K - 6		Solo K - 14	
	Grau de Floculação	Condutibilidade Hidráulica	Grau de Floculação	Condutibilidade Hidráulica	Grau de Floculação	Condutibilidade Hidráulica
	(%)	(cm.h <sup>-1</sup> )	(%)	(cm.h <sup>-1</sup> )	(%)	(cm.h <sup>-1</sup> )
4,8	64	2,58	59	1,32	50	0,14
9,7	61	2,20	54	0,34	44	0,14
13,9	58	1,93	39	0,19	31	0,12
19,0	47	1,84	34	0,19	31	0,11
29,4	33	0,83	30	0,14	27	0,09
37,6	32	0,33	29	0,09	21	0,06

lidade hidráulica do solo saturado nos solos K-2, K-6 e K-14, com aplicação de água de diferentes valores de relação de adsorção de sódio, mantendo-se a condutividade elétrica constante em 2,0mmhos/cm. Os resultados indicaram redução nos valores da Ks com o aumento dos valores de RAS da água aplicada. A Figura 7 ilustra o efeito da textura do solo na variação da Ks em relação aos valores de RAS da água aplicada. No solo K-2 de textura franco-arenosa, com 14% de argila, a redução da Ks com o aumento da RAS foi de 87% e ocorreu de forma linear. No solo K-6, da mesma classe textural, porém, com 18% de argila, o decréscimo da Ks foi de 93% e as reduções ocorreram segundo uma curva assintótica, na qual a redução de 86% na Ks correspondeu a um valor de RAS igual a 15. No solo K-14 de textura franco-argilosa, a diminuição da Ks com o aumento da RAS ocorreu de forma linear, e teve uma redução de 57%. O baixo valor inicial da Ks do solo K-14 deve ter influenciado na menor percentagem da redução na Ks ocorrida em função do aumento da RAS, quando comparado com os solos K-2 e K-6. Os resultados estão de acordo com o observado por Mc NEAL et alii (1968) em solos de diferentes classes texturais com minerais de argila do grupo 2:1. Nos solos K-2, K-6 e K-14, o mineral de argila predominante é a vermiculita.

Os valores do grau de flocculação determinados nos solos K-2, K-6 e K-14 em função da variação da RAS da água, estão na Tabela 6. Foram verificadas reduções nos valores do grau de flocculação 50, 51 e 58% com o aumento da RAS da água nos solos K-2, K-6 e K-14, respectivamente. As quantidades crescentes de sódio introduzidas nas colunas do solo, com o aumento da RAS da água, influenciaram na redução dos valores do grau de flocculação dos solos, conforme ilustrado na Figura 8.

As reduções da Ks com aumentos da RAS da água foram certamente ocasionadas pela expansão e dispersão das partículas dos solos. As partículas dispersas obturam os poros do solo, transmissores da água, provocando redução na condutibilidade hidráulica como também para essa redução contribuiu a expansão das partículas de argila (RHOADES & INGVALSON, 1969; SHAINBERG et alii, 1971; FELHENDLER et alii, 1974; FRENKEL et

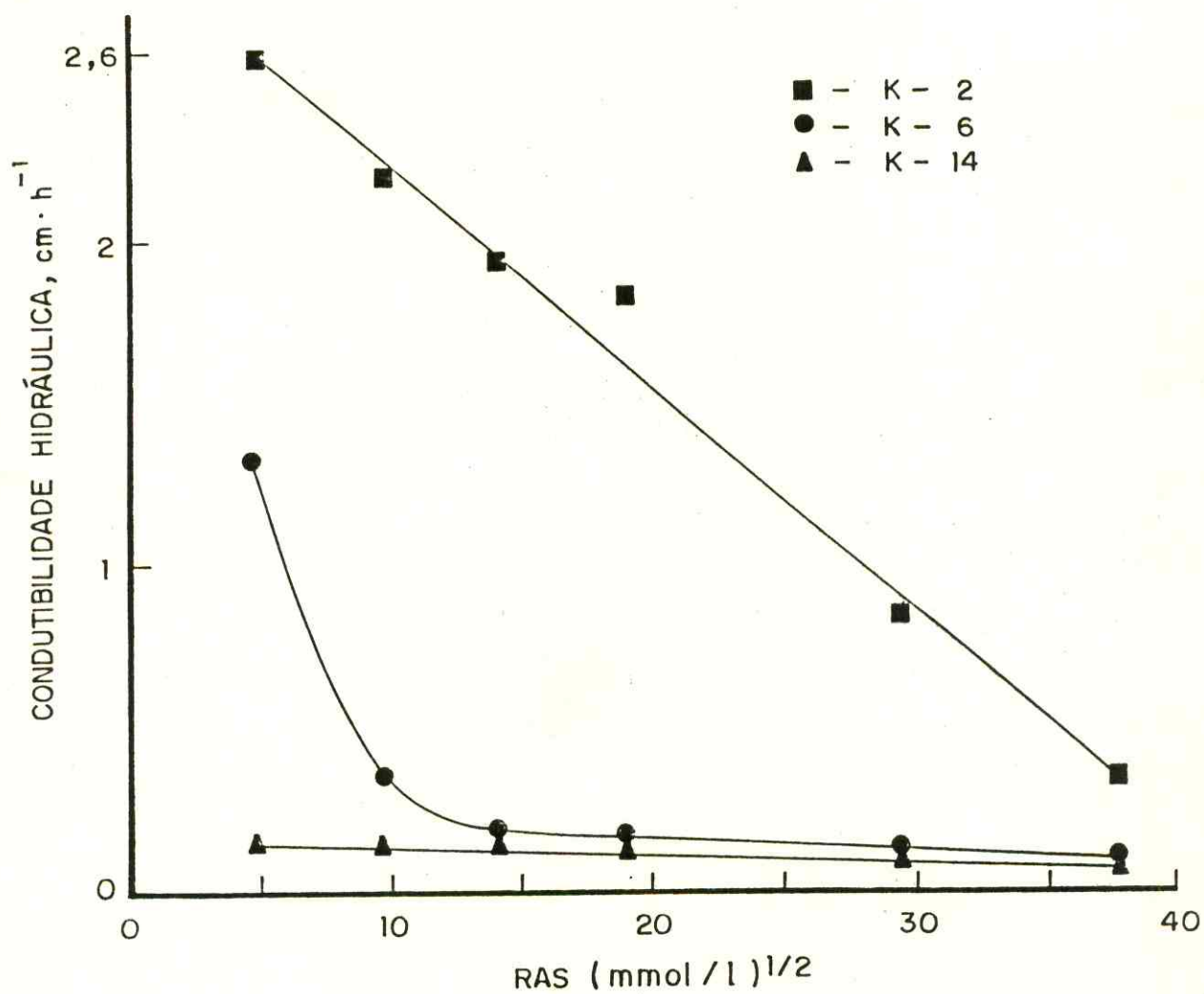


FIGURA 7 - Variação da condutibilidade hidráulica do solo saturado em função dos valores da relação de adsorção de sódio (RAS) da água aplicada, nos solos K-2, K-6 e K-14.

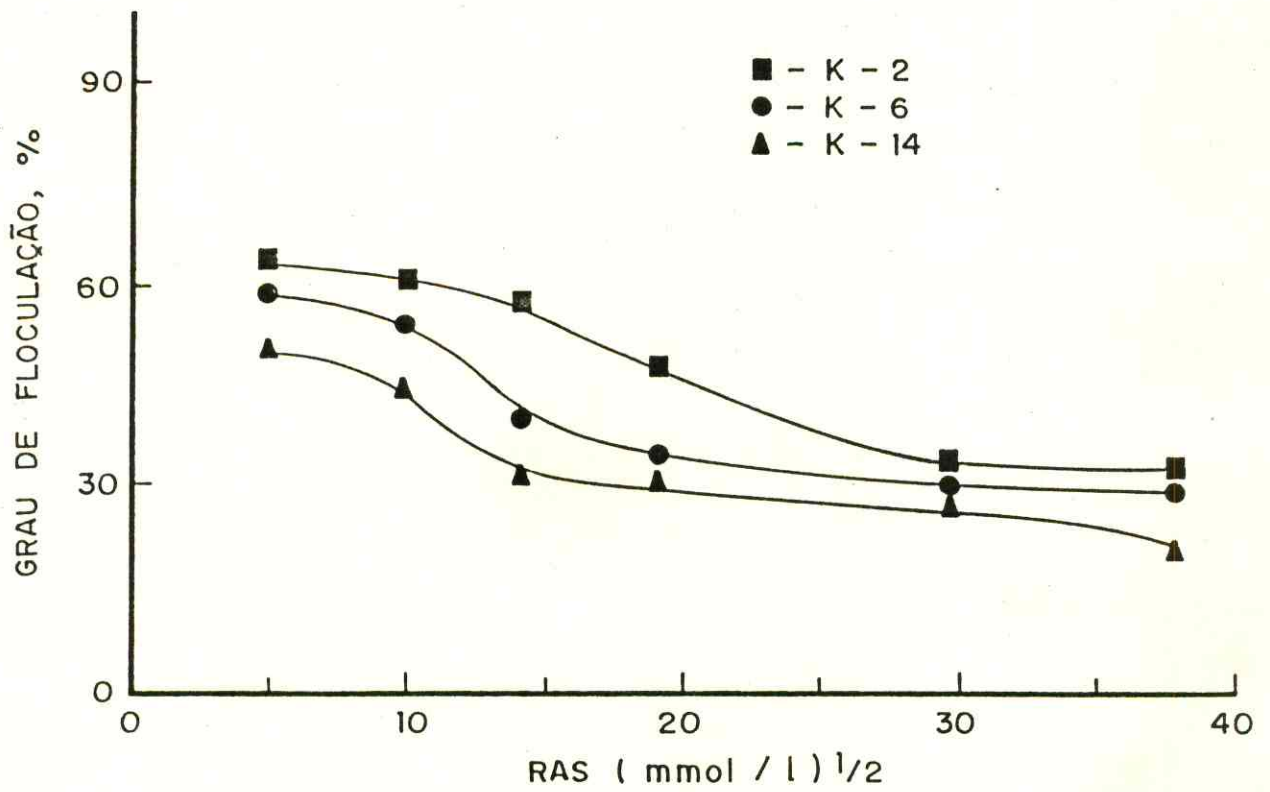


FIGURA 8 - Variação do grau de floculação em função dos valores da relação de adsorção de sódio (RAS) da água aplicada, nos solos K-2, K-6 e K-14.

alii, 1978; PUPISKY & SHAINBERG, 1979; SHAINBERG et alii, 1981a & 1981b). Esse efeito sobre a  $K_s$  é indicado nas Figuras 9 e 10 que ilustram o decréscimo da  $K_s$  em função da percentagem de sódio trocável (PST) e do grau de floculação nos solos K-2, K-6 e K-14, respectivamente. A forma das curvas das Figuras 9 e 10, similares à da Figura 7, indica também o efeito da textura na variação da  $K_s$ . As semelhanças observadas mostram a interdependência que existe entre as propriedades RAS, PST e grau de floculação. A influência da PST e da concentração eletrolítica sobre a  $K_s$  tem sido amplamente demonstrada por pesquisadores que relatam a importância de levar-se em consideração no manejo e recuperação de solos afetados por sais (Mc NEAL & COLEMAN, 1966; REEVE & TAMADDONI, 1965; Mc NEAL et alii, 1968; LAGERWEFF et alii, 1969).

#### 4.3. Efeito da relação de adsorção de sódio sobre a percentagem de sódio trocável.

Na Tabela 7 são apresentados os valores de sódio trocável, percentagem de sódio trocável e relação de adsorção de sódio do extrato de saturação do solo, determinados após percolação da água. Pode-se observar, através dos dados da Tabela 7, que a partir dos tratamentos com água de RAS igual a 15, nos três solos, deixou de haver correspondência entre os valores de RAS do extrato de saturação e os da água aplicada. Nota-se ainda que as diferenças entre esses valores foram mais pronunciadas nos solos com maior teor de argila. Por outro lado, essas diferenças podem ser devidas, além da textura, à maior solubilização de cálcio e magnésio do solo, o que resultou na diminuição da RAS do extrato de saturação.

Para verificar o efeito da textura sobre os valores de PST, foi estabelecida a relação entre a RAS e RST para cada um dos solos estudados (Tabela 8) estimando-se o valor da PST pelas seguintes expressões:

$$\text{SOLO K-2} \quad \text{PST} = \frac{100(-0,0120 + 0,0102\text{RAS})}{1+(-0,0120 + 0,0102\text{RAS})} \quad (5)$$

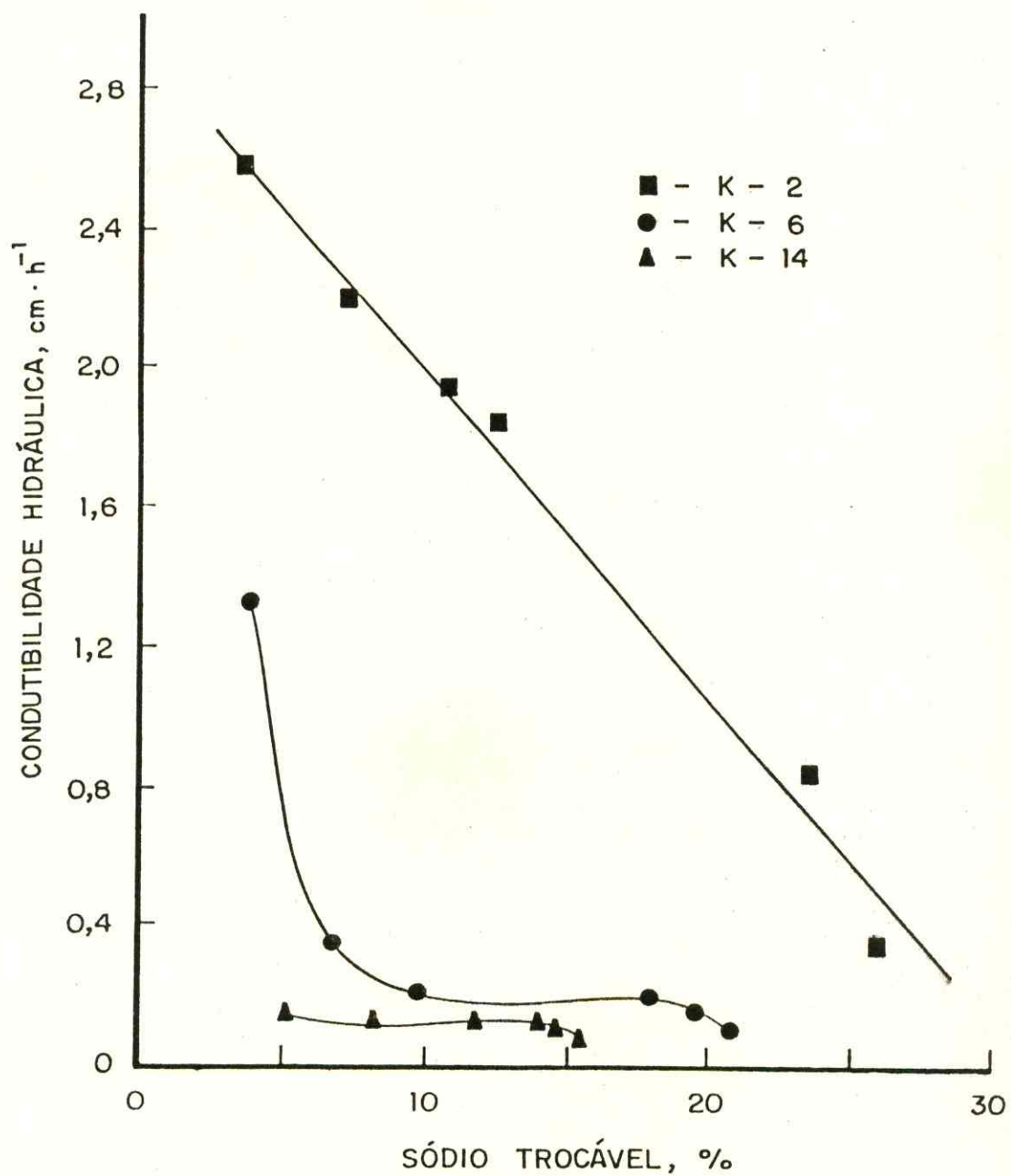


FIGURA 9 - Variação da condutibilidade hidráulica do solo saturado em função dos valores de porcentagem de sódio trocável nos solos K-2, K-6 e K-14.

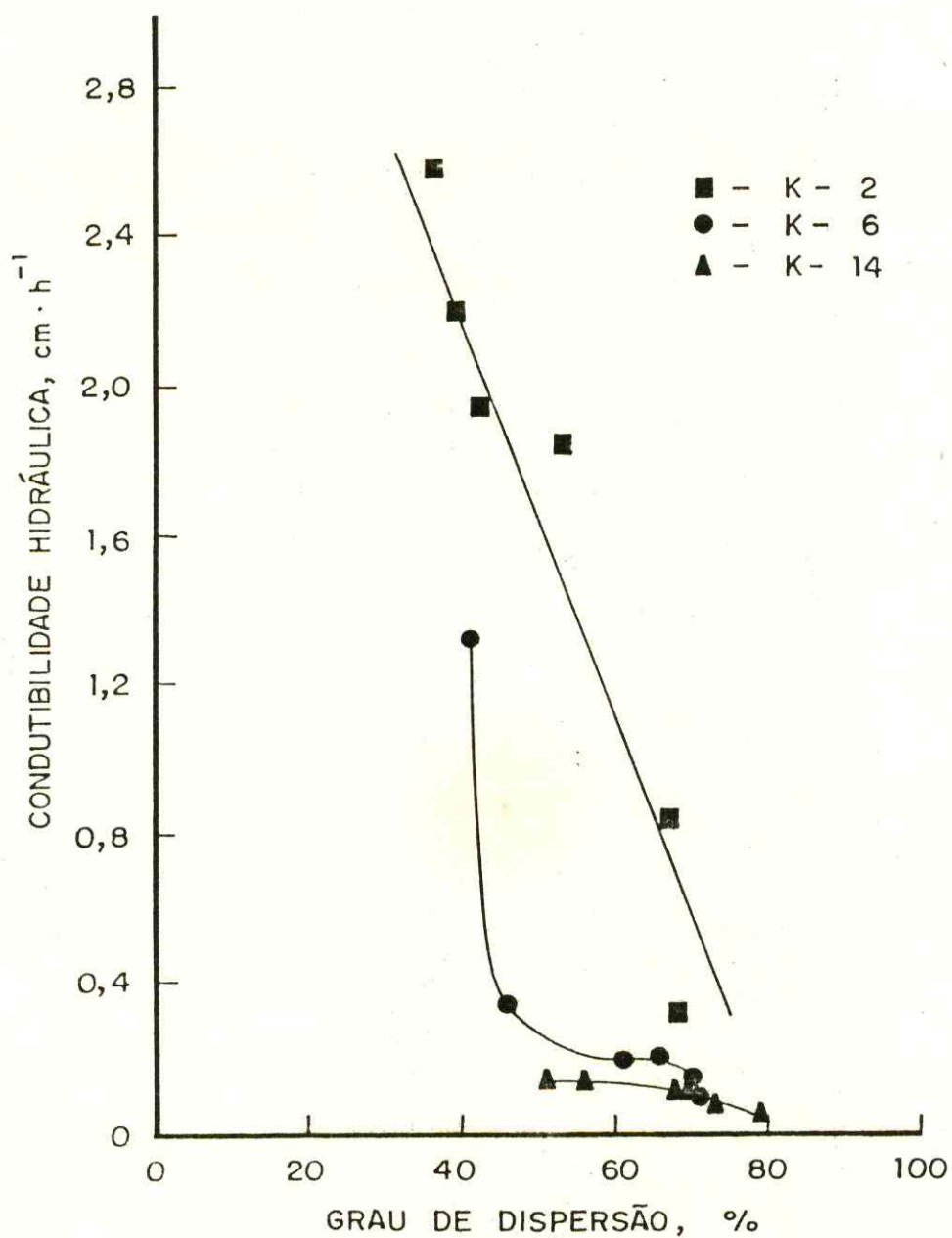


FIGURA 10 - Variação da condutibilidade hidráulica do solo saturado em função dos valores do grau de dispersão, nos solos K-2, K-6 e K-14.

TABELA 7 - Sódio trocável e percentagem de sódio trocável (PST) das colunas de solos, após infiltração de água com condutividade elétrica igual a 2,0mmhos/cm e diferentes relações de adsorção de sódio (RAS)

SOLO	RAS	RAS	Na	PST
	Água	Extrato de Saturação	Trocável	
	$(\text{mmol/l})^{1/2}$		meq/100g	%
K-2	4,8	5,4	0,29	3,5
	9,7	9,2	0,61	7,3
	13,9	11,5	0,90	10,8
	19,0	13,2	1,36	16,4
	29,4	13,6	1,96	23,6
	37,6	15,2	2,17	26,1
K-6	4,8	5,9	0,39	3,8
	9,7	9,2	0,73	7,1
	13,9	11,1	1,02	9,9
	19,0	12,0	1,64	15,8
	29,4	13,5	2,01	19,4
	37,6	13,8	2,15	20,8
K-14	4,8	5,2	0,87	5,1
	9,7	8,1	1,63	9,6
	13,9	9,7	1,99	11,8
	19,0	10,3	2,38	14,1
	29,4	10,7	2,47	14,6
	37,6	11,8	2,60	15,4

TABELA 8 - Relação entre a RAS e RST para os três solos

SOLOS	VARIÁVEIS	r	RST = a + bRAS
K-2	RAS vs. RST	0,994	RST = -0,0120 + 0,0102RAS
K-6	RAS vs. RST	0,974	RST = 0,0152 + 0,0072RAS
K-14	RAS vs. RST	0,896	RST = 0,0679 + 0,0035RAS

$$\text{SOLO K-6} \quad \text{PST} = \frac{100(0,0152 + 0,0072\text{RAS})}{1+(0,0152 + 0,0072\text{RAS})} \quad (6)$$

$$\text{SOLO K-14} \quad \text{PST} = \frac{100(0,0679 + 0,0035\text{RAS})}{1+(0,0679 + 0,0035\text{RAS})} \quad (7)$$

Os resultados da PST em função da RAS estão ilustrados na Figura 11. Observa-se que as quantidades relativas de sódio adsorvido foram maiores nos solos de textura mais arenosa. O mesmo pode ser verificado através das equações de regressão onde os coeficientes angulares (constante de Gapon) apresentaram valores diferentes para os três solos (K-2 = 0,0102 ; K-6 = 0,0072 e K-14 = 0,0035) e inversamente proporcionais ao conteúdo de argila dos mesmos. Esses resultados assemelham-se aos obtidos por PALIWAL & GANDHI (1976) que enfatizam a importância da textura do solo no desenvolvimento da sodicidade e na sua predição. Esses pesquisadores ainda indicaram que o emprego de uma relação RAS e RST, comum para todos os tipos de solos para fins de predição, pode acarretar erros consideráveis pela contribuição da textura do solo e sua composição mineralógica. A simples observação dos resultados obtidos no presente trabalho poderia induzir a conclusão de que a textura do solo influenciou na seletividade do complexo de troca pelo íon sódio, o qual não é de esperar-se, em virtude dos solos apresentarem a fração argilo-mineral de composição e origem semelhantes, conforme resultados indicados no item 4.1. O efeito da textura nas diferenças em PST, observadas nos solos, pode ser atribuído principalmente à diferença de volume de água percolada nas colunas de solos. Para tais diferenças também devem ter contribuído as diferenças na capacidade de troca de cátions (poder tampão) dos solos e a baixa concentração salina da água usada (CE = 2,0 mmhos/cm), que concorreram para que o tempo de duração do experimento não fosse suficiente a fim de que os solos chegassem a mesma condição de equilíbrio entre a RAS e PST. Segundo BRESLER et alii (1982) somente após vários equilíbrios solo-solução, os valores da PST aproximam-se a não ser que

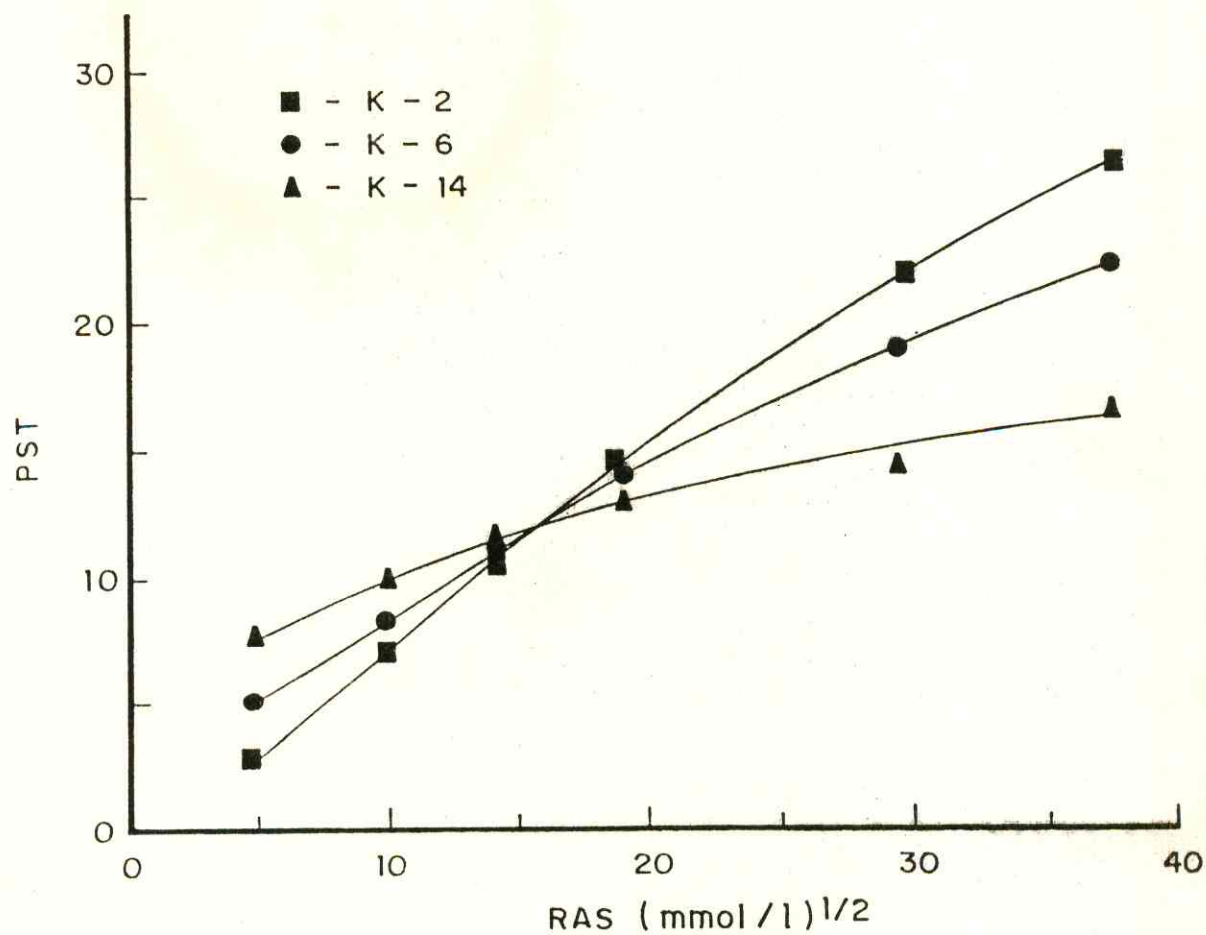


FIGURA 11 - Relação entre a porcentagem de sódio trocável (PST) e relação de adsorção de sódio (RAS) da água aplicada, nos solos K-2, K-6 e K-14.

a solução tenha alta concentração salina e os solos baixa capacidade de troca de cátions. Baseado nos resultados obtidos foi realizado um segundo experimento para verificar se a textura do solo influencia na seletividade das argilas pelo íon sódio, cujos resultados serão discutidos no ítem seguinte.

#### 4.4. Efeito da salinidade e da relação de adsorção de sódio sobre a relação de sódio trocável e coeficiente de seletividade de Gapon

Nas Figuras 12, 13 e 14 está ilustrada a variação da RST, em função da RAS, para os solos K-2, K-6 e K-14, quando o cátion divalente predominante no complexo de troca e na solução do solo é o cálcio. Verifica-se uma estreita relação linear entre a RAS e RST para o total de dados experimentais, obtidos nos diversos tratamentos usados em cada solo. Os coeficientes angulares das correspondentes equações de regressão correspondem à constante de Gapon ( $K_g$ ) que pode ser tomada como indicativo da afinidade do complexo sortivo do solo pelo sódio em relação ao cálcio. Os coeficientes de seletividade de Gapon apresentaram os valores de 0,0085; 0,0086 e 0,0099 para os solos K-2, K-6 e K-14, respectivamente. Como pode verificar-se, os valores do  $K_g$  foram bastante próximos para os três solos, resultados que confirmam o indicado no experimento em colunas (ítem 4.3), de que as divergências entre os valores do  $K_g$  desses solos foram causadas principalmente pela diferença na condição de equilíbrio entre a RAS e RST e ao efeito da textura que afetou a percolação da água. A semelhança nos valores do  $K_g$  dos solos obtidos neste experimento, pode ser atribuída ao fato dos três solos apresentarem a fração argila de composição e origem similares (ítem 4.1) com predominância de minerais 2:1 expansíveis do tipo vermiculita e montmorilonita. Os valores do  $K_g$ , determinados no presente estudo, foram inferiores aos obtidos pelos técnicos do Laboratório de Salinidade dos USA para

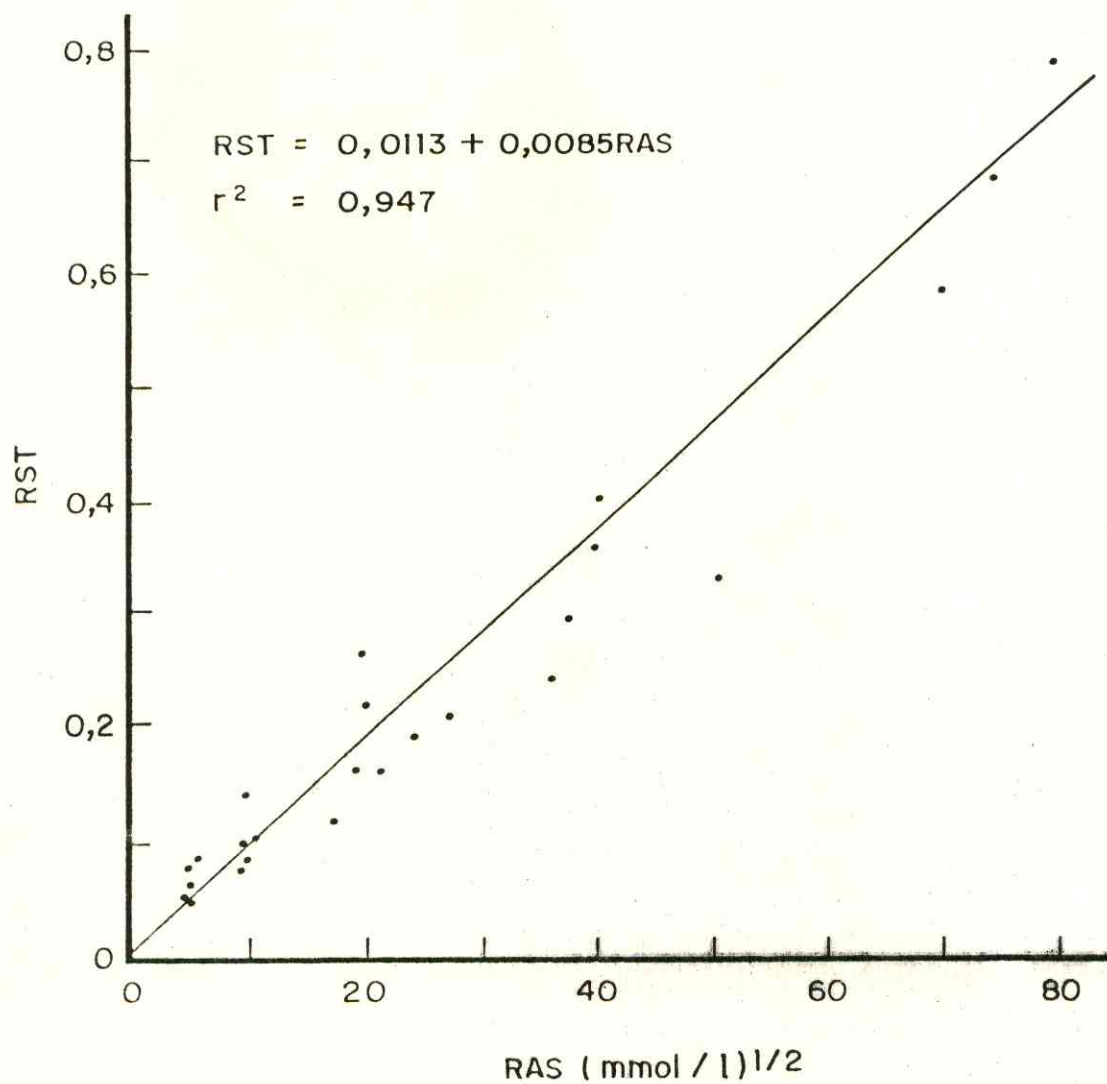


FIGURA 12 - Relação entre a RAS e RST para o solo K-2 na faixa de concentração entre 20 - 400meq/l.

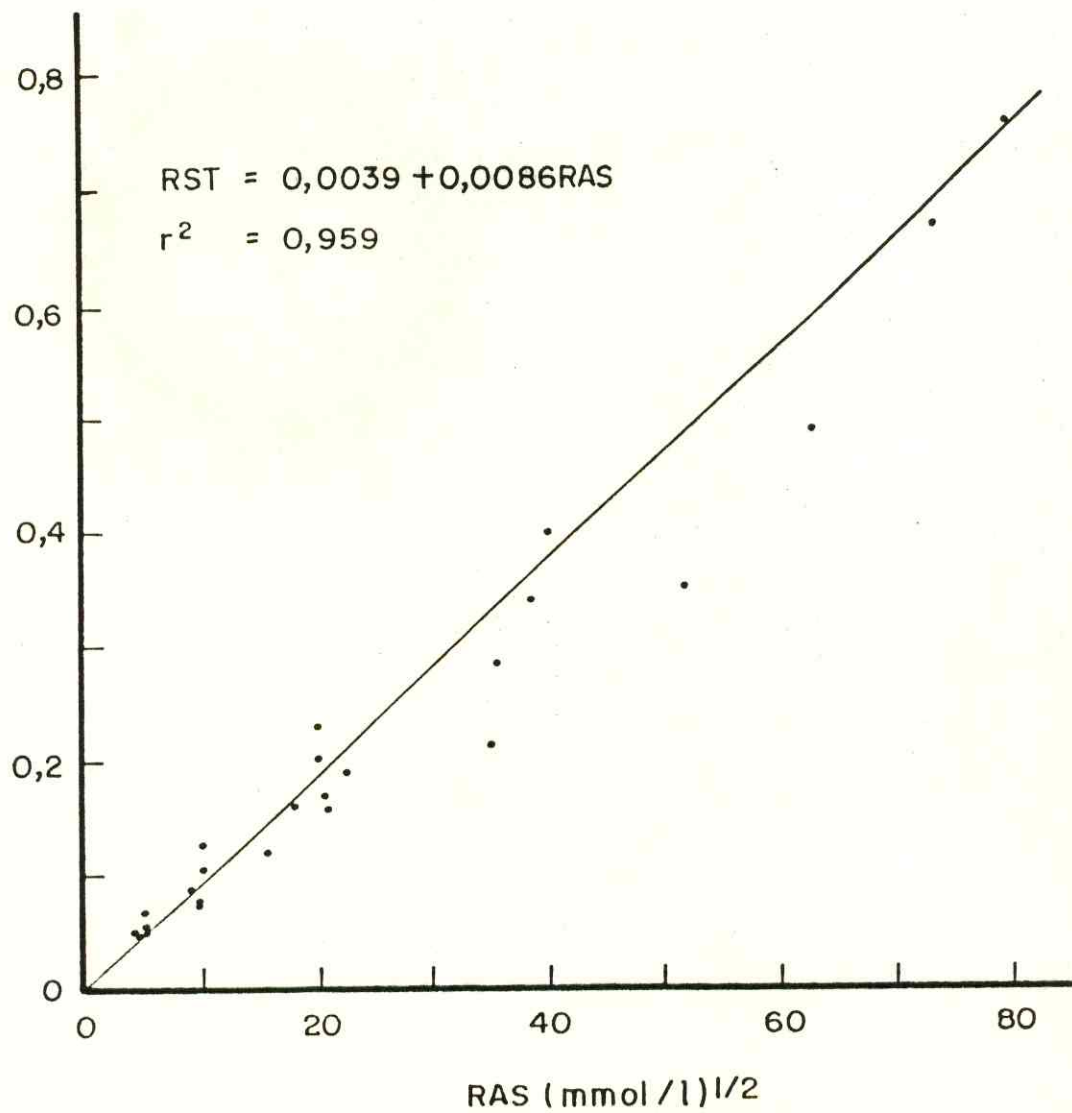


FIGURA 13 - Relação entre a RAS e RST para o solo K-6 na faixa de concentração entre 20 - 400meq/l.

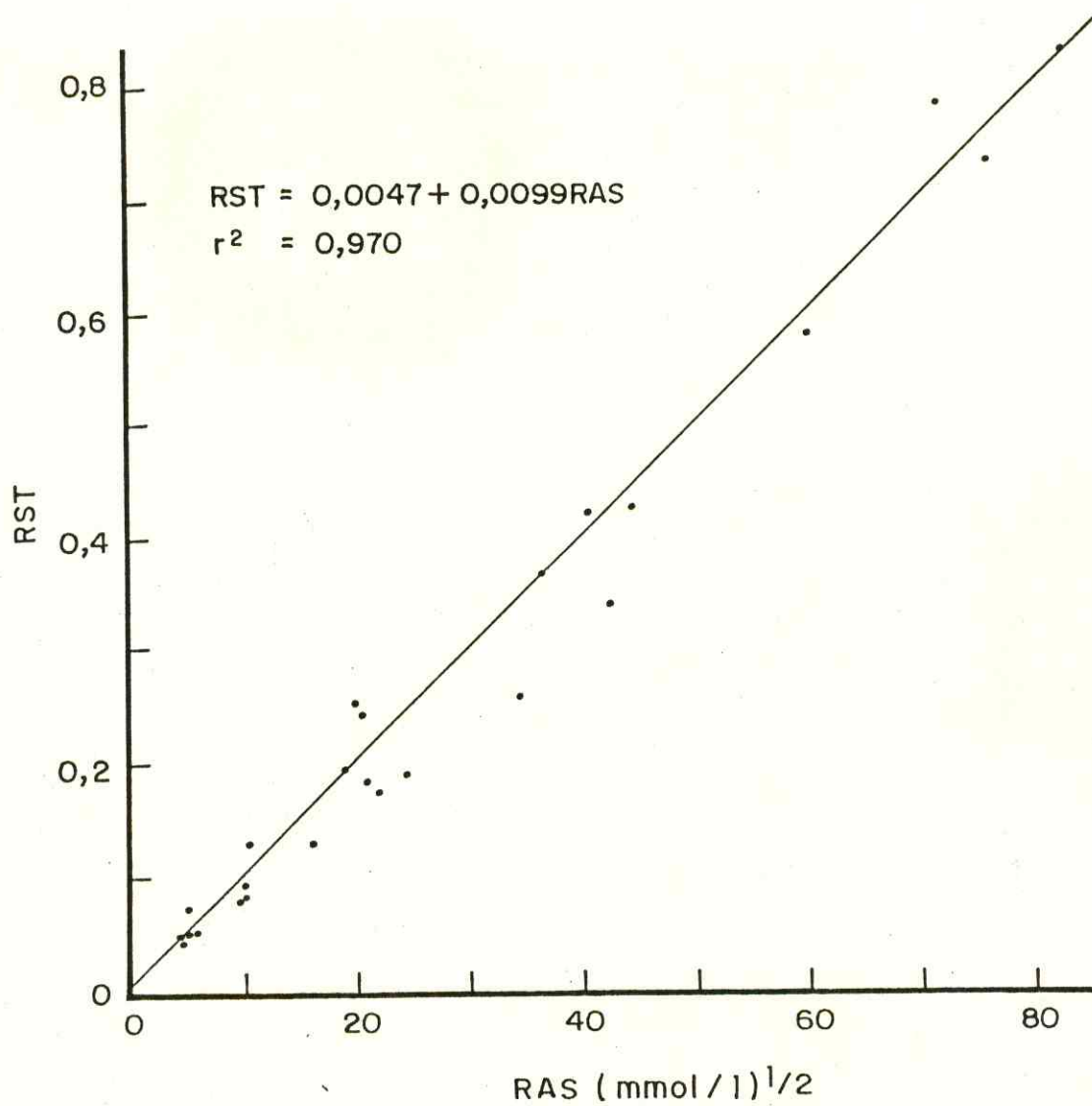


FIGURA 14 - Relação entre a RAS e RST para o solo K-14 na faixa de concentração entre 20 - 400meq/l.

uso prático  $K_g = 0,015$  (RICHARDS, 1954), podendo a diferença ser atribuída, em parte, a metodologia usada para determinação. Para os cálculos da RST dos solos, a capacidade de troca de cátions foi determinada, segundo metodologia de POLLEMI & RHOADES (1977), extraíndo-se o sódio e cloretos com acetato de amônio 1N pH 7,0. Esse método forneceu valores da capacidade de troca de cátions mais altos que os comumente usados em rotina, e, conseqüentemente, os valores do  $K_g$  resultam mais baixos.

As variações dos valores do  $K_g$ , em função da concentração eletrolítica e da RAS, são apresentadas nas Tabelas 9, 10 e 11 para os solos K-2, K-6 e K-14, respectivamente, onde de cada valor corresponde a média de três repetições. Nessas Tabelas verifica-se que, quando mantida constante a concentração eletrolítica, o valor do  $K_g$  apresenta uma ligeira tendência a diminuir, à medida que aumenta a proporção de sódio na solução de equilíbrio (maior valor de RAS) o qual foi mais notório nas maiores concentrações eletrolíticas.

Quando os valores da RAS e RST foram relacionados estatisticamente de modo individual para cada concentração salina usada (Tabelas 12, 13, e 14), verificou-se que foi mantida a estreita relação linear também observada com o total de dados. Nos três solos estudados foi observada uma ligeira tendência para o aumento do valor de  $K_g$  com o aumento da concentração eletrolítica da solução de equilíbrio, sugerindo um aumento na preferência do complexo sortivo pelo sódio ou, contrariamente, uma diminuição de sua afinidade pelo cálcio. No solo K-14 a diminuição da afinidade pelo cálcio com o aumento da concentração salina foi mais notável que nos solos K-2 e K-6. Esse efeito no solo K-14 é ilustrado na Figura 15, pela inclinação das linhas de regressão, ao relacionar-se a RST com a RAS das soluções de equilíbrio, nas diversas concentrações salinas usadas. Nos solos K-2 e K-6 a diminuição da afinidade pelo cálcio foi menos notória, possivelmente pelo fato de terem menor teor de partículas de argila e as mesmas apresentarem com uma mistura, mascarando a preferência da vermiculita e montmorilonita pelo sódio. Resultados simi

TABELA 9 - Efeito da salinidade e da relação de adsorção de sódio (RAS) sobre a relação de sódio trocável (RST) e coeficiente de seletividade de Gapon (Kg) para o solo K-2

Concentração	RAS		RST	Kg
	Inicial	Final		
(meq/l)	$(\text{mmol/l})^{1/2}$			$(\text{mmol/l})^{-1/2}$
20,0	4,8	5,0	,050±,001	,0100
	9,4	9,6	,076±,003	,0079
	18,9	17,2	,120±,008	,0070
	38,5	24,0	,188±,004	,0078
	77,5	26,9	,207±,003	,0077
50,0	4,8	4,9	,053±,001	,0108
	9,4	9,6	,083±,001	,0086
	20,7	21,1	,161±,001	,0076
	38,5	36,1	,237±,006	,0066
	77,8	50,4	,325±,002	,0064
100,5	5,2	5,1	,065±,007	,0127
	9,6	9,5	,102±,006	,0107
	19,3	18,8	,160±,001	,0085
	38,5	37,5	,294±,015	,0078
	80,5	70,3	,579±,002	,0082
187,7	5,0	5,2	,079±,002	,0152
	9,9	10,4	,106±,005	,0102
	19,1	20,2	,214±,017	,0106
	38,0	39,5	,358±,014	,0091
	77,0	74,4	,682±,009	,0092
397,2	5,1	5,3	,087±,002	,0164
	10,1	9,8	,138±,001	,0141
	19,9	19,7	,258±,006	,0131
	41,8	40,2	,401±,046	,0100
	80,2	79,6	,784±,017	,0098

TABELA 10 - Efeito da salinidade e da relação de adsorção de sódio (RAS) sobre a relação de sódio trocável (RST) e coeficiente de seletividade de Gapon (Kg) para o solo K-6

Concentração	RAS		RST	Kg
	Inicial	Final		
(meq/l)	$(\text{mmol/l})^{1/2}$			$(\text{mmol/l})^{-1/2}$
20,0	4,8	4,9	,044±,001	,0090
	9,4	9,6	,074±,001	,0077
	18,9	15,6	,120±,003	,0077
	38,5	20,6	,171±,005	,0083
	77,5	22,5	,192±,002	,0085
50,0	4,8	4,7	,046±,004	,0098
	9,4	9,4	,076±,001	,0081
	20,7	20,8	,158±,004	,0076
	38,5	34,8	,216±,001	,0062
	77,8	51,6	,350±,004	,0068
100,5	5,2	4,8	,046±,001	,0096
	9,6	9,2	,092±,006	,0100
	19,3	18,1	,162±,003	,0090
	38,5	35,3	,283±,005	,0080
	80,5	62,5	,490±,003	,0078
187,7	5,0	5,0	,057±,004	,0114
	9,9	9,9	,103±,006	,0104
	19,1	19,8	,202±,006	,0102
	37,8	38,7	,341±,008	,0088
	77,0	73,6	,672±,005	,0091
397,2	5,1	5,1	,068±,004	,0133
	10,1	10,0	,129±,006	,0129
	19,9	19,9	,231±,006	,0116
	41,8	40,3	,398±,008	,0099
	80,2	79,4	,758±,028	,0099

TABELA 11 - Efeito da salinidade e da relação de adsorção de sódio (RAS) sobre a relação de sódio trocável (RST) e coeficiente de seletividade de Gapon (Kg) para o solo K-14.

Concentração (meq/l)	RAS		RST	Kg
	Inicial	Final		
	$(\text{mmol/l})^{1/2}$			$(\text{mmol/l})^{-1/2}$
20,0	4,8	4,8	,050±,001	,0104
	9,4	9,4	,077±,004	,0082
	18,9	16,0	,132±,001	,0083
	38,5	21,9	,174±,004	,0079
	77,5	24,3	,186±,002	,0077
50,0	4,8	4,9	,047±,002	,0096
	9,4	9,6	,082±,001	,0085
	20,7	20,7	,183±,001	,0088
	38,5	34,3	,260±,001	,0076
	77,8	42,5	,340±,003	,0080
100,5	5,2	5,3	,052±,003	,0098
	9,6	9,9	,097±,004	,0098
	19,3	18,9	,196±,005	,0104
	38,5	36,7	,364±,001	,0099
	80,5	60,2	,578±,010	,0096
187,7	5,0	5,1	,072±,002	,0141
	9,9	10,3	,119±,004	,0116
	19,1	20,4	,245±,004	,0120
	38,0	40,7	,418±,008	,0103
	77,0	71,6	,780±,023	,0109
397,2	5,1	5,1	,074±,001	,0145
	10,1	10,4	,132±,003	,0127
	19,9	19,8	,254±,001	,0128
	41,8	44,5	,424±,002	,0095
	80,2	82,7	,829±,021	,0100

TABELA 12 - Equação de regressão entre a relação de adsorção de sódio (RAS) e relação de sódio trocável (RST) para o solo K-2, nas várias concentrações eletrolíticas

Concentração (meq/l)	$r^2$	RST = a + bRAS
20,0	0,992	RST = 0,0075 + 0,0073RAS
50,0	0,998	RST = 0,0278 + 0,0059RAS
100,5	0,997	RST = 0,0197 + 0,0078RAS
187,5	0,998	RST = 0,0246 + 0,0088RAS
397,2	0,996	RST = 0,0491 + 0,0092RAS

TABELA 13 - Equação de regressão entre a relação de adsorção de sódio (RAS) e relação de sódio trocável (RST) para o solo K-6, nas várias concentrações eletrolíticas

Concentração (meq/l)	$r^2$	RST = a + bRAS
20,0	0,989	RST = -0,0026 + 0,0084RAS
50,0	0,988	RST = 0,0165 + 0,0063RAS
100,5	0,999	RST = 0,0172 + 0,0076RAS
187,7	0,998	RST = 0,0133 + 0,0089RAS
397,2	0,999	RST = 0,0352 + 0,0091RAS

TABELA 14 - Equação de regressão entre a relação de adsorção de sódio (RAS) e relação de sódio trocável (RST) para o solo K-14, nas várias concentrações eletrolíticas

Concentração (meq/l)	$r^2$	RST = a + bRAS
20,0	0,996	RST = 0,0138 + 0,0072RAS
50,0	0,994	RST = 0,0122 + 0,0076RAS
100,5	0,999	RST = 0,0059 + 0,0096RAS
187,7	0,994	RST = 0,0339 + 0,0095RAS
397,2	0,997	RST = 0,0158 + 0,0105RAS

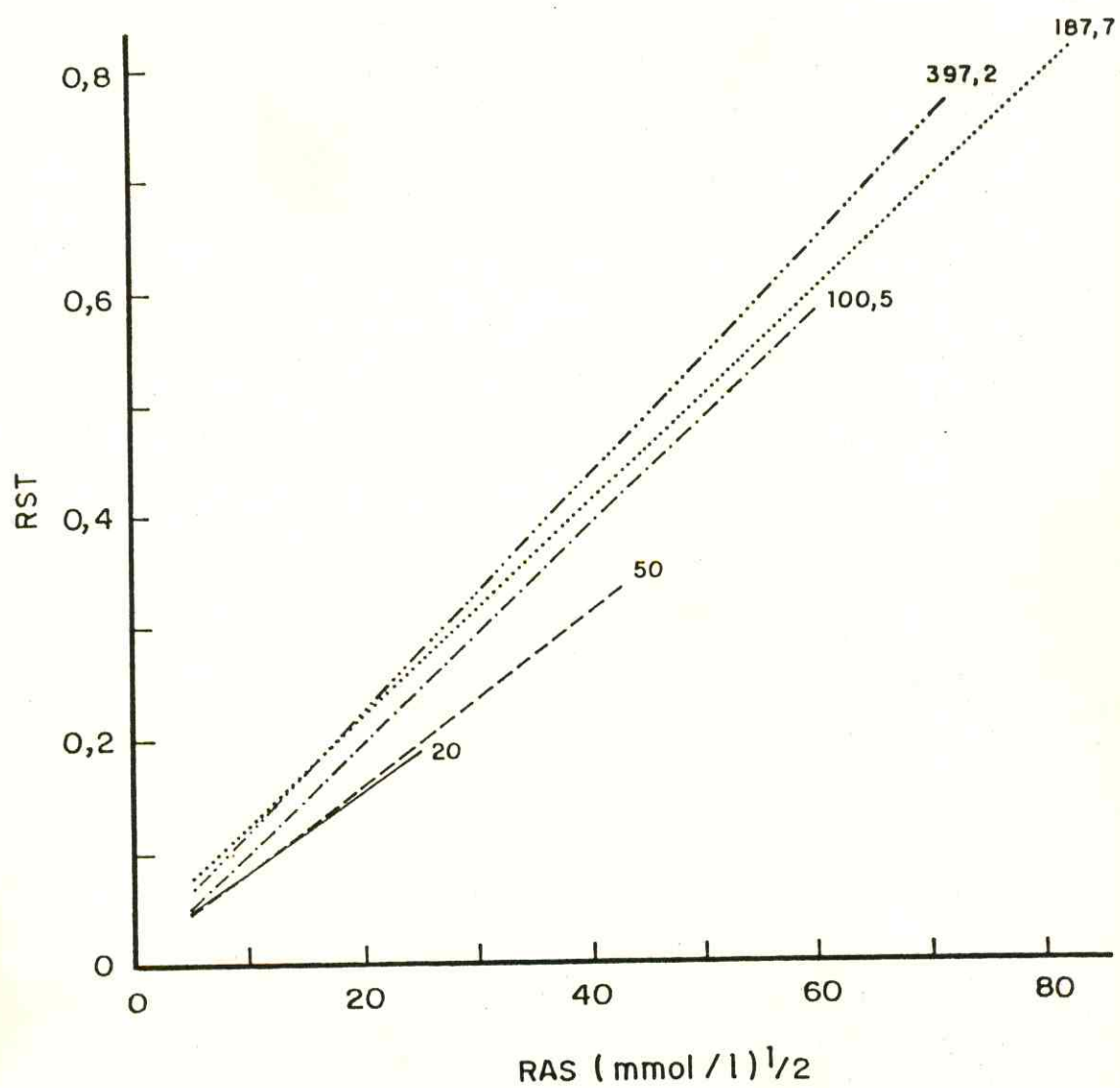


FIGURA 15 - Relação entre RAS e RST nas concentrações eletrolíticas usadas (meq/l), no solo K-14.

lares foram encontrados por SHAINBERG et alii (1980) trabalhando com suspensões de ilita e montmorilonita. Esses pesquisadores ainda indicam que na ilita a afinidade pelo cálcio diminui com o aumento da fração de cálcio trocável e que na montmorilonita ocorre o contrário. Contrariamente, JURINAK et alii (1984) verificou diminuição do valor de  $K_g$  com o aumento da salinidade em solos cujos minerais de argila predominantes eram caulinita, ilita e clorita. Esses pesquisadores atribuíram essa diminuição do valor de  $K_g$  ao efeito do mineral de argila e à influência da força iônica da solução sobre a adsorção de íons. Segundo BRESLER et alii (1982) a vermiculita apresenta certa preferência por cátions monovalentes em relação às esmectitas (montmorilonitas).

O aumento da preferência pelo sódio está relacionado ao comportamento da dupla camada iônica difusa e às características de expansibilidade da fração argila. Segundo SHAINBERG et alii (1980), com o aumento da concentração salina ocorre uma diminuição no potencial elétrico médio nas superfícies internas das argilas, sendo a adsorção de cátions divalentes mais afetada que a dos monovalentes. A diminuição do  $K_g$  com o aumento da proporção de sódio na solução eletrolítica pode ser explicada assumindo-se que as argilas apresentam diferentes sítios de troca, também com diferentes afinidades pelo sódio ou cálcio. Desta maneira, em primeiro lugar são preenchidos os sítios de troca com maior afinidade pelo sódio e, posteriormente, com o aumento do sódio trocável, os de baixa afinidade.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram as seguintes conclusões:

Foi verificado que na fração argila dos solos estudados predominam os minerais vermiculita e montmorilonita, seguidos de mica ou ilita e caulinita. Na fração areia o mineral predominante é o quartzo (90 a 96%), seguido das micas biotita intemperizada e muscovita (4 a 10%).

Verificou-se que aumentos da relação de adsorção do sódio da água reduziram a condutibilidade hidráulica do solo saturado, sendo os decréscimos influenciados pela textura do solo. Esses decréscimos foram maiores nos solos com menor teor de argila e foram devidos ao aumento na percentagem de sódio trocável e no grau de dispersão dos solos.

Foi verificada relação linear entre os valores da relação de sódio trocável e da relação de adsorção de sódio, independentemente da concentração eletrolítica da solução em equilíbrio com o solo.

Verificou-se que nos três solos estudados a textura do solo não influenciou significativamente nos valores do coeficiente de seletividade de Gapon em sistema Na-Ca. Na determinação desse coeficiente, em solos de diferente textura, as características de poder tampão e movimento de água no solo devem merecer especial consideração por sua influência na consecução do equilíbrio solo-solução.

## LITERATURA CITADA

- ALPEROVITCH, N.; SHAINBERG, I. & KEREN, R. Specific effect of Mg on the hydraulic conductivity of sodic soils. J. Soil Sci., 32: 543-545, 1981.
- ALPEROVITCH, N.; SHAINBERG, I. & RHOADES, J.D. Effect of mineral weathering on the response of sodic soils to exchangeable magnesium. Soil Sci. Soc. Am. J., 50: 901 - 904, 1986.
- ARORA, H.S. & COLEMAN, N.T. The influence of electrolyte concentration on flocculation of clay suspensions. Soil Sci., 127: 134-139, 1979.
- BESOAIN, E. Mineralogia de Arcillas de Suelos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 1216p. 1985.
- BOLT, G.H. Ion adsorption by clays. Soil Sci., 79: 267-276, 1955.
- BOLT, G.H. & PAGE, A.L. Ion exchange equations based on doublelayer theory. Soil Sci., 99: 357-361, 1965.
- BOWER, C.A. Cation exchange equilibria in soils affected by sodium salts. Soil Sci., 88: 32-35, 1959.
- BRESLER, E.; Mc NEAL, B.L. & CARTER, D.L. Saline and sodic soils. Principles - Dynamics - Modeling Springer - Verlag. Berlin Heidelberg. 236p. 1982.
- CARVALHO FILHO, R. Caracterização e gênese de três perfis de solos do Sudeste da Bahia. Estado da Bahia. Fortaleza. UFC. (Tese de Mestrado) 1981.
- COELHO, M.A. Aspectos da dinâmica da água em solos sódicos e salino-sódicos. Ciênc. Agron., 14: 61-68, 1983.
- COELHO, M.A. & FERREYRA, F.F.H. Characterization of salt affected soil in the semi-arid Region of NORTHEASTERN BRAZIL Turrialba, 36: 171-178, 1986.
- COELHO, M.A. Caracterização de solos com problemas de sais. In: Relatório de Pesquisas do Convênio CNPq/FCPC; Dessali

nização. Fortaleza, Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura. p. 20-35. 1981.

- ELSEEWI, A.A.; ELATAR, H.A.; DAOUD, A.M. Relationship between soluble and exchangeable sodium in some soils of the Nile delta an examination of the SAR concept. Soil Sci., 124: 249-254, 1977.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. 1979.
- EVANGELOU, V.P. & COALE, F.J. Dependence of the Gapon coefficient and on exchangeable sodium for mineralogically different soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 51: 68-72, 1987.
- FELHENDLER, R.; SHAINBERG, I. & FRENKEL, H. Dispersion and hydraulic conductivity of soils in mixed solution. Tras. of the 10th Intern. Cong. of. Soil Sci. (Moscow) In:103-112 Moscow Nauka Pub. House. 1974.
- FLETCHER, P.; SPOSITO, G. & LEVESQUE, C.S. Sodium-calcium - magnesium exchange reactions on a montmorillonitic soil. I. Binary exchange reactions. Soil Sci. Soc. Am. J., 48: 1016-1021, 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. Am. J., 42: 32-39, 1978.
- GOES, E.S. Problemas de salinidade e drenagem em projetos de irrigação do Nordeste e a ação da pesquisa com vistas a seu equacionamento Recife, MINTER/SUDENE, 20p.(Relatório) 1978.
- GUPTA, R.K.; BHUMBLA, D.K. & ABROL, I.P. Sodium-Calcium exchange equilibria in soils as affected by calcium carbonate and organic matter. Soil Sci., 138: 109-114, 1984.
- HUNSAKER, V.E. & PRATT, F.P. Calcium magnesium exchange equilibria in soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 35: 151-152, 1971.
- JURINAK, J.J.; AMRHEIN, C. & WAGENET, R.J. SODIC HAZARD: The effect of SAR and salinity in soils and overburden mate

- rials. Soil Sci. Soc. Am. J., 137: 152-159, 1984.
- KAPOR, A.K. & PAL, R. Predicting salinization and Sodification of a bare sandy loam soil after irrigation with poor - quality water interspersed with rain. Soil Sci., 141: 281-288, 1986.
- KINJO, T. & MARCOS, Z.Z. Adsorção de sódio em solos do Estado de São Paulo. Equilíbrio de troca catiônica entre sódio e cálcio. R. bras. Ci. Solo., 6: 78-82, 1982.
- KUNZE, G.W. Pretreatment for mineralogical analysis. In Black, C.A. et alii Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Inc. Publisher. Madison. Wisconsin. USA. 568-577, 1965.
- LAGERWEFF, J.V.; NAKAYAMA, F.S. & FRERE, M.H. Hydraulic conductivity related to porosity and swelling of soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33: 3-12, 1969.
- Mc NEAL, B.L.; NORVELL, W.A. & COLEMAN, N.T. Effect of solution composition on the swelling of extracted soil clays. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 30: 313-317, 1966.
- Mc NEAL, B.L. & COLEMAN, N.T. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 30: 308-312, 1966.
- Mc NEAL, B.L.; LAYFIELD, D.A.; NORVELL, W.A. & RHOADES, J.D. Factors influencing hydraulic conductivity of soils in the presence of mixed-salt solutions. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 32: 187-190, 1968.
- MOREIRA, E.G.S. Caracterização e gênese de três pedons de solonetz solodizado do sertão central do médio Jaguaribe. Estado de Ceará. Piracicaba. ESALQ/USP. 83p. (Tese de Doutorado), 1979.
- NAGHSHINEH-POUR, B.; KUNZE, G.W.; CARSON, C.D. The effect of electrolyte composition on hydraulic conductivity of certain Texas soils. Soil Sci., 110: 124-127, 1970.
- OSTER, J.D. & SPOSITO, G. The Gapon coefficient and the exchangeable sodium percentage sodium adsorption ratio relation. Soil Sci. Soc. Am. J., 44: 258-260, 1980.
- PAL, R. & POONIA, S.R. Predictive approaches for cation exchange equilibria in soils J. Sci. Ind. Res., 37: 134-143, 1978.

- PALIWAL, K.V. & GANDHI, A.P. Effect of salinity, SAR, Ca:Mg ratio in irrigation water, and soil texture on the predictability of exchangeable sodium percentage. Soil Sci., 122: 85-90, 1976.
- PEREIRA, F.A.M.; MEDINA, B.F.; GHEYI, H.R. & ETCHEVERS, J.D. Solos afetados por sais no Nordeste. Correlação entre sódio solúvel e intercambiável. R. bras. Ci. Solo, 6:167-170, 1982.
- PEREIRA, J. R. Solos salinos e sódicos. In: RAIJ, B. van; BAGLIA, O.C. & SILVA, N.N. da (Coordenadores). Acidez e calagem no Brasil. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 127-143, 1983.
- POLEMIO, M. & RHOADES, J.D. Determining cation exchange capacity. A new procedure for calcareous and gypsiferous soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 41: 524-527, 1977.
- POTTER, R.O. & KAMP, N. Argilo-minerais e óxidos de ferro em cambissolos e latossolos sob regime climático térmico údico. R. bras. Ci. Solo. 5: 153-159, 1981.
- PRATT, P.F.; WHITTIG, L.D. & GROVER, B.L. Effect of pH on the sodium-calcium exchange equilibria in soils. Soil Sci Soc. Am. Proc., 26: 227-230, 1962.
- PUPIISKY, H. & SHAINBERG, I. Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil. Soil Sci. Soc. Am. 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.
- REEVE, R.C. & TAMADDONI, G.H. Effect of electrolyte concentration on laboratory permeability and field intake rate a sodic. Soil Sci., 99: 261-266, 1965.
- RHOADES, J.D. Leaching requirement for exchangeable sodium control. Soil Sci. Soc. Am. J., 32: 652-656, 1968.
- RHOADES, J.D. & INGVALSON, R.D. Macroscopic swelling and hydraulic conductivity properties of four vermiculite soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33: 364-369, 1969.
- SHAINBERG, I.; BRESLER, E.; KLAUSNER, Y. Studies on Na/Ca montmorillonite systems. The swelling pressures. Soil Science, 111: 214-219, 1971.

- SHAINBERG, I.; OSTER, J.D.; WOOD, J.D. Sodium/Calcium exchange in montmorillonite and illite suspensions. Soil Sci. Soc. Amer. J. 44: 960-964, 1980.
- SHAINBERG, I.; RHOADES, J.D. & PRATHER, R.J. 1a Effect of low electrolyte concentration on clay dispersion and hydraulic conductivity of sodic soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 41:287-291, 1981a.
- SHAINBERG, I.; RHOADES, J.D. & PRATER, R.J. Effect of mineral weathering on clay dispersion and hydraulic conductivity of sodic soil. Soil Sci. Soc. Amer. J. 45: 287-291, 1981b.
- SHAINBERG, I. & LETEY, J. Response of soils to sodic and saline conditions. Hilgardia. 52: 1-59, 1984.
- SPOSITO, T. & MATTIGOD, S.V. On the chemical foundation of the sodium adsorption ratio. Soil Sci. Soc. Amer. J. 41: 323-329, 1977.
- SPOSITO, G. The Gapon and Vanselow reactivity coefficients. Soil Sci Soc. Amer. J. 41: 1205-1206, 1977.
- THOMAS, G.W. & YARON, B. Adsorption of sodium from irrigation water by four Texas soils. Soil. Sci. 106:213- 219, 1968.
- U.S. SALINITY LABORATORY STAFF. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook 60p. USDA, Washington, D.C. 1954.