

FOL  
03918

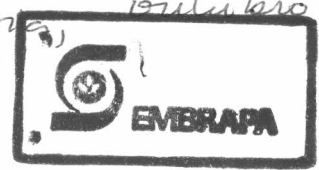
CPATSA/EMBRAPA

DOCUMENTO INTERNO

SOLOS SALINOS : diagnóstico e recuperação

Carlos R. Valdivieso S. SALAZAR,  
Consultor - IICA

Trabalho apresentado no  
II Curso sobre Métodos de  
Petrolina-Pernambuco Pesquisa ao nível  
de Produtor  
Agosto, 1983  
Petrolina, outubro/84



49901

# SOLOS SALINOS : diagnóstico e recuperação

## CONTEÚDO

- 1 - INTRODUÇÃO
- 2 - GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA
- 3 - ORIGEM E FORMAÇÃO
- 4 - TIPO DE SAIS E SOLUBILIDADE
- 5 - DISTRIBUIÇÃO
- 6 - EFEITOS DOS SAIS E RESPOSTA DAS PLANTAS
- 7 - CARACTERIZAÇÃO
  - 7.1. ASPECTO FÍSICO DOS SOLOS
  - 7.2. VEGETAÇÃO ESPONTÂNEA
  - 7.3. ANÁLISE QUÍMICA
- 8 - MAPEAMENTO E PESQUISA
- 9 - CLASSIFICAÇÃO
  - 9.1. DE SOLOS
  - 9.2. DE ÁGUAS
- 10 - RECUPERAÇÃO
  - 10.1. LAVAGEM - BALANÇO DE ÁGUA E SAIS
  - 10.2. MELHORADORES QUÍMICOS

## 1 - INTRODUÇÃO

Salinidade e alcalinidade são problemas inerentes a solos em regiões de clima árido e semi-árido principalmente, áreas climatologicamente secas caracterizadas por fortes déficits anuais de precipitação (Evaporação anual - Precipitação anual).

Esses solos áridos são de muita importância pela fertilidade natural de uma boa porção deles e pela sua significação em superfície cultivável, 36% do total no mundo (Meester, 1979), em relação à sua potencialidade de irrigação.

## 2 - GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

O problema de salinidade de uma região está intimamente ligado a sua geologia e geomorfologia.

À geologia em função dos tipos de rochas das quais os solos são provenientes através do processo de intemperização da rocha, erosão, transporte e deposição.

Rochas ácidas exemplo granito e gneiss liberam cloretos, sulfatos e carbonatos de sódio e potássio (formações de cristalino do NE do Brasil).

Rochas básicas como basalto, liberam sulfatos e carbonatos de cálcio e magnésio.

À geomorfologia, em relação às formas que condicionam regimes hidrológicos diferentes, caracterizados principalmente por topografia e drenagem.

As formações típicas ligadas ao problema de sais são:

- . Planos de inundação dos rios, geralmente com solos de textura fina, baixos em altitude e de drenagem restrita. Fig. 1a.

. "Abanicos" (leque) aluviais. Neles a tendência geral é a deposição de materiais grossos na parte alta ou ápice do "abanico" e os materiais finos nas partes baixas e planas. Mas a forma irregular de depósito, dos materiais (ex. camada impermeável se aproximando à superfície na base de "abanico") determinará condições de drenagem restrita que pode dar origem à salinização. Fig. 1b.

. Deltas - Formação similar ao "abanico" aluvial, do rio que chegando ao mar perde energia e deposita seus sedimentos finos floculados pelos sais marinhos (de Ridder, 1971). Problemas de água subterrânea confinada e de intrusão marinha. Fig. 2.

### 3 - ORIGEM E FORMAÇÃO DE SOLOS SALINOS E SÓDICOS

Como mencionado anteriormente os problemas de salinidade, alcalinidade e toxicidade são típicos de solos em regiões de clima árido e semi-árido.

Solos Salinos: os quais tem um alto conteúdo de sais solúveis de cloreto e sulfato, principalmente. As fontes dos sais são:

- . Liberação de íons na intemperização da rocha parental e posteriormente transportado e depositado em camadas de solo (origem pedogenético ou residual).
- . Transporte eólico desde outras áreas salinas ou dos sais pulverizadas do mar.
- . A irrigação, importante para a produção em áreas áridas ou semi-áridas, também contribui à salinização dos solos. O seguinte exemplo ajuda a visualizar este caso: Dez mil metros cúbicos de água com 100 mgr/lt de concentração salina, aplicados como irrigação por hectare anualmente ( $10.000\text{m}^3/\text{ha-ano}$ ) significam um suprimento de 1 ton de sal p/ha-ano.

Águas normais de irrigação são as de concentração de 0,2 - 0,3 g/l mas dependendo do caso podem ser usadas águas de até 2g/l ou ainda 6g/lt. (Kovda, 1977).

- Água subterrânea de mineralização natural crítica ou lençol freático alto originado por irrigação ineficiente pode atingir a zona de raízes por capilaridade e como consequência da evaporação acumular sais nas camadas superiores do perfil do solo (salinização secundária). O seguinte exemplo ilustra o perigo de salinização a partir do lençol freático: Água freática de CE = 1.0 mmhos/cm (= 640 mg/l) a 0.8 m de profundidade facilitará uma evaporação de 1 à 2 mm/d (Fig. 6) alimentada por capilaridade o que significa um incremento de  $\frac{(2 \text{ mm}}{\text{d}} \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{mm}} \times \frac{360 \text{ d}}{\text{ano}} \times 640 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 10^3 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} \times 10^{-9} \frac{\text{ton}}{\text{mg}} \times 10^4 \frac{\text{m}^2}{\text{ha}} = 4,61 \frac{\text{ton}}{\text{ha} - \text{ano}}$

Um lençol freático alto pode também ser criado por "Seepage" ou fluxo de água subterrânea desde pontos de nível piezométrico superior: canal, açude ou área vizinha irrigada etc, e a origem dos sais pode ser da água ou do solo (camadas profundas).

Solos Sódicos: cujo alto sódio (trocável) adsorvido afeta direta ou indiretamente o crescimento das plantas, tem como fonte da sua formação nas águas subterrâneas ou superficiais que contém carbonatos e bicarbonatos de sódio.

As soluções de soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), origem de alcalinidade, são formadas pela hidrólise de minerais alumínio-silicatos de sódio durante a intemperização de rochas vulcânicas, a culminação do processo de alcalinização é também residual ou secundário.

Desalinização na ausência de cátions bivalentes é considerada também uma fonte de sodificação (ou alcalinização) dos solos.

#### 4 - TIPOS DE SAIS E SOLUBILIDADE

A continuação listam-se os sais mais comumente encontrados repartidos em duas colunas segundo se a solubilidade é alta ou baixa pela sua relação com o efeito nas plantas e a mobilidade do sal no perfil do solo.

A solubilidade dos sais depende da temperatura e da presença de outros sais na solução do solo, aqui figuram só valores médios a 20°C.

Sais de Baixa Solubilidade		-	de Alta Solubilidade	
CaCO <sub>3</sub>	0,0121 g/l		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	178 g/l
MgCO <sub>3</sub>	muito variável		MgSO <sub>4</sub>	262
CaSO <sub>4</sub>	1.9		Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	186 (*)
			MgCl <sub>2</sub>	353
			NaCl	264
			CaCl <sub>2</sub>	450

Obtidos de T. Meester 1979 except (\*)

#### 5 - DISTRIBUIÇÃO DOS SAIS

Os sais movimentam-se com a umidade do solo proveniente da chuva, irrigação ou fluxos subterrâneos (Seepage). São características físicas importantes dos solos na distribuição dos sais, a infiltração e a ascensão capilar.

##### Distribuição Vertical

O movimento da umidade do solo é predominantemente vertical ascendente ou descendente. Ascendente quando predomina a ascensão capilar geralmente nos intervalos de rega ou solos sem irrigação e Descendente quando predomina a infiltração de águas de irrigação ou chuva. Estes movimentos de água condiciona a distribuição

de sais no perfil do solo dos representados nas Figuras Nº 3.

#### Distribuição Horizontal

Devido à heterogeneidade dos solos e à anisotropia comumente encontrada em depósitos aluviais, manifestam-se também grandes variações a curtas distâncias.

Localizam-se maiores concentrações nas depressões em terrenos com micro-relevo, precisando eles da sistematização.

São comuns também as manchas localizadas de solos salinos onde intervêm como fator determinante o manejo a nível de proprietário.

#### 6 - EFEITO DOS SAIS E RESPOSTA DAS PLANTAS

Efeito dos sais nas plantas - Caracterizam-se como segue:

- . Efeito osmótico - Um aumento da pressão osmótica diminui a disponibilidade de água. Em iguais condições de umidade no mesmo solo, a planta terá que fazer maior esforço para obter água onde a concentração salina for maior. Logicamente o suprimento de nutrientes (através da água) vê-se limitado também.

A redução da água diminui o crescimento (efeito hormonal) e interfere no metabolismo reduzindo a fotossíntese ( Meiri and Shalhevet, 1973).

- . Efeito de íons específicos - Geralmente com danos às células e citoplasma. Íons sódio e cloreto são absorvidos pelas plantas e depositadas nas folhas e tecidos do que produzirá queimaduras e desprendimento (queda) das folhas.

O boro é também um íon tóxico, achado geralmente em áreas de cinzas vulcânicas.

Sódio (adsorvido) trocável pode causar desordens nutricionais no entanto o maior efeito pode ser indireto por limi-

tações de solo criadas pelo sódio.

Efeito dos sais no solo - Em solos afetados por sais o sódio trocável pode figurar em grandes percentagens, produzindo um rearranjo das partículas de argila que favorece a peptização das partículas do solo e a conseqüente deteriorização da estrutura, vindo posteriormente a formar uma massa dura, compacta, impermeável a água e impenetrável pelas raízes : alcalinização.

O sódio, cátion monovalente, adsorvido expande a dupla capa difusa (campo elétrico e de distribuição de íons entre a partícula de solo e o ponto da solução do solo de equilíbrio entre as partículas de solo e tornando a estrutura instável.

Diferentes tipos de sais tem efeito diferente, assim carbonatos de magnésio tem reação alcalina, de efeitos similares ao sódio adsorvido. Uma concentração de 0.1% (1 mg/lt) de NaCl na solução do solo é já prejudicial às plantas em tanto que nos solos pode-se ter até 25 mg/lt.

O efeito de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pode ser anulado pelo gesso normalmente presente nos solos de regiões áridas.

Respostas das plantas - A resposta das plantas à salinidade é medida na sua tolerância ou sensibilidade. A tolerância das culturas aos sais depende do estado de crescimento, da espécie e variedade, níveis nutricionais, práticas de irrigação e fatores ambientais.

O desenvolvimento das culturas começa a ser afetado (crescimento detido) acima de um valor crítico de concentração de sais mas, geralmente a germinação (e floração) são os estados de crescimento mais sensíveis (Hoffman G.J. et al, 1980).

A tolerância das culturas pode ser avaliada segundo os seguintes critérios (Leon Bernstein, 1974):

- . Capacidade da cultura para sobreviver num solo salino
- . Produtividade



No entanto os resultados obtidos (laboratório e campos experimentais) são sumamente relativos e de caráter local. A informação encontrada na bibliografia internacional é uma boa indicação a se extrapolar na ausência de trabalhos locais.

Fig. 8 representa os níveis de salinidade produzindo uma redução de 10, 25 e 50% da produtividade (relativa de algumas culturas).

Hoffman propõe um quadro de locação de culturas segundo a resposta a níveis de salinidade dividindo estes em níveis de sensibilidade e tolerância : níveis de salinidade para culturas sensíveis, moderadamente sensíveis, moderadamente tolerantes, tolerantes e inapropriado para qualquer cultura (Fig. 9).

## 7 - CARACTERIZAÇÃO

Os sais ou as áreas com solos afetados por sais podem ser caracterizados por observações de campo e por determinações analíticas de laboratório.

### 7.1. Aspecto Físico dos Solos :

Aspecto, consistência e cor mostram fatos típicos eloquentes tais como : costras ou só manchas brancas, na superfície, no caso de sais solúveis (NaCl principalmente). A cor pode, mudar a escuro quando associado à peptização de matéria orgânica.

Sais de sulfato de sódio caracterizam-se pelo seu aspecto fofo.

Sais higroscópicos como cloretos de cálcio e magnésio, em condições de umidade relativa do ar alta, mostram um aspecto de lama formada de uma mistura de solo e sais.

A presença de sódio trocável pode-se diagnosticar pela camada superior de solo solto sem estrutura como pó inerte quando seco e consistência de lama, escorregadiça como sabão

quando úmida.

Embaixo solo duro sem estrutura, compacto.

Nas paredes de uma trincheira formará uma pseudo-estrutura bloco (rect.) angular tetraédrica.

## 7.2. Vegetação Espontânea :

Conhecem-se poucas tentativas de caracterização dos solos salinos e sódicos pela vegetação nativa existente. Distingue-se no entanto vegetação do tipo hidrofítica ou freatofitas achadas indistintamente em solos normais e solos salinos; elas são de sistema radicular profundo e fornecem-se de água proveniente de estratos profundos. Entre a vegetação arbórea os mais comuns nas áreas áridas do Peru (SUDRET, 1974) são da família das mimosáceas, acacia macracantha.

A vegetação arbustiva pode atingir até 2 m ou mais em solos normais enquanto que em solos afetados com problemas de sais, só 0,4 a 0,5 m. As espécies mais comuns no norte do Peru citada por SUDRET 1974 são a vallesia dichotoma; o cryptocarpus piriformis e o cappris ovalipolia, das famílias das solanácias principalmente.

Mais comuns em solos salinos fortemente afetados são as halofitas de tipo herbáceo. Citadas por SUDRET, 1974 no norte do Peru e por Dodde Coupland, 1966 no Canadá como representativas são a salicornia (fruticosa ou rubra, respectivamente) da família das chenopiáceas e o Distichlis (spicata ou stricta respectivamente). Merecem menção também a caracterização vegetativa de solos salinos, de indicadores de salinidade, em Richards, (1969).

## 7.3. Análise Química e Definição de Unidades

7.3.1- Concentração do estrato de saturação (Ces).- medida no estrato da pasta de solo saturado ou em solos aquosas de proporções 1:1; 2:1; 2.5:1 ou 5:1. A concentração é exprimida em em gramas de sal por litro (g/l), partes por milhão, (ppm) percentagem (%), miliequivalentes por litro (meq/l) ou

por unidade de peso de solo (ex 100 gr.). Expressida por unidade de volume ou peso de soluto, as equivalencias das unidades mencionadas são:

$$\begin{aligned} \text{gr/lt} &= 10^3 \text{ ppm} \\ \% &= 10^4 \text{ ppm} \\ \text{ppm} &= (\text{meq/lt}) \text{ (peso equivalente)} \end{aligned}$$

Expressos por peso de solo, fazer-se-ã a conversão auxiliados do valor necessariamente conhecido do conteúdo de umidade utilizada na solução.

Outro médio de medida muito usado é a condutividade elétrica, recíproco da resistência elétrica cuja unidade de medida é o mho, recíproco do ohm (resistência elétrica). Também é chamado siemen. As equivalências com as unidades anteriores podem-se deduzir a partir da seguinte:

$$\text{CE} \times 10^6 = \frac{\text{ppm}^*}{064}$$

7.3.2- Cátions e ânions solúveis.- Cátions :  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ . principalmente  
Ânions :  $\text{CO}_3^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  expressos em miliequivalentes por litro.

7.3.3- Cátions adsorvidos (trocáveis) ao complexo sortivo.  
 $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , expresso em meq/100 gr.

7.3.4- Capacidade de troca de cátions CTC (meq/100 gr).

7.3.5- pH.

Os valores de Percentagem de sódio trocável, PST, do complexo solo são calculados facilmente tendo o resultado das determinações 7.3.3 e 7.3.4 mas as vezes omite-se estas análises

\* Chamado também total de sais solúveis TSS.  
 $\text{CE} \times 10^6 =$  Condutividade elétrica expressa em micro mho.

e opta-se por uma aproximação a partir da Relação de Adsorção de Sódio, RAS, da Solução do Solo.

A seguinte relação de PST foi determinada por Richards (1959) para o oeste dos Estados Unidos.

$$ESP = \frac{100 (- 00126 + 001475 RAS)}{1 + (- 00126 + 001475 RAS)}$$

A expressão da relação de adsorção de sódio e:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}$$

íons expressos em meq/lt.

## 8 - MAPEAMENTO E PESQUISA

8.1. Mapeamento - Devido ao caráter localizado de manchas salinas em alguns casos e da não uniforme distribuição de sais pode-se pensar num mapeamento de campo muito denso que resultaria oneroso de mais e irrealizável desde o ponto de vista funcional.

Aceita-se uma densidade de pontos de amostramento de 1 cada 250 m. onde devem-se coletar amostras de solo de níveis diferentes ex: 0-15, 15-30, 30-50 e 60-90 cm.

As observações podem ser planificadas em redes uniformes, quadrículas variando a densidade segundo previa interpretação de campo ou fotografia aérea.

Em todas as amostras, CE e pH é medido. Uma parcela das amostras, selecionadas criteriosamente (não mais de 60%), servem para determinação de cátions adsorvidos e/ou cátions e ânions solúveis.

A apresentação destes resultados deve ser feita em:

- mapas de salinidade (CE) da camada superior e de TSS do perfil (zona de raízes) por zonificação com faixas de salinidade ou grau de afetação tendo em conta o tipo de culturas; profundidade de raízes e tolerância.

- mapas de alcalinidade (PST) e/ou de íons tóxicos pre dominantes. Ex.: Cl.
- perfis de salinidade em áreas problema.

8.2. Pesquisa - Os problemas de salinidade devem ser, para o seu estudo, enfocados a nível regional ou de bacia hidrológica e a nível zonal ou local (área afetada).

- . A nível de bacia pelas possíveis ligações com a hidrologia e a geomorfologia dela para explicar a fonte do problema e melhor procurar alternativas de solução.
- . A nível de área afetada, as linhas de pesquisa estarão orientadas : à adaptação e manejo de condições de salinidade atual aceita e/ou controlada e à mudança a condições melhoradas (recuperação).

Na primeira linha de pesquisa destacam-se como aspectos importantes de estudo :

- Sensibilidade ou tolerância das culturas em diferentes estágios de crescimento.
- Relação ou efeito de sais presentes na redução da produtividade (quantificação do dano a diferentes níveis de salinidade).
- Adaptação de culturas resistentes.
- Práticas de manejo de águas solo e planta, manejos culturais (incl. irrigação, fertilização, etc).

Na linha de pesquisas para melhoramento ou recuperação, são requeridas:

- testes de lavagem de sais
- aplicação de corretivos
- drenagem

Os trabalhos de pesquisa referidos podem, segundo a conveniência, ser realizados a nível de:

- laboratório, casas de vegetação ou em potes.
- campos experimentais de 500 m<sup>2</sup> ou áreas piloto de recuperação, de arredor de 15 ha.
- campos ao acaso manejados por produtores e distribuídos na região cobrindo as variáveis ou parâmetros requeridos.

Em alguns casos pode-se criar condições iniciais ótimas requeridas de forma artificial : salinização em blocos de 2 x 2 ou 5 x 5 m.

A produtividade que é o parâmetro de avaliação nestes trabalhos de pesquisa, é função de muitas variáveis : solo, textura, estrutura, profundidade, salinidade, sódio, pH, profundida de do lençol, culturas, variedades, fertilidade, etc., que devem ser reduzidos (condições controladas) para obter resultados significativos.

O trabalho de pesquisa de recuperação (métodos, materiais, tecnologias etc) em áreas piloto devem ser consideradas uma etapa absolutamente necessária antes da recuperação a escala maior.

## 9 - CLASSIFICAÇÃO

### 9.1. De Solos:

9.1.1- Sistema Taxonômico do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Meester, 1979).

Orden : Aridisolos, aqueles de regime de umidade tórrico seco e quente mas pode ser também xérico ou ústico, isto é, solos de regiões com inverno úmido e temperado e verão quente e seco.

Suborden Argids, caracterizados por apresentarem horizontes argílicos ou nâtrico.

São grandes grupos de solos desta subordem : os Durargids, Paleargids, Natrargids e Haplargids.

Suborden Orthids, sem horizonte argílico ou nâtrico mas manifestando a presença de horizonte cálcico, gipsífero, cambico (mo-teadura, iluvição, no cementado).

#### 9.1.2- Sétima aproximação :

Orden : Solos intrazonais, solos de características regularmente bem desenvolvidas e que refletem a influência dominante de fatores locais de relevo, rocha mãe, ou idade, além do efeito normal de clima e vegetação.

Suborden : Halomórfico - Solos salinos e alcalinos de drenagem imperfeito de regiões áridas e depósitos litorais.

Grande grupo : Solonchak - Solos com crosta salina na superfície, solo cinza friável, salino embaixo formado sob condições áridas a sub-úmidas, quente a fresco, drenagem pobre e com vegetação arbustiva e grama halofítica principalmente.

Grande grupo : Solonetz - Com camada superior fina friável em cima de uma camada dura columnar, escura, altamente alcalina formada sob condições sub-úmidas a áridas, clima quente ou fresco, de melhor drenagem que nos solonchaks, e com vegetação nativa halofítica.

Grande grupo : Solod.

Problemas de sais são também achados nos mullisols (solos bruno humicos), entisols, inceptisols (frequentemente aluviais hydromorficos) e alfisols.

### 9.1.3- Classificação de graus de salinidade :

Segundo Richards (1969) :

Solos	CE	PST	pH
Normais	< 4 mmho/cm	< 15	< 8.5
Salinos	> 4	< 15	< 8.5
Salino-Sódicos	> 4	> 15	< 8.5
Sódicos	< 4	> 15	> 8.5

Na realidade, os limites de uma classe a outra dependem de condições locais de solo, cultura, variedade e clima.

### 9.2. Classificação de Águas para Irrigação

Águas de irrigação superficiais ou subterrâneas, águas do lençol freático etc são classificadas segundo o sistema do laboratório de salinidade dos Estados Unidos, Richards L.A. 1969.

Como mostrado na Fig. 10 os parâmetros de classificação são a condutividade elétrica, CE, e a relação de adsorção de sódio RAS. Cada um destes parâmetros divididos em quatro regiões de níveis baixo, médio, alto e muito alto.

A classificação é expressa como segue:  $C_xS_y$  os sub-índices x e y variando de 1 a 4. As 16 combinações possíveis estão representadas na Fig. 10.

Águas de mais de 2000 micromho ( $C_3$ ) é considerada salina e o seu uso é condicionado a condições especiais : necessidades de práticas de controle de salinidade (excesso de água para lavagem) e com culturas tolerantes.

Os níveis prejudiciais de sódio estão em relação à permeabilidade dos solos (textura, estrutura), à capacidade de troca de cátions e à presença ou não de gesso no solo. Níveis de



RAS acima de 10 s $\tilde{o}$  podem ser usadas em solos de textura grossa ou em solos orgânicos de boa permeabilidade Richards L.A. 1969.

As águas da maioria dos açudes do NE do Brasil, são C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>.

## 10 - RECUPERAÇÃO

Meester 1979 agrupa os meios de recuperação de solos salinos e sódicos em:

- meios físicos : aração profunda, subsolagem e inversão de perfil - medidas adotadas com a finalidade de melhorar as condições de infiltração e permeabilidade dos solos.
- meios biológicos : adição de matéria orgânica com o fim de promover e/ou intensificar a atividade biológica que permita desenvolver uma melhor estrutura de solo.
- meios químicos : adição de corretivos químicos para trocar o sódio adsorvido por íons de Ca.
- meios hidrotécnicos : estes meios implicam lavagem dos sais solúveis do perfil do solo e a sua evacuação por drenagem.

garantizar-se-á uma ação mais efetiva com a combinação adequada dos meios mencionados.

10.1. Lavagem : Consegu-se com a aplicação de um excesso de água de irrigação que deve percolar através do perfil do solo, dissolver os sais e transportá-los a camadas mais profundas para serem evacuados por um sistema de drenagem.

O perfil do solo, especificamente a zona a dessalinizar de nosso interesse, deve primeiro saturar para percolar.

A difusão molecular e a dispersão são os fenômenos reconhecidos de importância na efetividade da umidade do solo no processo de dessalinização. A difusão molecular ocorre na fronteira entre duas soluções de diferentes concentrações e a dis-

persão é a mistura das soluções causada pela distribuição irregular de velocidades de fluxo das soluções devida à heterogeneidade do meio (distribuição de poros do solo). A combinação dos dois fenômenos chama-se deslocamento miscível (van der Molen, 1976).

O método de aplicação de água com fins de lavagem mais usado é de inundação embora alguns autores tenham provado uma maior efetividade com aspersão. Quando o nível de sais de solo o permita é conveniente incluir no programa de lavagem uma cultura que aceite as condições de excessos de água e sais para ter um lucro que faça a etapa de recuperação mais econômica. O arroz por exemplo é uma cultura apropriada para a recuperação de solos salinos, especificamente solos de textura fina.

#### Modelos de Lavagem :

Importante é determinar a quantidade de água necessária e o tempo requerido para a lavagem ou dessalinização de um perfil. Isto tem sido estudado com proposição de modelos teóricos baseados em fórmulas matemáticas que aproxima ou explicam o processo. Os modelos discutidos por van der Molen 1974 são:

- O reservatório simples que assume um deslocamento tipo piston da solução do solo pelo excesso de irrigação.
- O reservatório simples com bypass. O bypass representando a água que passa pelas grietas diretamente a incrementar as águas subterrâneas sem contribuir na lavagem.
- Reservatórios em série. Cada reservatório assemelha do uma camada de solos.
- Coluna contínua que integra os reservatórios ou camadas de solo analisando-os como um todo.

O desenvolvimento matemático dos modelos podem ser es-

tudados na mencionada referência bibliográfica (van de Molen, 1974).

Eficiência de lavagem - Lógicamente não toda a água aplicada contribuirá à lavagem dos sais. Uma porção das águas percoladas irão diretamente às águas subterrâneas pelas grietas. A eficiência de lavagem, é então a fracção (percentagem) da água de irrigação que se mistura com a solução do solo. Si  $C_r$  é a concentração da água de percolação:

$$C_r = C_{fc} \text{ (concentração da unidade do solo a capacidade de campo)}$$

introduzindo a eficiência de lavagem:

$$C_r = fC_{fc} + (1 - f)C_i$$

#### Testes de Lavagem :

Mais efetivo e recomendável é a determinação dos volumes necessários e o tempo requerido de lavagem mediante testes diretos e locais de lavagem que mostrarão diretamente e em condições reais as dificuldades a encontrar e a eficiência de lavagem. Esses testes podem ser feitos em campos representativos de solos e grau de afetação. Os campos podem ser de 20 x 50 m ou 50 x 100 m. Nesses campos deve-se:

- medir as quantidades de água de entrada e saída.
- fazer determinações analítico-químicas do perfil antes, durante e depois do processo de lavagem.
- com a ajuda de piezômetros "observar" as condições de fluxo no perfil durante a lavagem.

Curvas de lavagem - Os resultados dos testes de lavagem mostram a dessalinização desde um valor inicial de  $C_{eo}$  a um valor final de  $C_{ef}$  em função da quantidade de água efetiva de lavagem na profundidade de solo requerido.

Os valores de  $C$  (ou  $CE$ ) devem ser corrigidos por um fator constante (nível de equilíbrio de sais) que depende princi -

palmente da qualidade de água de irrigação, para obter curvas de dependentes exclusivamente das condições de solo. Fig. 11 mostra alguns exemplos de curvas de lavagem para diferentes tipos de solo obtidos de Hülsbos e Boumans 1963 e Alva et al 1976.

Desta maneira, curvas de lavagem pode-se obter a quantidade de água requerida para baixar a salinidade a um nível requerido que depende das culturas a se implantarem, e segundo os limites de percolação, eficiência de lavagem e um padrão ou programa de lavagem e culturas pode-se determinar o tempo necessário para atingir os níveis de recuperação procurados.

Requerimento de lavagem - Porção da água de irrigação necessário para manter equilíbrio de sais. Pode-se calcular analiticamente com um balanço de águas e sais no perfil do solo (zona de raízes).

$$\text{balanço de água : } I + P + G = E + R + \Delta W$$

$$\text{balanço de sais : } IC_i + PC_p + GC_g = RC_r + \Delta Z$$

I = quantidade de água de irrigação

P = precipitação efetiva

G = capilaridade

E = evapotranspiração

R = percolação

$\Delta W$  = mudança na quantidade de água armazenada no perfil.

C = concentração dos sais nas águas de irrigação,  $i$ , de chuva,  $p$ ; de capilaridade,  $g$ ; de percolação,  $r$ .

A equação de balanço de água muda, para períodos longos de análises (um ano), a

$$I + P = E + R \quad (2)$$

onde  $R^* = R - G =$  Requerimento de lavagem.

Aceitando que a concentração salina das águas de chuva é zero, ademais para condições de equilíbrio

$$\begin{aligned} C_g &= C_r ; \text{ e } \Delta Z \cong 0, \text{ então} \\ IC_i &= R C_r \end{aligned} \quad (3)$$

Resolvendo (2) e (3) equações simultâneas obtêm-se :

$$R = (E - P) \frac{Ci}{Cr - Ci}$$

Substituindo Cr de (1).

$$R = (E - P) \frac{Ci}{f (Cfc - Ci)}$$

Muito usado também é o termo fração de lavagem derivado exclusivamente da equação (3).

$$FL = \frac{I}{R} = \frac{Cr}{Ci}$$

FAO, 1976 mostra resultados de experiências representadas na Fig. 12 : Perfis de salinidade após a lavagem com diferentes frações de lavagem e uma água de irrigação de 1.0 mmho/cm.

10.2. Melhoradores Químicos : Corretivos adicionados ao solo para trocar o sódio (monovalente) adsorvido por íons de cálcio (bivalente).

Entre outros conhecem-se:

- . Sais solúveis de Ca : cloreto de Ca ( $CaCl_2$ ); gesso ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) e cal ( $CaCO_3$ ) obtido de resíduos industriais das usinas de cana-de-açúcar.
- . Substâncias formadoras de ácidos como o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) ; enxofre (S) ; sulfato de ferro ( $FeSO_4$ ).

De todos eles o mais usado é o gesso, ele é econômico e fácil de conseguir.

Cálculo de gesso requerido:

$$S = \frac{PSTa - PSTf}{100} \times CTC \times Z \times b \times 86.1$$

S = gesso requerido em kg/ha.

PSTa = percentagem de sódio trocável atual  
 PSTf = percentagem de sódio trocável final requerido  
 CTC = capacidade de troca de cátions meq/100 gr  
 Z = profundidade de solo (10 à 30 cm)  
 b = densidade aparente em g/cm<sup>3</sup>  
 86.1 = peso equivalente do gesso mg/meq

A seguinte análise dimensional esclarece as unidades de cálculo usadas na fórmula anterior de cálculo de gesso requerido para baixar a PST de um nível PSTa à PSTf em Z cm de profundidade de um solo de b (g/cm<sup>3</sup>) de densidade aparente :

$$\frac{\text{meq}}{100\text{g}} \times \text{cm} \times \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{\text{mg}}{\text{meq}} = \frac{\text{mg}}{100 \text{ cm}^2} = \frac{10^{-6} \text{ kg}}{100 \times 10^{-8} \text{ ha}}$$

= kg/ha.

As quantidades aplicadas podem ser fracionadas para evitar excessos inefetivos tendo em consideração a solubilidade limitada do gesso. Ex.: 20 T/ha de gesso requerirá 10,000 m<sup>3</sup> de água para dissolver.

A Figura 13 mostra a variação da composição catiônica na zona de raízes em um solo argiloso salino-sódico recuperado com a percolação de 17,000 m<sup>3</sup> de água e 24 ton/ha de gesso (16 ton/ha antes da lavagem e 8 ton/ha depois).

O método de lavagem considera em geral práticas como a sistematização, subsolagem, aplicação de corretivo (gesso), lavagem por inundação de bacias de 5000 m<sup>2</sup> com 5-7 cm de lâmina de água por períodos de arredor de 30 dias.

Um sistema de drenagem subterrâneo artificial permitirá evacuar as águas de lavagem depois delas cumprirem a sua função e manter um nível máximo de lençol freático que não afete as culturas nem facilite a acumulação de sais.

## BIBLIOGRAFIA

- Alva, C.A.; et al, 1976. Problemas de Drenaje y salinidad en la Costa Peruana. Bull 16 ILRI Wageningen - Holanda.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W., 1976. Water quality for agriculture FAO Irrigation and Drainage paper Nº 29. Rome.
- Bernstein, L.; 1974. Crop growth and salinity Em: Drainage for agriculture Ed Jan van Schilfgaarde Agronomy 17. Am Soc. Agronomy USA.
- Dodd, J.D.; Coupland, R.T., 1966. Vegetation of Saline areas in Saskatchewan. Ecology 47, p. 958-964.
- FAO/UNESCO, 1973. Irrigation, Drainage and Salinity Ed Kovda , V. et al.
- Hoffman, G.J. et al. 1980. Salinity in irrigated agriculture In: Design and opration of farm irrigation systems Ed by: M.E. Jensen.
- Hulsbos, W.; Boumans, J., 1963. Reclamation of salt affected soils in Iraq. ILRI Pub. Nº 11. Wageningen - Holanda.
- Koyda, V.A., 1977. Arid Land Irrigation and Soil Fertility : Problems of salinity, alkalinity, compaction. En: arid land Irrigation in developing countries Environmental problems and effects. Ed by E. Barton Worthington - Egypt.
- Meester, T., 1979. Arid, Saline and Sodic Soils Lecture Notes M.Sc. Course Wageningen - Holanda.

Meiri, A.; Shalhevet, J. 1973. Crop growth under saline conditions. En: Arid Zone Irrigation Ed: B yaron, E Danfors and Y Vaadia - Berlin.

Meiri, A.; Levy, R. 1973. Evaluation of Salinity in Soils and Plants. En: Arid Zone Irrigation Ed: B yaron; E Danfors e Y Vaadia - Berlin.

Molen, v.d. W.H.; van Hoorn, J.W. 1976. The salt balance and leaching requirement of irrigated soils XV International Course on Land Drainage - Wageningen - Holanda.

Ridder, N.A. de. 1972. Hydrogeology of different types of plains. In: Drainage Principles and applications: ILRI Publ. N° 16. Vol. 1. Wageningen - Holanda.

Richards, L.A. 1969. Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils. Reprint U.S. Salinity Laboratory Agriculture Handbook 60.

SUDRET. 1974. Estudio para la Rehabilitación de 15000 ha. Informe Tecnico de la Dirección General de Aguas. Sector Taymi Chancay - Lambayeque - Peru.

1978. Glossary of Soil Science Terms: Publ. by Soil Science Society of America USA.



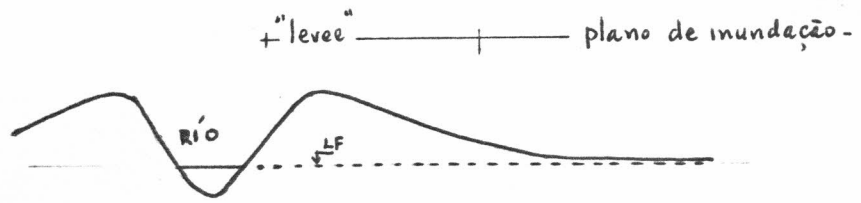


Fig: 1a : Perfil transversal de uma formação típica de rio.

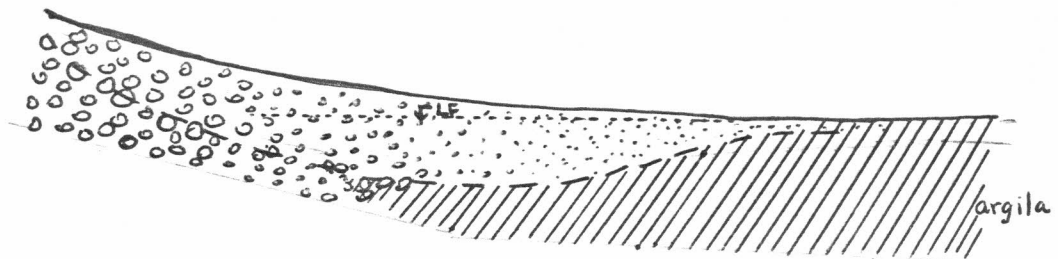


Fig. 1b: Perfil longitudinal de Valle Costero

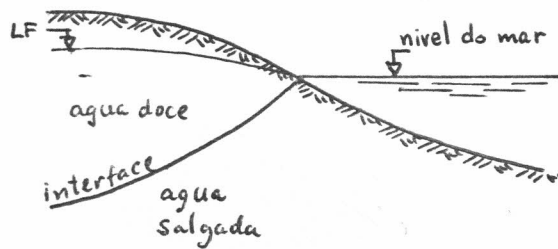
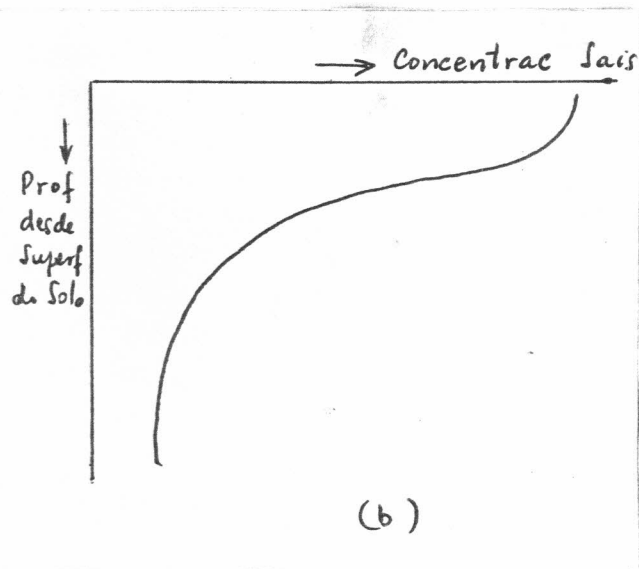
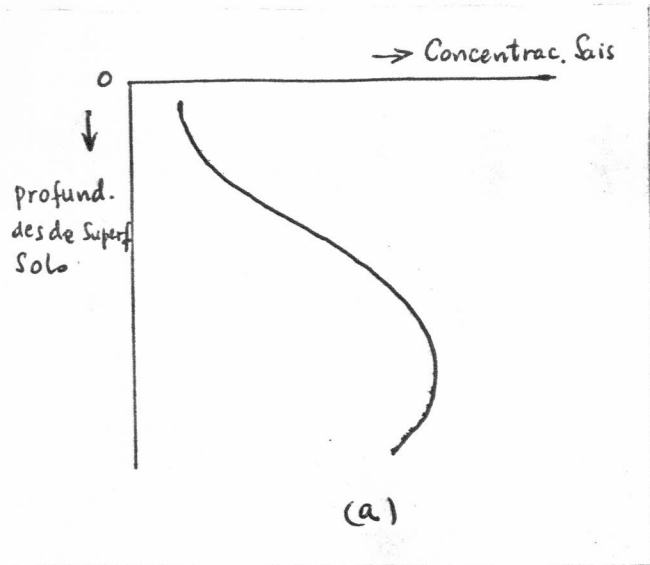


Fig: 2 : Intrusão Marina

Fig 3.- Perfil de distribuição de Sais

a.- area irrigada ou com chuva (Acumulação de sais em horizontes inferiores)

b.- area sem irrigação, ou abandonada (Acumulaç. de sais em horizontes superficiais)



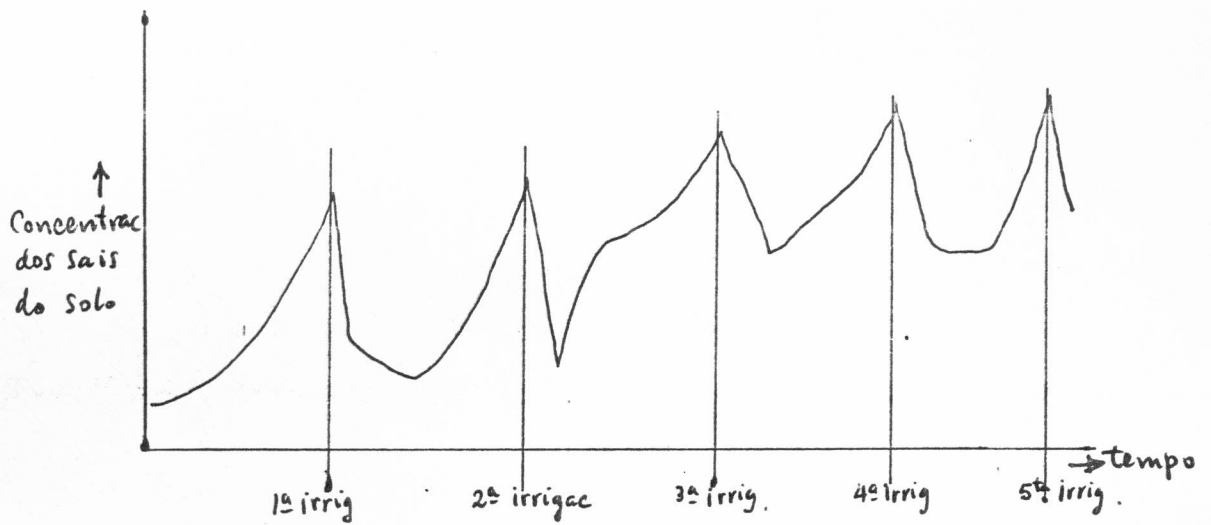


Fig 4.- Variações da Concentrações de sais do solo no tempo por efeito das irrigações

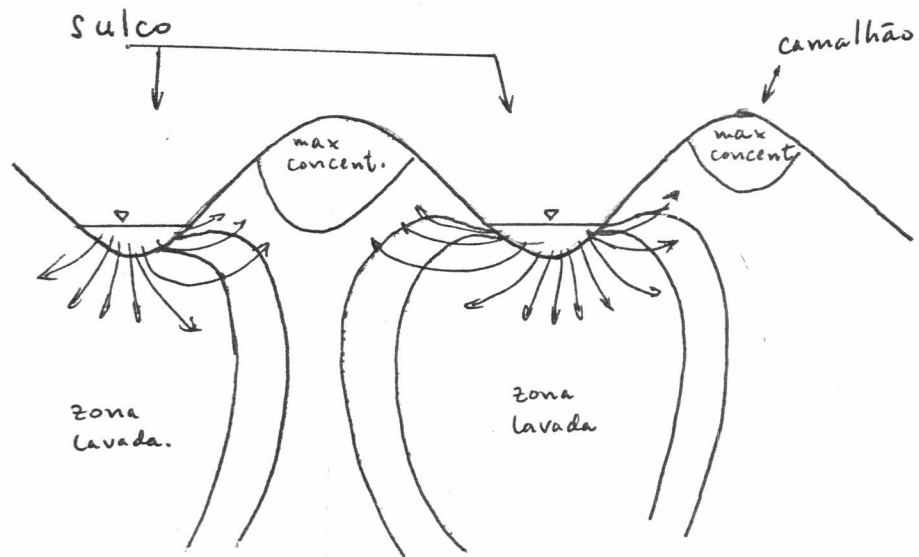


Fig 5.- Distribuição dos sais num perfil de solo irrigado por sulcos.

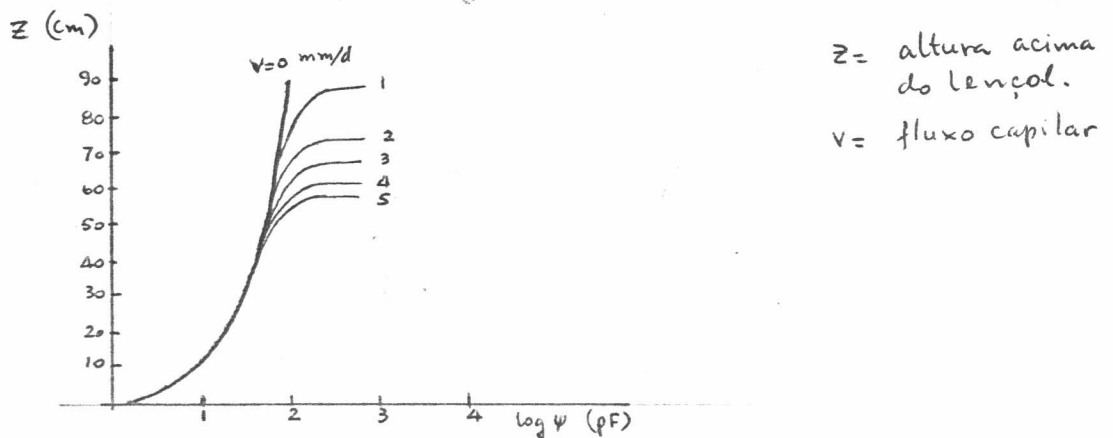


Fig 6.- Perfis de potenciais de umidade capilar em solos de textura leve.

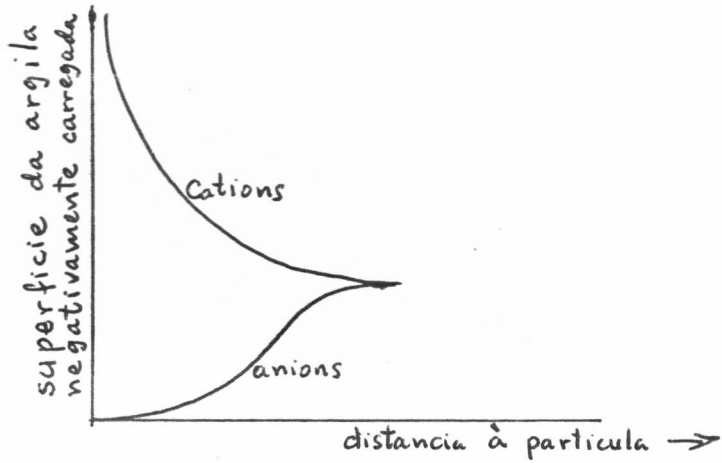


Fig 7.- Doble capa difusa e distribuição de ions

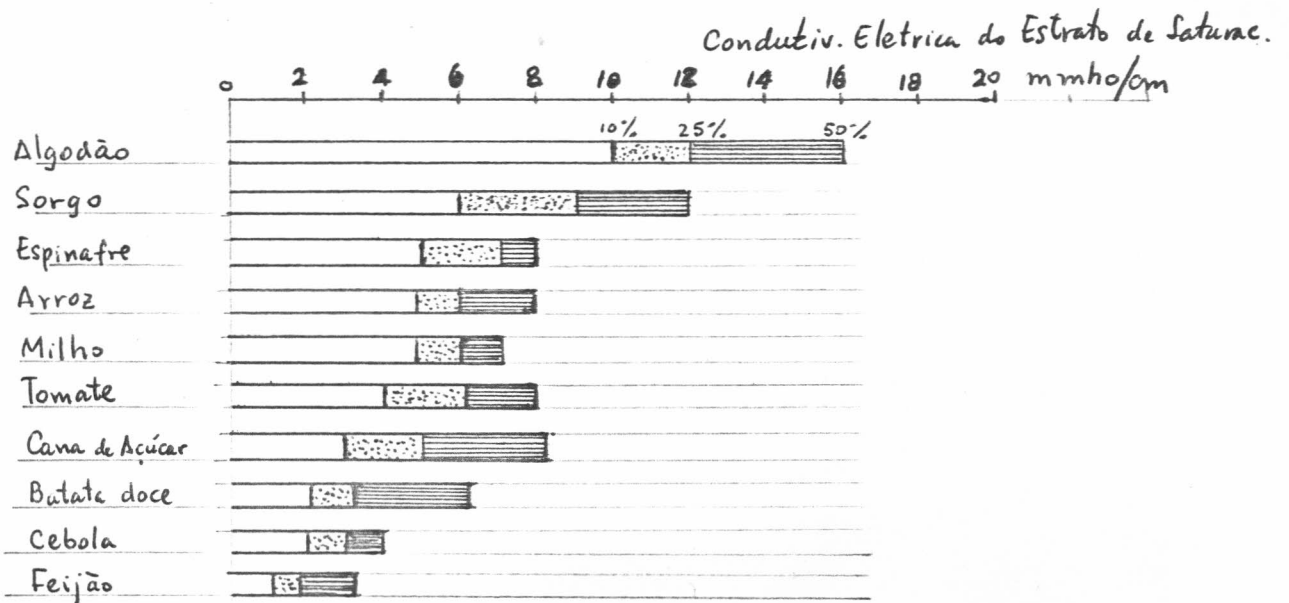


Fig 8.- Tolerancia de algumas culturas aos sais Níveis de Condutividade Elétrica diminuindo a Produtividade 10%, 25% e 50%

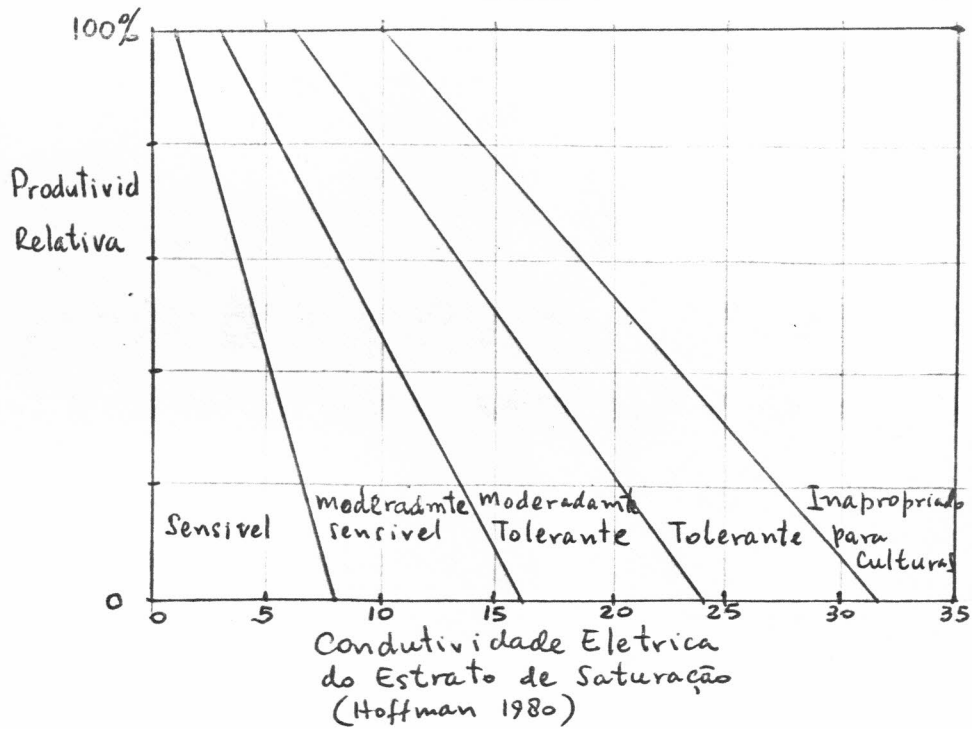


Fig. 9.- A salinidade em relação à Produtividade e classificação de níveis de salinidade segundo a sensibilidade das culturas (Hoffman 1980)

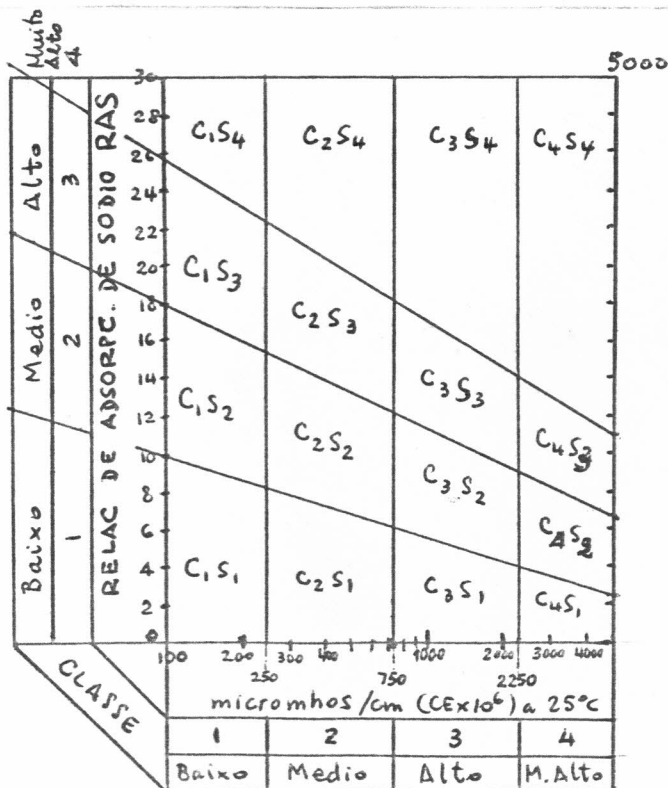


Fig. 10: Diagrama para classificação de águas para irrigação (U.S. Salinity Laboratory).

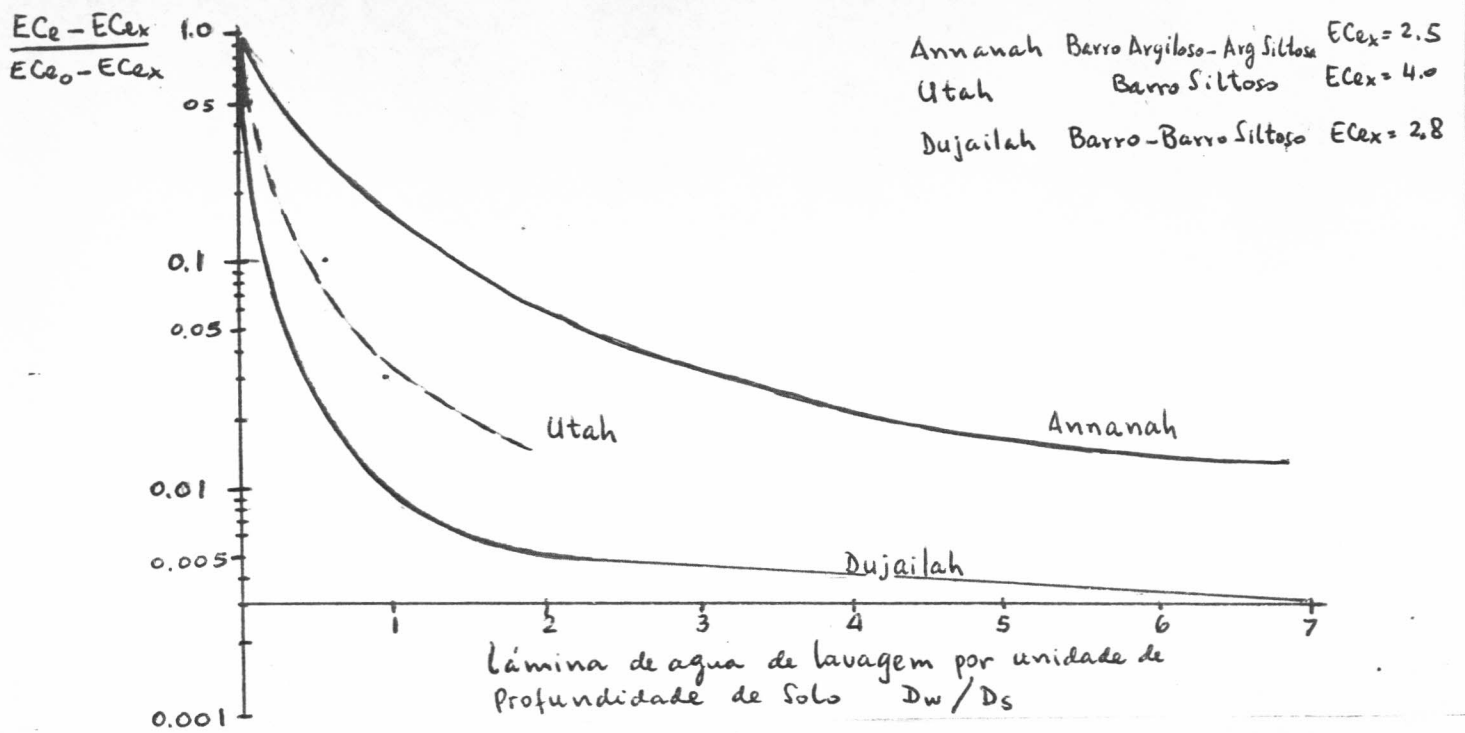


Fig: 11 - Curvas de lavagem  
 (Hulsbos W.C. e Boumans J., 1963)

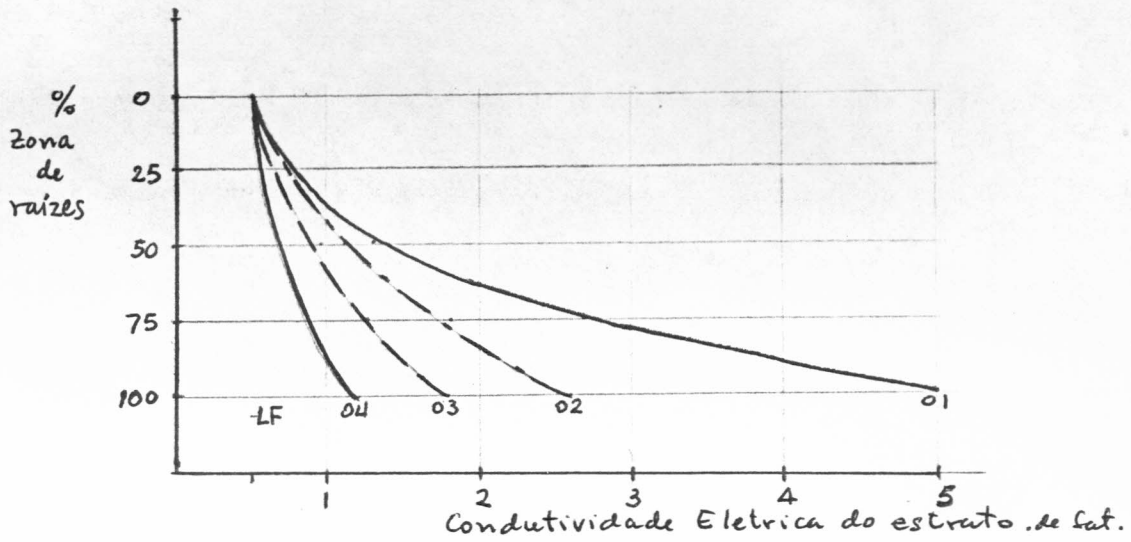


Fig:12 - Perfil provavel da salinidade depois da lavagem com diferentes fracções de lavagem LF e com agua de EC = 1.0 mmho/cm. (Ayers R.S, Westcot D.W. 1979)

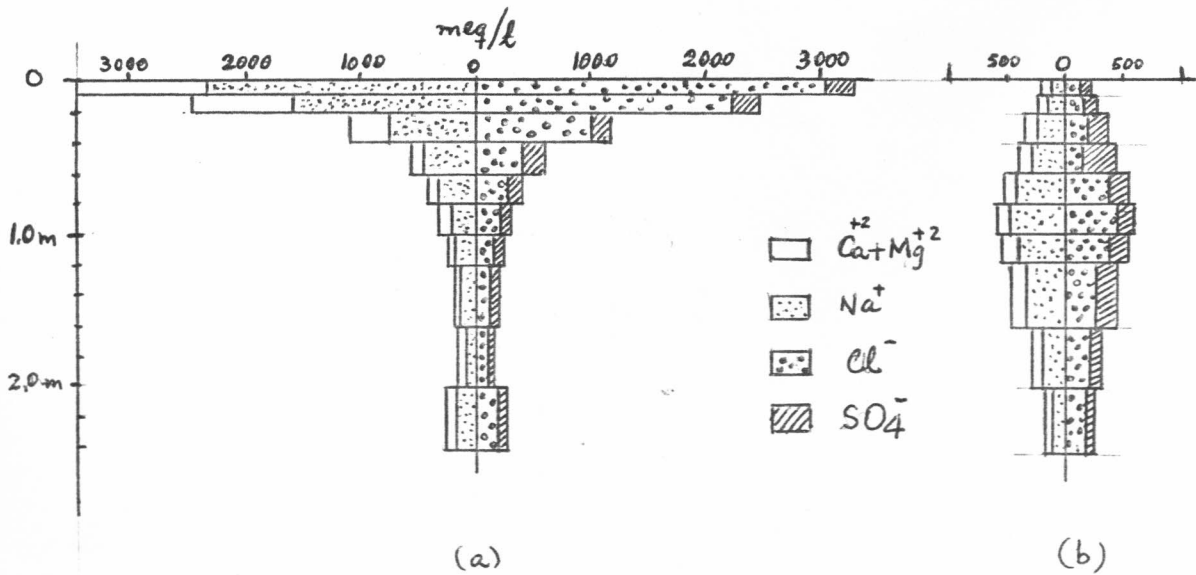


Fig:13 - Perfil de Composição iónica no extracto de saturação  
 a.- inicialmente  
 b.- depois da 2ª campanha de arroz  
 Area Piloto de drenagem Chacupe  
 (Alva C et al 1976)