

08788  
2001  
FL-PP-08788

# Documentos

ISSN 1516-1633  
Dezembro, 2001

# 180

## Salinidade em Agricultura Irrigada (Conceitos básicos e práticos)

Salinidade em agricultura ...  
2001 FL-PP-08788



CPATSA-26935-1

**Embrapa**

***República Federativa do Brasil***

*Fernando Henrique Cardoso*  
Presidente

***Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

*Marcus Vinicius Pratini de Moraes*  
Ministro

***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária***

***Conselho de Administração***

*Márcio Fortes de Almeida*  
Presidente

*Alberto Duque Portugal*  
Vice-Presidente

*Dietrich Gerhard Quast*

*José Honório Accarini*

*Sérgio Fausto*

*Urbano Campos Ribeiral*  
Membros

***Diretoria-Executiva da Embrapa***

*Alberto Duque Portugal*  
Diretor-Presidente

*Dante Daniel Giacomelli Scolari*

*Bonifácio Hideyuki Nakasu*

*José Roberto Rodrigues Peres*  
Diretores

***Embrapa Semi-Árido***

*Paulo Roberto Coelho Lopes*  
Chefe-Geral



ISSN 1516-1633

Dezembro, 2001

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido  
Ministério da Agricultura e do Abastecimento

## **Documentos 180**

# **Salinidade em Agricultura Irrigada (Conceitos básicos e práticos)**

Gilberto Gomes Cordeiro

Salinidade em agricultura  
2001 FL-FL 14863



26935 - 1



Petrolina, PE  
2001

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Semi-Árido**

BR 428, km 152, Zona Rural

Caixa Postal 23

CEP 56302-970 Petrolina-PE

Fone: (0xx87) 3862-1711

Fax: (0xx87) 3862-1744

Homepage: [www.cpatsa.embrapa.br](http://www.cpatsa.embrapa.br)

E-mail: [sac@cpatsa.embrapa.br](mailto:sac@cpatsa.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Luiz Maurício Cavalcante Salviano

Secretário-Executivo: Eduardo Assis Menezes

Membros: Luís Henrique Bassoi

Patrícia Coelho de Souza Leão

João Gomes da Costa

Maria Sonia Lopes da Silva

Edineide Maria Machado Maia

Supervisor editorial: Eduardo Assis Menezes

Normalização bibliográfica: Maristela Ferreira Coelho de Souza/

Edineide Maria Machado Maia

Editoração eletrônica: Lopes Gráfica e Editora

**1ª edição**

1ª impressão (2001): 1000 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

---

Cordeiro, Gilberto Gomes.

Salinidade em agricultura irrigada (Conceitos básicos e práticos) /

Gilberto Gomes Cordeiro. - Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 2001.

38 p. ; 21 cm. - (Embrapa Semi-Árido. Documentos; 180).

1. Agricultura irrigada - Salinidade. 2. Solo salino - sódico -

Classificação. I. Título. II. Série.

---

CDD 631.416

© Embrapa 2001

# Autores

## **Gilberto Gomes Cordeiro**

Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, M.Sc., Embrapa Semi-Árido, BR 428, Km 152,  
Zona Rural, CP 23, 56302-970, Petrolina-PE  
cordeiro@cpatsa.embrapa.br

# Sumário

<b>Introdução</b> .....	7
<b>Solos afetados por sais solúveis e sódio trocável em áreas irrigadas</b> .....	9
Origem .....	9
Tipos de sais e suas formas no solo .....	12
<b>Processo de formação de solos salinos e sódicos</b> .....	13
<b>Caracterização, diagnóstico e classificação de solos com problemas de salinidade e sodicidade</b> .....	15
Determinação das condições em que se apresentam o problema .....	16
Levantamento e formação de um plano de salinidade e sodicidade aparente .....	17
<i>Amostragem do solo</i> .....	17
<i>Profundidade de amostragem</i> .....	18
<i>Principais determinações químicas e físicas que se devem ser realizadas</i> .....	18
<i>Elaboração do plano de salinidade sodicidade</i> .....	18
<b>Efeitos de altos conteúdos de sais no solo e na planta</b> ...	19
No solo .....	19
Na planta .....	20
Efeitos dos sais dentro das plantas .....	21

<b>Classificação dos cultivos segundo sua tolerância aos sais e a presença de íons tóxicos</b> .....	22
<b>Prevenção dos problemas de sais em terrenos irrigados</b> .....	22
<b>Recuperação de solos salinos e sódicos</b> .....	25
Práticas de manejo .....	26
Métodos de recuperação .....	27
Métodos físicos .....	27
Métodos biológicos .....	27
Métodos elétricos .....	28
Métodos químicos .....	28
<b>Seleção do tipo de corretivo</b> .....	28
Velocidade de reação dos diferentes corretivos .....	28
Reações químicas de alguns corretivos no solo .....	29
Cálculo da quantidade de corretivo .....	29
Forma de aplicação do corretivo .....	31
Cálculo do volume de água necessário para dissolver o corretivo .....	31
<b>Cálculo da lâmina de lavagem</b> .....	32
<b>Bibliografia</b> .....	36

# Salinidade em Agricultura Irrigada

---

*Gilberto Gomes Cordeiro*

## INTRODUÇÃO

O estudo da salinidade é muito importante pelo fato dos sais afetarem os solos as águas e com a consequência o rendimento das plantas cultivadas.

Os problemas de acumulação de sais solúveis e sódio trocável nos solos irrigados das regiões áridas e semi-áridas são muito antigos e sua origem remonta à própria origem da irrigação.

Os efeitos adversos da salinidade sobre as plantas, constituem um dos fatores limitantes da produção agrícola, devido, principalmente, ao aumento do potencial osmótico do solo e toxidez resultante da concentração salina dos íons específicos. Em solos sódicos o efeito é mais sobre as características físicas do solo devido a dispersão dos colóides, provocando desestruturação do solo e criando problemas de compactação, diminuindo conseqüentemente a aeração e dificultando o movimento de água e desenvolvimento radicular, além do efeito tóxico do íon específico.

Em 1970, a Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem, com sede na Índia, estimou a área irrigada no mundo, em 203 milhões de hectares, dos quais 50,7 milhões (25% do total), apresentavam problemas de salinidade. Se considerarmos que existem áreas não irrigadas também salinizadas, e portanto não utilizadas plenamente em seu potencial agrícola, é compreender a fundamental importância da solução desse problema para o aumento da produção mundial de alimentos.

No Brasil, o programa de irrigação de responsabilidade do Ministério da Irrigação, conta com inúmeros projetos de irrigação implantados,

particularmente na região Nordeste. Os projetos localizados nesta região se distribuem entre o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF) além dos projetos de irrigação particulares.

O problema da salinização dos solos no Nordeste se apresenta de forma grave. Em janeiro de 1977, o Departamento de Agricultura e Abastecimento (DAA) da SUDENE apresentou relatório sobre a salinização e os problemas de drenagem em áreas irrigada da região Nordeste concluindo que, cerca de 25% do total implantado está salinizado, percentagem esta considerada bastante otimista quando levantamentos mais recentes realizados por Cordeiro (1977) e Cordeiro et al (1982) nos solos do projeto de irrigação de São Gonçalo, mostraram que só na área em operação, 24% estão afetados por sais, isto sem considerar as áreas já abandonadas que apresentam elevados teores de sais. Esta situação reflete-se de maneira geral nos projetos de irrigação implantados no Nordeste, onde extensas áreas estão fora de operação por apresentarem condições adversas ao desenvolvimento e produção rentável das culturas, necessitando de serem recuperadas e reincorporadas ao processo produtivo, com exceção a maioria dos projetos da CODEVASF, os quais são irrigados com água do rio São Francisco de excelente qualidade para fins de irrigação.

Na região semi-árida do Nordeste o "déficit hídrico" atinge mais de 2.000mm por ano, favorecendo assim a acumulação de sais solúveis e sódio trocável em algumas áreas irrigadas do Nordeste. De acordo com o Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos e segundo levantamento de solos realizados nos Estados da Bahia ao Ceará totalizando 1.110.000 km<sup>2</sup>, foram delimitadas áreas correspondentes a 85.931 km<sup>2</sup> de solos afetados por sais, representando 7.74% da área mapeada desses estados. A Tabela 1 mostra a distribuição desses solos por estado, estando incluídos Planossolos Solodizados, Solonchak Soloniticos, Solos Halomórficos e outros, isto sem considerar as áreas com problemas de sais e sódio dos perímetros irrigados em operação (Tabela 2) e solos aluvionais dos vales dos rios (Mello et al, 1967).

Com base no acima exposto, pode-se avaliar a dimensão e as implicações que apresentam o problema dos solos afetados por sais para o futuro do programa de irrigação do Nordeste, particularmente com as metas recentes de irrigar hum milhão de hectares, caso não se adote sérias medidas de prevenção e combate aos problemas de salinidade e drenagem.

## SOLOS AFETADOS POR SAIS SOLÚVEIS E SÓDIO TROCÁVEL EM ÁREAS IRRIGADAS

### 2.1. Origem

A acumulação de sais e sódio nos solos é um fenômeno observado particularmente sob condições de aridez. A alta taxa de evaporação e baixa precipitação, associada as características do material de origem e as condições geomorfológicas e hidrológicas, condicionam a formação de solos com teores elevados de sais solúveis e sódio trocável (WHITEMORE, 1975).

A maior parte de solos salinos e sódicos ocorre principalmente em regiões áridas e semi-áridas onde os processos de salinização e sodificação são freqüentemente acelerados por irrigação pouco eficiente e insuficiente drenagem, em áreas planas, deltas e bacias fechadas, onde quase sempre a drenagem é deficiente Kovda (1964). Geralmente, são formados de materiais transportados, muitas vezes já bastante interperizados. Raramente, são formados no local de intemperização das rochas. De acordo com Kelly (1951) e Kovda (1973), parte significativa dos solos do mundo afetados por sais são de origem aluvional.

Tabela 1. Áreas de solos afetados por sais em sete estados do Nordeste, segundo o Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. 1/ Total 85.931 km<sup>2</sup>

SOLO	ESTADO							TOTAL
	CE	RN	PB	PE	AL	SE	BA	
Planossolo Solódico	12.708	3.690	944	5.165	4.370	2.098	30.516	58.491
Solonetz Solodizado	8.436	4.064	2.769	2.654	393	1.913	5.161	24.490
Solonchak Solonétzico	450	837	-	-	-	-	-	1.287
Halomórfico	18	-	-	-	-	-	-	18
Outros	1.645	-	-	-	-	-	-	1.645
TOTAL	23.257	8.591	3.713	7.819	3.763	3.111	35.677	85.931
%	27%	10%	4.3%	9.1%	4.4%	3.6%	41.5%	100%

1/ Fonte: CORDEIRO (1988).

Tabela 2. Áreas afetados por salinidade nos Perímetros Irrigados do Nordeste

1/

Perímetro Irrigado	Estado	Área Irrigada	Área Afetada Com Problemas de Sais			
			Área c/Baixa Profundidade	Área Abandonada	Total Afetado	% na Área Irrigada
Morada Nova	CE	2.880	231	299	530	18,4
Lima Campos	CE	502	41	-	41	8,2
Várzea do Boi	CE	280	31	14	45	16,1
São Gonçalo	PB	1.730	214	-	214	12,4*
Engº Arcoverde	PB	321	32	73	405	32,7
Sumé	PB	147	74	15	89	60,5
Cachoeira II	PB	142	37	6	43	30,3
Vaza Barris	BA	1.016	120	33	153	15,1
Ceraíma	BA	514	54	110	164	31,9
Caldeirão	PI	341	-	29	29	8,5
Boa Vista	PE	154	41	-	41	26,6
Custódia	PE	112	73	36	109	97,3

1/ DAMASCENO, J.H. Informe de drenagem e salinidade nos perímetros irrigados do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS; 1977.

\* Trabalhos mais recentes realizados por CORDEIRO et al (1977, 1986) mostrou que aproximadamente 30% da área apresenta problemas de salinidade.

Os sais solúveis do solo consistem em grande parte e em proporções variadas, dos cátions, sódio, cálcio e magnésio e dos ânions cloreto e sulfato, sendo que, em quantidades menores, se encontram os ânions bicarbonatos e nitrato. As fontes originais, das quais provêm estes sais, são os minerais que se encontram no solo e nas rochas expostas da superfície terrestre. Nos processos de intemperização química que incluem hidrólise, hidratação, solubilização, oxidação e carbonatação, liberam gradualmente os componentes dos sais para as águas (Wilcox, 1948). Portanto, problemas de sais e sódio que afetam a agricultura, sob irrigação, são trazidos pelas águas superficiais e subterrâneas que, no seu movimento horizontal e vertical, transportam os sais. Os solos afetados por sais e sódio podem apresentar características bem diferenciadas, resultante da ação dos diversos fatores de formação e recebem as denominações de: solo sódico e solo salino-sódico (Richards, 1954 e Allison, 1964).

Em áreas irrigadas, o aparecimento de solos com teores elevados de sais solúveis e sódio trocável está condicionado, principalmente, a fatores, como concentração e composição dos sais da água de irrigação, existência ou formação de lençol freático, características físicas e químicas do solo e manejo do solo e água. Em função da concentração de sais na água de irrigação e proporção entre os cátions pode ocorrer tanto acumulação de sais como de sódio trocável ou ambos (Thorne & Thorne, 1954; Lewis & Juve, 1956). O aumento nas concentrações de sais e sódio trocável pode ocorrer nos solos sob irrigação, mesmo com água de boa qualidade, considerando-se que toda água de irrigação contém sais solúveis, em maior ou menor quantidade e que dependendo das condições podem ficar acumulados no solo e, com o tempo, atingir níveis que limitam o desenvolvimento das plantas. Desde que o solo tenha uma boa drenagem interna, qualquer aumento no teor de sais solúveis e sódio trocável deve ser atribuído à presença destes, na água de irrigação.

As águas usadas na irrigação são de diferentes origens e apresentam condutividade elétrica (CE) que varia de 0,08 a mais de 5,500 mmhos/cm (50 a 3.500 ppm) e relação de adsorção de sódio (RAS) até mais de 30. Tomando-se como base a CE, as águas podem ser classificadas como de baixa (C1), média (C2), alta (C3) e muito alta salinidade (C4). Quanto à RAS, classificam-se em baixa (S1), média (S2), alta (S3) e muito alta (S4) em todas as combinações possíveis desses dois componentes, abrangendo desde a água que pode ser usada sem restrições até água que não é apropriada para irrigação em condições ordinárias (Wilcox et al, 1954). O cálculo do RAS é feito em função dos teores de sódio, cálcio e magnésio, expressos em meq/l., do extrato de saturação de acordo com a fórmula:

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

A água com alta proporção de sódio em relação ao cálcio e magnésio pode resultar em solo sódico, porque o sódio desloca o cálcio e o magnésio adsorvidos, causando a dispersão dos colóides (Allison 1964, Fuller 1967) na avaliação da qualidade de águas para irrigação, em relação ao perigo de sódio, considera-se além da RAS o carbonato de sódio residual (CSR), definindo pela seguinte equação:  $(CO_3^{=} + HCO_3^-) - (Ca^{++} + Mg^{++})$ , expresso em meq/l (Eaton 1950). De acordo com Wilcox et al. (1954) água com CSR até 1,25 meq/l não oferece nenhum perigo, entre 1,25 e 2,5 meq/l considerada marginal e acima de 2,5 meq/l não é adequada para irrigação. No caso de excesso de  $CO_3^{=} + HCO_3^-$ , com a evapotranspiração, a solução do solo fica mais concentrada e

parte do  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ , da solução e adsorvido precipitam como carbonatos, permanecendo no solo carbonato de sódio solúvel e sódio adsorvido nos colóides que aumentam com o tempo, provocando a dispersão dos colóides Zylstra & Salinas, 1974; Ayers & Westcot, 1976; Kamphorst & Bolt, 1978).

A água atualmente utilizada nos perímetros irrigados do Nordeste, exceção aos perímetros da CODEVASF, são provenientes em quase sua totalidade de reservatórios superficiais armazenadas durante a estação chuvosa, apresentando com algumas exceções, valores de CE  $< 0,75$  mmhos/cm e para o percentual de sódio valores abaixo de 60% (Mello et al, 1967), sendo considerada de boa qualidade e não deveria apresentar maiores problemas para irrigação sob condições adequadas de manejo. Todavia em decorrência do inadequado balanço de sais, comumente verificado, normalmente por problemas de drenagem, observa-se uma gradativa salinização do perfil irrigado e progressivo aumento das áreas-problemas.

A mais importante fonte de água para irrigação é o Rio São Francisco, cuja água contém baixos teores de sais, sendo classificada como C1S1. Em alguns casos são usadas também água de poços que apresentam algumas vezes concentrações elevadas de sais, chegando mesmo a limitar seu uso para irrigação (Valdivieso & Cordeiro, 1985).

## 2.2. Tipos de sais e suas formas no solo

Os sais no solo se manifestam de duas formas principais: associado e dissociados.

Associados – formando compostos por combinação dos íons, sendo mais comuns os seguintes:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ ;

Dissociados – como íons que podem ser positivos e negativos os quais apresentam-se de três formas:

- a) íons solúveis na solução aquosa do solo;
- b) íons hidratados adsorvidos a pressão nas argilas e materiais orgânicos;
- c) íons intercambiáveis retidos por cargas elétricas nas argilas e material orgânico.

Os íons mais comuns são:

Cátions

Ca<sup>++</sup> - Cálcio

Mg<sup>++</sup> - Magnésio

Na<sup>+</sup> - Sódio

K<sup>+</sup> - Potássio

Fé<sup>+++</sup> - Ferro

B<sup>+++</sup> - boro

Ânions:

Cl<sup>-</sup> - Cloreto

SO<sub>4</sub><sup>=</sup> - Sulfato

CO<sub>3</sub><sup>=</sup> - Carbonato

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Bicarbonato

SiO<sub>3</sub><sup>=</sup> - Silicato

Os cátions mais abundantes são: Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> e Mg<sup>++</sup>, encontrando-se em menor quantidade K<sup>+</sup>.

Os ânions mais abundantes são os cloretos (Cl<sup>-</sup>) e sulfato (SO<sub>4</sub><sup>=</sup>) existindo em menor quantidade os carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>=</sup>) e bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

Os carbonatos e bicarbonatos se formam por solução de CO<sub>2</sub> do ar na água, <sup>2</sup>CO<sub>2</sub> é de origem biológica ou atmosférica. Ambos íons estão interrelacionados e são uma função do pH do solo, com maiores quantidades de íons carbonato só podendo ocorrer para valores de pH > 9,5.

### 3. PROCESSO DE FORMAÇÃO DE SOLOS SALINOS E SÓDICOS

Os solos com essas características têm duas origens fundamentais:

1. Natural – que pelo modo de formação podem ser:

a. In Situ: aqueles formados por decomposição das rochas no mesmo lugar onde se encontram cuja ocorrência é pouco freqüente;

b. Bacias Fechadas: para estes locais ocorrem as águas de chuva e riachos que carregam grandes quantidades de sais. Ao evaporar a água, o conteúdo de sais aumenta cada vez mais, dando origem a solos salinos e sódicos. Um exemplo deste tipo de terreno são regiões do ex-lago de Texcoco no México, Great Salt Lake, em Utah (USA) e Salton Sea, na Califórnia.

c. Marinho: do qual existem quatro modalidades:

c.1. Geológico – se apresenta quando o material original é constituído por depósitos marinhos;

c.2. Costeiro – ocorre onde as águas do mar invadem as zonas baixas;

c.3. Por fenômenos meteorológicos – transporte de água do mar através de ventos;

c.4. Por Intrusão – avanço da água do mar através das camadas do sub-solo.

2. Induzida – é o caso da origem dos problemas de sais em áreas irrigadas, que surge geralmente devido ao inadequado manejo do solo e da água nos terrenos agrícolas sob irrigação.

Kovda (1964) afirma que as áreas irrigadas situadas em regiões desérticas e semi-desérticas em lugares de pouca drenagem, terras baixas de zonas lacustres e costeiras, cedo ou tarde sofrem um aumento de águas freáticas e seus solos ficam expostos a salinidade e sodicidade.

Os solos dos perímetros irrigados do Nordeste são em sua quase totalidade, do tipo aluvional, caracterizados por extremas variabilidade horizontal e vertical. Em geral, são de textura média e pesada, profundos, de boa fertilidade, porém pobremente drenados. Além disso, muitos desses solos apresentavam, originalmente, altos teores de sais, condição que foi agravada com o advento da irrigação. Caso não sejam adotadas medidas preventivas eficientes, o percentual, presentemente estimado, de solos afetados será, por certo, rapidamente aumentado, a baixa permeabilidade da maioria dos solos torna difícil a recuperação destas áreas, pois não permite que os lixiviados atinjam os drenos superficiais, (Pizarro, 1976).

Além dos problemas relativos ao excesso de sais solúveis, algumas áreas apresentam teores de sódio trocável bastante elevados (superiores a 15%), acarretando degradação da estrutura dos solos e redução drástica da sua permeabilidade. Os solos com alta concentração de sais tanto natural como induzida, se encontram principalmente nas zonas de clima árido e semi-árido, onde as baixas precipitações não chegam a efetuar a lixiviação dos sais. Em regiões de clima úmido os sais solúveis originais ou formados pelo intemperismo dos minerais, geralmente são levados pela água para camadas inferiores do solo para ser finalmente transportados para os oceanos. Somente se apresentam solos salinos em regiões úmidas quando são de origem marinha.

3.1. Fatores que favorecem o processo de formação de solos salinos e sódicos.

O desenvolvimento do processo de salinização e sodificação dos solos é favorecido pelos seguintes fatores:

- a. Qualidade da água – o uso de águas salinas acelera o processo;
- b. Profundidade do lençol freático – quando o lençol freático se encontra a pequenas profundidades, o processo de salinização e sodificação é favorecido pela assensão capilar dos sais. Este processo é mais rápido em zonas de clima árido onde a evaporação é intensa e as precipitações são baixas;
- c. Drenagem deficiente ou inexistente (associada à ineficiência da irrigação) – possibilitando a formação do lençol freático superficial;
- d. Clima – a alta evaporação e reduzida precipitação características de regiões áridas e semi-áridas impedem a lavagem dos sais do perfil do solo;
- e. Topografia – topografias acidentadas e as variações geológicas e edafológicas facilitam a formação de aquíferos confinados e represamentos superficiais que com a influência da evaporação incrementam o processo.

➤Enfim, o processo de salinização consiste na acumulação de sais na zona radicular, os quais podem ser aportados por águas de irrigação ou provenientes de água freáticas.

#### **4. CARACTERIZAÇÃO, DIAGNÓSTICO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS COM PROBLEMAS DE SALINIDADE E SODICIDADE.**

Uma vez que os sais se tenham acumulados no solo, apresentam grande variabilidade tanto no tempo como no espaço, tornando-se muito difícil a caracterização do problema. As variações no tempo são consequência principalmente dos diferentes processos que ocorrem como a evapotranspiração, salinização, sodificação, lavagem do solo, consumo e/ou acumulação de nutrientes. Ao passo que as variações no espaço, principalmente na superfície são devido a heterogeneidade dos solos, do microrelevo, da aplicação e consumo de água e nutrientes. Sem dúvida, com todos estes fatores que influem no conteúdo total de sais de uma determinada área, estamos obrigados a seguir certas metodologias que assegurem uma boa caracterização.

Para poder caracterizar um solo com problemas de sais e estar em capacidade de tomar decisões acertadas, é indispensável a realização de amostragem de solo com uma metodologia específica de acordo com o tipo de estudo que se pretende efetuar, com base no qual se deve definir a frequência de amostragem, a extensão da área de estudo, o método de amostragem, o

tamanho da amostra e o processamento posterior da mesma, que por sua vez estão ligados aos recursos disponíveis, capacidade de trabalho do laboratório de análises e a precisão desejada.

Richards (1954) divide os solos em salinos, salinos-sódicos e sódicos de acordo às características de condutividade elétrica, pH e percentagem de sódio trocável.

- Solos salinos: solos cuja condutividade elétrica do extrato de saturação é maior do que 4 milimhos/cm a 25°C, e a percentagem de sódio trocável é menor do que 15. Geralmente, o pH, é menor de 8,5. Estes solos correspondem aos tipos descritos por Hilgard e citados por Richards (1954) como solos "Álcali Branco" e aos "Solonchaks" dos autores russos. Estes solos podem, mediante o estabelecimento de uma boa drenagem, voltar novamente a ser solos normais;

- Solos salinos-sódicos: solos cuja condutividade elétrica do extrato de saturação é maior do que 4 milimhos/cm a 25°C, e percentagem de sódio trocável é maior do que 15. Este tipo de solo se forma como resultado dos processos combinados de salinização e sodificação;

- Solos sódicos: aqueles cuja percentagem de sódio trocável é maior do que 15 e a condutividade elétrica do extrato de saturação é menor do que 4 milimhos/cm a 25°C, o pH geralmente varia entre 8,5 e 10. Estes solos correspondem aos chamados "Álcali Negro" por Hilgard e "Solonetz" pelos russos.

QUADRO 1. Síntese da Classificação segundo Richards (1954).

Solos	C.E. (mmhos/cm)	PST	pH
Normais	< 4 milimhos	< 15	< 8,5
Salinos	> 4 milimhos	< 15	< 8,5
Salinos-sódicos	> 4 milimhos	> 15	< 8,5
Sódicos	< 4 milimhos	> 15	> 8,5

#### 4.1. Determinação das condições em que se apresentam o problema.

As condições de salinidade e sodicidade da área que se deseja estudar pode ser determinada seguindo a seguinte metodologia.

4.1.1. Levantamento e formação de um plano de salinidade e sodicidade aparente:

Este levantamento se realiza mediante a observação dos sintomas apresentados pelas plantas ou pelo cultivo de um modo geral e pelo aspecto que se apresentam os solos em sua superfície. Estes sintomas refletem até certo ponto a gravidade do problema em seus distintos graus de afetação e conseqüentes danos que estão sofrendo os cultivos.

Para auxiliar a realização deste estudo podemos também recorrer ao uso de fotografias aéreas.

Com a informação deste levantamento costuma-se separar os solos segundo a afetação em 5 classes:

1. Sem afetação aparente – sem problema de salinidade ou sodicidade;
2. Ligeiramente afetado – com menos de 20% da área afetada;
3. Solos mediantemente afetados – apresentando de 20% a 40% das áreas com problema;
4. Solos fortemente afetados – apresentando de 40% a 60% das áreas com problema;
5. Solos muito fortemente afetados – áreas com mais de 60% de problema.

4.1.2. Levantamento e formação de um plano de salinidade e sodicidade analisada:

Para realizar este estudo que se constitui na base de informação para se proceder a forma de recuperação dos solos, necessitamos o seguinte:

4.1.2.1. Amostragem do solo

Esta operação é muito usada para o estudo de solos com problemas de sais. A grande variação e heterogeneidade que caracteriza os solos afetados por sais, tem dificultado a padronização de uma metodologia ideal de amostragem.

Atualmente,entretanto, tem se usado uma metodologia de amostragem sistemática, que consiste em colocar pontos de amostragem na interseção de uma quadricula cuja eqüidistância varia com a área e a finalidade de estudo.

Devido às variações dos sais no solo, as amostragens e as análises devem ser realizadas no menor tempo possível para que os resultados mereçam confiança

#### 4.1.2.2. Profundidade de amostragem

A amostragem deverá ser feita pelo menor até 90 cm de profundidade nas seguintes espessuras: 0-30 cm; 30-60 cm e 60-90 cm, devendo-se tomar pelo menos 1kg de solo, colocar em sacos plásticos e etiquetar para posterior identificação em laboratório.

#### 4.1.2.3. Principais determinações químicas e físicas que se devem ser realizadas

##### a) Químicas:

- Reação do solo; pH
- Condutividade elétrica do extrato de saturação (CE);
- Cátions trocáveis
- Porcentagem de sódio trocável (PST)
- Cátions e ânions solúveis

##### b) Físicas

- texturas;
- infiltração;
- densidade aparente e real;
- porosidade;
- constantes de umidade;
- condutividade hidráulica

#### 4.1.2.4. Elaboração do plano de salinidade sodicidade

Os planos de salinidade e sodicidade tem a vantagem de mostrar graficamente a distribuição de áreas segundo os diferentes graus de afetação.

Com base nos dados químicos para as três profundidades, traçam-se mapas de isolinhas químicas para definir as áreas com diferentes graus de problemas, segundo classificação de Richards (1954), e seguindo metodologia de Penã (1968-1969). Como exemplo inclui-se à figura 1 que mostra os problemas de sais do setor 37 do projeto de irrigação de São Gomçalo.

#### 4.1.2.5. Utilização de cores na elaboração dos planos de salinidade e sodicidade

É de grande utilidade o emprego de cores para identificação dos diferentes tipos de problemas, tanto para o plano de salinidade e sodicidade aparente, como para o plano de salinidade e sodicidade analisada.

Uma vez formados os planos de salinidade e sodicidade aparente e analisada, observa-se através do plano de salinidade e sodicidade aparente, o grau de afetação dos cultivos, assim como por comparação com os formados anteriormente se quantifica o avanço ou diminuição do problema ao passo que através do plano de salinidade e sodicidade analisada, observa-se em forma quantitativa a afetação dos solos, sua distribuição e o tipo de sal. Este tipo de plano serve para se ter uma idéia precisa do tipo de afetação e da intensidade do problema, tanto pelo conteúdo de sal como por sua distribuição no perfil do solo.

## 5. EFEITOS DE ALTOS CONTEUDOS DE SAIS NO SOLO E NA PANTA

### 5.1. No solo

produzem variações no estado físico e químicos do solo da seguinte forma:

- Diminuição da disponibilidade de água no solo, através da elevação da tensão osmótica na solução do solo;
- Na presença do sódio, os solos se dispessam modificando o estado de agregação das partículas dando origem a mudanças na estrutura reduzindo a aeração, a infiltração e a condutividade hidráulica a limites desfavoráveis para as plantas;

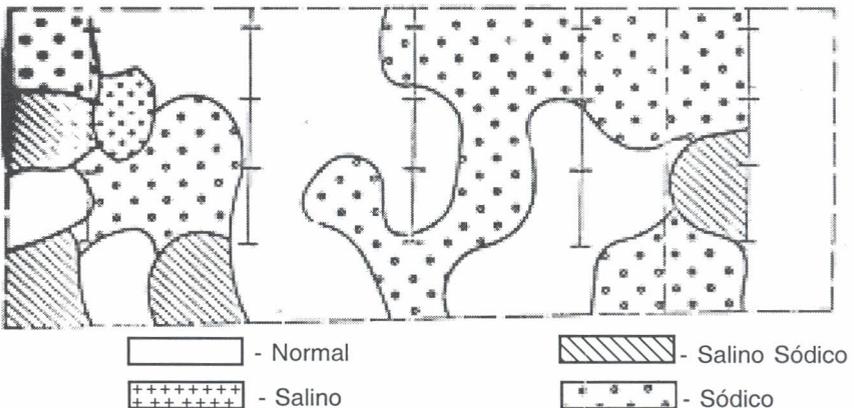


Fig. 1. Problemas de sais no Setor 37 do Projeto de Irrigação de São Gonçalo (extraído de Cordeiro & Millar, 1977).

- c. Produzem variações desfavoráveis no pH do solo, o que reduz a solubilidade dos nutrientes com conseqüente diminuição na disponibilidade para as plantas.

## 5.2. Na planta

quando as plantas se desenvolvem sob condições de salinidade e sodicidade um dos sintomas mais característicos é a inibição do crescimento produzido pelos sais, o qual se manifesta por uma marcada desuniformidade, apresentando manchas desnudas, plantas definhadas e uma grande variação no crescimento geral o que resulta em uma baixa produção por unidade de área.

A acumulação excessiva de sais solúveis na zona radicular dos cultivos, é uma fator limitante da produção na agricultura sob irrigação. A salinidade e sodicidade dos solos produz condições extremamente desfavoráveis para o desenvolvimento das plantas.

Sob condições de salinidade, um dos principais problemas é o de se obter uma porcentagem de germinação adequada. Este aspecto deve ser considerado, já que se a porcentagem da germinação for baixa o cultivo pode fracassar. A tolerância dos cultivos à concentrações de sais durante a germinação é geralmente menor que em outros estágios de crescimento.

Para explicar os diferentes aspectos negativos dos sais solúveis do solo sobre os cultivos, se tem proposto diferentes teorias das quais as que mais se destacam são as seguintes:

- a) Teoria da disponibilidade de água;
- b) Teoria de inibição osmótica ou ajuste osmótico;
- c) Teoria da toxicidade específica.

a. Disponibilidade de água – de acordo com esta teoria os sais do solo diminuem a energia livre de água o que por sua vez reduz a disponibilidade de água para as plantas, afetando o crescimento. Os sais aumentam a pressão osmótica da solução do solo fazendo com que a disponibilidade de água para as plantas diminua, provocando deficiência da água, o que afeta o seu crescimento.

b. Inibição osmótica ou ajuste osmótico – esta teoria estabelece que o crescimento das plantas sob condições de salinidade se vê seriamente afetado devido a que a planta precisa realizar um ajuste osmótico para manter gradiente favorável em suas células para que lhe permita extrair água de solo. Ao fazer este ajuste, a planta gasta energia, a qual em condições normais

usariam no crescimento. Por esta razão, em condições salinas as plantas não crescem.

c. Toxicidade específica – esta teoria considera que os efeitos tóxicos dos sais sobre as plantas, se realizar via metabolismo, por trocas causadas na atividade metabólica que produzem a acumulação de substâncias intermediárias, que não se encontram em planta que crescem em condições normais. O efeito, neste caso, é específico, tendo origem químico-biológico, mais do que física.

#### 5.2.1. Efeitos diretos fora da planta:

- a. Aumenta a P.O. dos solos, o que reduz a umidade aproveitável;
- b. Reduzem a velocidade de absorção de água e de nutrientes – consequência do item anterior;
- c. Criam antagonismos e toxicidade;
- d. Retardam ou modificam a germinação;
- e. Variam o pH dos solos reduzindo a solubilidade de alguns nutrientes, diminuindo conseqüentemente sua disponibilidade;
- f. Pode elevar a solubilidade de alguns elementos a níveis tóxicos para as plantas.

#### 5.2.2. Efeitos dos sais dentro das plantas:

Os diferentes efeitos dos sais dentro das plantas podem inibir, retardar ou impedir seu desenvolvimento ocasionando um detrimento em sua qualidade e produtividade, podendo classificar-se em: efeitos tóxicos, antagonísticos, iônicos, osmóticos e fisiológicos.

Efeitos tóxicos – São todos aqueles que se originam da acumulação de uma quantidade de um certo sal dentro da planta acima dos limites permissíveis. O caráter e grau de toxicidade dependerá das características fisiológicas e biológicas da planta e do tipo e quantidade de sal no substrato;

Efeitos antagonísticos – São todos aqueles que criam uma competição e seletividade para certas reações ou funções dentro da planta;

Efeitos iônicos – São todos aqueles que se originam devido às características eletroquímicas dos íons;

Efeitos osmóticos – São todos aqueles que intervêm nas mudanças osmóticas que ocorrem dentro da planta;

Efeitos fisiológicos – São todos aqueles que originam qualquer mudança fisiológica dentro da planta.

## 6. CLASSIFICAÇÃO DOS CULTIVOS SEGUNDO SUA TOLERANCIA AOS SAIS E A PRESENÇA DE IONS TOXICOS

Geralmente as plantas tem comportamento diferentes diante dos problemas de salinidade e sodicidade e este comportamento depende do tipo de afetação(excesso de sais solúveis, conteúdo de sódio e presença de íons tóxicos) e do grau de afetação. De acordo com estes critérios se tem feito amplos estudos que permitem classificar os cultivos segundo estes comportamentos.

A tolerância dos sais se refere a capacidade que tem as plantas para tolerar concentrações de sais solúveis no seu sistema radicular.

A tolerância das plantas aos sais pode ser encarada segundo os três critérios: capacidade para sobreviver em solos salinos; rendimento em solos salinos e rendimento relativo, comparado com solos não salinos.

O primeiro critério tem importância em estudos ecológicos, entretanto apresenta pouca significância pratica no que se referê a agricultura irrigada.

O segundo é de muita importância sob o ponto de vista agrônômico, principalmente quando se compara variedades da mesma espécie.

O terceiro, finalmente, é o usado pelo laboratório de salinidade dos Estados Unidos para a preparação das tabelas de tolerância relativa das diferentes plantas.

Na tabela 3, mostra-se a classificação de cultivos de acordo com sua tolerância a salinidade do extrato de saturação do solo (CEe) e da água (CEa) expressada em  $CE \times 10^3$  para diferentes porcentagens de diminuição do rendimento.

Na tabela 4, mostra-se a classificação de alguns cultivos de acordo com sua tolerância a porcentagem de sódio trocável (PST).

## 7. PREVENÇÃO DOS PROBLEMAS DE SAIS EM TERRENOS IRRIGADOS

segundo palácios (1969) e Arita (1975) as medidas de prevenção dos problemas de sais podem dividir-se em dois grupos: medidas de prevenção a nível de grandes áreas, podendo incluir todo perímetro de irrigação e medidas de manejo de solo e água a nível de parcela.

Na prevenção dos problemas de sais, tanto a nível de distrito como a nível de parcela, podem ser distinguidas as seguintes etapas:

- Determinação ou diagnóstico do problema;
- Análises das causas e hierarquização das mesmas, por ordem de importância;
- Aplicação de medidas corretivas segundo a ordem estabelecida.

Para evitar o aparecimento do problema, a gerencia ou a administração do perímetro irrigado deve concentrar sua ação, no conhecimento detalhado das fontes potenciais do problema, que são o solo e a água de irrigação.

Tabela 3. Classificação dos cultivos de acordo com sua tolerância a salinidade do extrato de saturação do solo (CEe) e da água (CEa) expressada em CE x 10 para diferentes percentagens de diminuição do rendimento .

CULTIVO	% de diminuição do rendimento							
	0%		10%		25%		50%	
	CEe	CEa	CEe	CEa	CEe	CEa	CEe	CEa
<b>EXTENSIVOS:</b>								
Cevada	8,0	5,3	10,0	6,7	13,0	8,7	18,0	12,0
Algodoeiro	7,7	5,1	9,6	6,4	13,0	8,3	17,0	12,0
Beterraba Açucareira	7,0	4,7	8,7	5,8	11,0	7,5	15,0	10,0
Trigo	6,0	4,0	7,4	4,9	9,5	6,4	13,0	8,7
Soja	5,0	3,3	5,5	3,7	6,2	4,2	7,5	5,0
Sorgo	4,0	2,7	5,1	3,4	7,2	4,8	11,0	7,2
Arroz Irigado	3,2	2,1	3,5	2,4	4,1	2,7	4,9	3,3
Milho	3,0	2,0	3,8	2,6	5,1	3,4	7,2	4,8
Feijão (Caupi)	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9
Feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	1,3	0,9	2,0	1,3	3,1	2,1	4,9	3,2
	1,0	0,7	1,5	1,0	2,3	1,5	3,6	2,4
<b>FRUTÍFERAS:</b>								
Oliveira	2,7	1,8	3,8	2,6	5,5	3,7	8,4	5,6
Pomeleiro	1,8	1,2	2,4	1,6	3,4	2,2	4,9	3,3
Laranjeira	1,7	1,1	2,3	1,6	3,3	2,2	4,8	3,2
Limoeiro	1,7	1,1	2,3	1,6	3,3	2,2	4,8	3,2
Macieira	1,7	1,0	2,3	1,6	3,3	2,2	4,8	3,2
Pereiro	-	-	-	-	-	-	-	-
Pessegueiro	1,7	1,1	2,2	1,4	2,9	1,9	4,1	2,7
Videira	1,5	1,0	2,5	1,7	4,1	2,7	6,7	4,5
Queixeira	1,5	1,0	2,1	1,4	2,9	1,9	4,3	2,8
Framboeseira	1,5	1,0	2,0	1,3	2,6	1,8	3,8	2,5
Abacateiro	1,3	0,9	1,8	1,2	2,5	1,7	3,7	2,4
Morangueiro	1,0	0,7	1,3	0,9	1,8	1,2	2,5	1,7

Continua...

Tabela 3. Continuação

<b>OLERÍCULAS:</b>								
Beterraba	4,0	2,7	5,1	3,4	6,8	4,5	9,6	6,4
Brócolis	2,8	1,9	3,9	2,6	5,5	3,7	8,2	5,5
Tomateiro	2,5	1,7	3,5	2,3	5,0	3,4	7,6	5,0
Abóbora	2,5	1,7	3,3	2,2	4,4	2,9	6,3	4,2
Melão	2,2	1,5	3,6	2,4	5,7	3,8	9,1	6,1
Espinafre	2,0	1,3	3,3	2,2	5,3	3,5	8,6	5,7
Repolho	1,8	1,2	2,8	1,9	4,4	2,9	7,0	4,6
Batata	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9
Batata doce	1,5	1,0	2,4	1,6	3,8	2,5	6,0	4,0
Pimentão	1,5	1,0	2,2	1,5	3,3	2,2	5,1	3,4
Alface	1,3	0,9	2,1	1,4	3,2	2,1	5,2	3,4
Rabanete	1,2	0,8	2,0	1,3	3,1	2,1	5,0	3,4
Cebola	1,2	0,8	1,8	1,2	2,8	1,8	4,3	2,9
Cenoura	1,0	0,7	1,7	1,1	2,8	1,9	4,6	3,1
<b>FORRAGEIRAS:</b>								
Capim bermudo	6,9	4,6	8,5	5,7	10,8	7,2	14,7	9,8
Trevo	5,0	3,3	6,0	4,0	7,5	5,0	10,0	6,7
Capim Sudão	2,8	1,9	5,1	3,4	8,6	5,7	14,4	9,6
Alfaca	2,0	1,3	3,4	2,2	3,6	2,4	4,9	3,3

1/ Fonte: AYERES & WESTCOT (1976).

Se os solos são livres de sal e a água de irrigação é de boa qualidade, a atuação neste caso deve se concentrar em:

- Obter que o sistema de distribuição funcione com o mínimo de perdas por infiltração. Sendo necessário, deve-se impermeabilizar toda a rede, até o ponto de entrega da água aos cultivos, melhorando a irrigação, fator muito importante na prevenção da salinidade;
- Dispor de um sistema de drenagem superficial e subterrâneo com capacidade para retirar em pouco tempo o total de água em excesso que estará integrada pelas perdas no sistema de distribuição, escoamento superficial e alimentação de áreas adjacentes mais altas;
- Manter um sistema regular de medidas de água em distintos pontos do sistema de distribuição e no sistema de drenagem. A análise anual destes dados permite conhecer o balanço de água e sua possível acumulação no perfil do solo;
- Manter uma rede de poços de observação do nível freático com medições regulares de sua profundidade, para indicar a situação real;

- Se existem problemas de solos, como infiltração muito baixa, deve-se tratar de usar práticas de manejo capazes de amenizar o problema;
- Se existe problema com a qualidade da água de irrigação, como alto conteúdo de sais, as soluções compreendem os seguintes pontos: a. dispor de um sistema de drenagem interno eficiente e b. usar em cada irrigação um volume de água adicional para lavar os sais concentrados em torno do sistema radicular das plantas em irrigações anteriores e se existem ambos problemas, deve-se adotar medidas combinadas de manejo capazes de reduzir seus efeitos.

Tabela 4. Tolerância de alguns cultivos a porcentagem de sódio trocável (PST). (Extraído de ALLISON, 1966)

VARIAÇÃO DO PST QUE AFETA O DESENVOLVIMENTO	PST	CULTIVO	RESPOSTA NO CRESCIMENTO SOB CONDIÇÕES DE CAMPO
Extremamente sensíveis	2 – 10	Nozes, cítricos, abacate	Sintomas de toxicidade de sódio a baixa PST.
Sensíveis	10 – 20	Feijões	Desenvolvimento limitado a baixo PST independentemente de uma estrutura de solo favorável.
Moderadamente sensíveis	20 – 40	Trevo, aveia, arroz	Desenvolvimento limitado devido a fatores de nutrição e estrutura desfavorável
Tolerantes	40 – 60	Trigo, algodão, alfafa, cevada, tomate, beterraba	Desenvolvimento limitado geralmente devido a estrutura desfavorável.
Muito tolerante	> 60	Pasto Rhodes, agropino alto	Desenvolvimento limitado, geralmente devido a estrutura desfavorável.

## 8. RECUPERAÇÃO DE SOLOS SALINOS E SÓDICOS

Palácios (1969), definiu duas fases na recuperação de solos:

- Recuperação inicial dos solos, principalmente mediante lavagens, completadas com aplicações de melhoradores químicos e construção de rede de drenagem cuja finalidade é expor os solos a condições de serem cultivados economicamente;

b. Manutenção de um balanço favorável de sais mediante a adoção de medidas específicas de prevenção de salinidade. O aspecto importante destas medidas é assegurar a saída das águas de lavagens e posterior sobre-irrigação, para fora dos limites do perímetro, através de drenagem.

No processo de recuperação do solo podem distinguir-se, por sua vez, as seguintes fases:

- Limitação das áreas afetadas e determinação do tipo e grau de afetação salina (solos salinos, salino-sódicos ou sódicos e valores específicos da condutividade elétrica, tipo de ânions e cátions, etc.);
- Determinação das fontes de sal (água freática e água de irrigação) e das condições de drenagem, (profundidade do lençol freático e suas variações com o tempo);
- Estudo de conveniência e possibilidade econômica da recuperação das áreas com diferentes tipos e grau de afetação salina. Do resultado desse estudo, deve-se definir a ordem de recuperação das diferentes áreas afetadas;
- Estudo teórico das necessidades de melhoradores e de lâminas de lavagens para finalmente formular recomendações sobre metodologia da recuperação dos solos;
- Avaliação dos resultados que se tenha obtido para fazer as correções correspondentes e recomendações sobre a recuperação dos solos.

No caso da recuperação de solos salinos se requer somente a eliminação de sais solúveis do perfil num grau suficiente e uma adequada profundidade para permitir o desenvolvimento das culturas. A única forma prática de se eliminar os sais solúveis é por lavagem, transportando os sais solúveis a horizontes abaixo da zona radicular pela aplicação de suficientes quantidades de água.

### 8.1. Práticas de manejo

Algumas das práticas de manejo mais comuns para solos afetados por sais, são as seguintes:

- Utilização de plantas tolerantes;
- Aplicação de irrigações freqüentes de maneira a manter a pressão osmótica do solo tão baixa quanto possível. Isso não deve no entanto ser excessivo, pois os cultivos também podem sofrer pela excessiva quantidade de água, falta de aeração e perda de nutrientes por lixiviação;
- Tratar de conseguir uma distribuição uniforme de água nivelando adequadamente os campos e usando os métodos de irrigação mais eficientes;

Quando se usa irrigação por sulcos, semear as sementes longe da zona de maior acumulação de sais que é a parte mais alta do camalhão. Assim sendo deve-se semear nos lados dos sulcos.

Thorne & Peterson (1964) considerando a menor tolerância das plantas ao sal durante o período de germinação, recomendam que se faça a sementeira durante estações úmidas ou irrigar com frequência, até que o cultivo esteja estabelecido. Recomendam, ainda, a seleção de cultivos tolerantes, métodos de irrigação adequados.

## 8.2. Métodos de recuperação

Existem diferentes métodos de recuperação de solos com problemas de sais, sendo mais comuns os seguintes: métodos físicos, biológicos, elétricos e químicos.

Todos esses métodos têm como objetivos principais, melhora a permeabilidade dos solos e permitir a troca de sódio por cálcio no complexo de troca.

A seleção do método a ser utilizado requer o conhecimento das características estruturais dos solos, do tipo e classe de sais, das condições físicas e químicas do perfil, assim como da capacidade natural de drenagem.

### 8.2.1. Métodos físicos:

Estes métodos consistem em dar um tratamento mecânico ao solo, como subsolagem, aração profunda, aplicação de areia e até inversão do perfil, tudo isto com a finalidade de romper capas endurecidas para melhorar a permeabilidade do solo.

### 8.2.2. Métodos biológicos:

Estes métodos consistem no uso de melhoradores orgânicos e plantas tolerantes aos sais para propiciar uma melhora da permeabilidade do solo.

Como se sabe, uma das funções dos microorganismos do solo, é a decomposição da matéria orgânica, em cujo processo libera uma série de compostos orgânicos que agregam o solo aumentando sua permeabilidade. Por outro lado, durante o processo de decomposição da matéria orgânica, os microorganismos do solo liberam  $\text{CO}_2$  o qual, ao se combinar com água, forma ácido carbônico, que pode solubilizar sais de cálcio precipitados no solo. Outrossim, quando é possível o estabelecimento de plantas tolerantes cujas raízes deixam pequenos condutos pelos quais a água circula melhor no solo.

### 8.2.3. Métodos elétricos:

Estes métodos têm mostrado a nível experimental que é possível recuperar solos salinizados usando energia elétrica, porém aos custos atuais torna-se proibitivo a recuperação de solos agrícolas por este método.

### 8.2.4. Métodos químicos:

Este método é usado particularmente na recuperação de solos sódicos e ocasionalmente em solos salino-sódicos e consiste em incorporar substâncias ao solo com a finalidade de solubilizar o cálcio existente no solo ou agrega-lo diretamente em forma solúvel com o objetivo de substituir o sódio por cálcio no complexo de troca.

Existem várias substâncias que se usam como corretivos de solos sódicos e salino-sódicos. A seleção de uma dessas substâncias dependerá de: características do solo, velocidade de recuperação desejada e limitações econômicas.

Os principais corretivos usados para recuperação dos solos são os seguintes: sais de cálcio (cloreto de cálcio e sulfato de cálcio); ácido sulfúrico; e formadores de ácido: enxofre, sulfato de ferro, e sulfato de alumínio.

## 9. SELEÇÃO DO TIPO DE CORRETIVO

As características dos solos sódicos e salino-sódicos mais importantes para seleção do corretivo são: o conteúdo de carbonatos de cálcio e o pH. Com base nestas características se podem estabelecer três grupos de solos:

1. solos que contêm carbonato de cálcio;
2. solos que não contêm carbonato de cálcio e cujo pH é maior que 7,5;
3. solos que não contêm carbonatos de cálcio e cujo pH é menor que 7,5.

Qualquer sal solúvel de cálcio, ácidos e substâncias formadoras de ácido podem ser utilizados nos solos do grupo 1.

Nos solos do grupo 2 não é recomendável usar ácidos ou substâncias formadoras de ácidos.

Nos solos do grupo 3 se pode usar qualquer sal solúvel de cálcio.

### 9.1. Velocidade de reação dos diferentes corretivos.

Os ácidos reagem imediatamente ao entrar em contato com o solo. A velocidade de reação dos sais solúveis de cálcio depende da solubilidade dos mesmos sendo mais solúvel  $\text{CaCl}_2$  do que gesso.

A solubilidade do gesso é bastante alterada, dependendo do grau de finura das partículas. Como as reações no solo são reações de superfície, quanto mais pulverizado estiver o melhorador mais rapidamente ocorrem as reações. O conteúdo de umidade do solo, a forma de aplicação e a pureza do produto também tem influência na velocidade de reação.

As substâncias formadoras de ácido têm reação lenta, particularmente o enxofre, já que primeiro tem que formar ácido sulfúrico através de uma oxidação microbiológica do enxofre elementar.

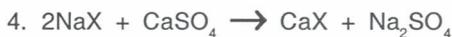
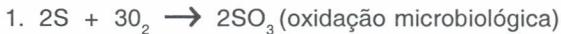
## 9.2. Reações químicas de alguns corretivos no solo.

### 1. Solos que contêm carbonato de cálcio



X representa o complexo de troca

Enxofre:



### 9.3. Cálculo da quantidade de corretivo

As quantidades de corretivo a serem aplicados se calculam com base na capacidade de troca de cátions do solo, da percentagem de sódio trocável (PST) que se deseja substituir, da profundidade e superfície do solo a recuperar, com o objetivo de substituir uma quantidade de sódio que seja suficiente para baixar o PST a tal limite que assegure o solo adquirir boas condições estruturais.

A necessidade de corretivo pode ser calculada com a seguinte fórmula:

$$\text{N.C.} = \frac{(\text{PST}_i - \text{PST}_f)}{100} \text{ CTC} \quad \text{donde:}$$

N.C. 0 necessidade de corretivo para cada 100 gramas de solo em meq;

PSTi = percentagem de sódio trocável inicial;

PSFf = percentagem de sódio trocável final que se deseja deixar no solo;

CTC = é a capacidade de troca de cátions, em miliequivalentes por 100g de solo.

Exemplo:

Desejamos recuperar um solo que tem as seguintes características: percentagem de sódio trocável inicial (PSTi) = 40; percentagem de sódio trocável final (desjada) (PSTf) = 10; capacidade de troca de cátions ... 25 meq, 100g de solo:

$$\text{N.C.} = (40 - 10/100) 25 = 7,5 \text{ meq}/100\text{g}$$

Se desejamos expressar esta quantidade por hectare, torna-se necessário conhecer a densidade aparente do solo e a profundidade a ser recuperada.

Considerando que o solo do exemplo anterior tenha uma densidade aparente de 1.300 kg/m<sup>3</sup> e que se deseja recuperar uma profundidade de 30 cm.

O volume total do solo será: 10.000 m<sup>2</sup>/ha x 0,3 m = 3.000 m<sup>3</sup>/há.

O peso total do solo será: 3.000 m<sup>3</sup>/ha x 1.300 kg/m<sup>3</sup> = 3.900.000 kg/ha.

Se em 100g de solo temos que substituir 7,5 meq. Em 1 kg temos que substituir 75 meq e em 1 há a 30 cm de profundidade temos que substituir 3.9 x 10<sup>6</sup> x 75 = 292,5 x 10<sup>6</sup> meq/ha.

Esta é a quantidade de corretivo requerida em miliequivalente e que pode ser suprida com qualquer corretivo que seja selecionado com base no tipo de solo e custo do corretivo.

Na Tabela 5 mostra-se a quantidade de miliequivalentes por tonelada de diferentes melhoradores, considerando que os mesmos têm 100% de pureza.

Tabela 5. Miliequivalentes por tonelada de diferentes melhoradores químicos considerando uma pureza de 100%.

CORRETIVO	MILIEQUÍVALENTES POR TON.
Enxofre	$62.5 \times 10^6$
Gesso	$11.6 \times 10^6$
Cloreto de cálcio	$18.0 \times 10^6$
Ácido sulfúrico	$20.4 \times 10^6$
Sulfato de ferro	$7.2 \times 10^6$
Sulfato de alumínio	$9.0 \times 10^6$

Como se observa na Tabela 5, a mesma quantidade em peso de diferentes melhoradores, produziu diferentes quantidades de miliequivalentes.

Para satisfazer as necessidades de corretivo do solo do exemplo anterior, é necessário a aplicação de  $292,5/62,5 = 4,68$  toneladas de enxofre ou com  $292,5/11,6 = 25,1$  toneladas de gesso por hectare.

#### 9.4. Forma de aplicação do corretivo

Uma vez determinada a quantidade necessária e o tipo do corretivo, torna-se necessário seguir uma metodologia de aplicação, dependendo do estado do corretivo. Como se sabe os corretivos podem ser líquidos como o ácido sulfúrico e sólidos como o gesso, enxofre, sulfatos de ferro e sulfato de alumínio.

Os melhoradores sólidos se devem aplicar diretamente no solo, ao passo que o ácido sulfúrico se aplica através da água de irrigação.

#### 9.5. Cálculo do volume de água necessário para dissolver o corretivo.

Antes da aplicação do corretivo no solo devemos saber se podemos contar com volumes necessários para dissolvê-lo. Este aspecto é importante ser considerado porque muitas vezes se aplica o corretivo ao solo e não se conta com água necessária para dissolve-lo fazendo com que os resultados obtidos não sejam os esperados.

Para evitar este problema, torna-se necessário calcular o volume de água necessário para dissolver o corretivo. Se houver limitação de água, só

se deve aplicar a quantidade de corretivo correspondente ao que se pode dissolver com o volume de água disponível.

Exemplo:

No problema anterior, para reduzir o PST de 40 par 10 em 1 há a 30 cm de profundidade são necessários  $292,5 \times 10^6$  miliequivalentes. Supondo-se que o corretivo que se deseja utilizar seja o gesso comercial com 70% de pureza e uma solubilidade de 30 meq/l a 20°C.

O volume de água necessário para dissolver o gesso, pode ser calculado usando-se a seguinte equação:

$$\text{VAN} = \frac{\text{NCH}}{\text{SC} \times \text{Pu}}$$

Donde:

VAN = volume de água necessária;

NCH = necessidade de corretivo por hectare, em meq/ha;

SC = solubilidade do corretivo, em meq/l.;

Pu = pureza do corretivo;

$$\text{VAN} = \frac{292,5 \times 10^6}{30 \times 0,7} = 13,93 \times 10^6 \text{ l/ha.}$$

Se dividimos  $13,93 \times 10^6$  m<sup>3</sup> /ha ou 10.000 m<sup>3</sup> (que tem um hectare) e multiplicarmos por 100 (para transformar em cm) daria a lâmina necessária o corretivo, que seria 139,3 cm.

## 10. CÁLCULO DA LÂMINA DE LAVAGEM

Para o caso dos solos salinos, a recuperação se realiza unicamente mediante a aplicação de água cujo volume se calcula com base na quantidade de sal que se deseja eliminar de uma profundidade determinada. Para que a lavagem seja efetiva. Torna-se necessário que a água passe através do solo e que exista drenagem adequada para sua eliminação.

Existem várias fórmulas empíricas para determinar as lâminas de lavagem suficientes para diminuir a salinidade do solo até o nível desejado.

Segundo Palácios (1969) das fórmulas empíricas existentes a mais indicada é a fórmula proposta por Volobuyev, por apresentar resultados mais aproximados aos obtidos em campo e laboratório.

A fórmula de Volobuyev tem a seguinte expressão:

$$L = a \log \frac{CE_i}{CE_f}$$

Onde:

L = lâmina de água em cm necessária para lavar um metro de profundidade de solo;

$CE_i$  = condutividade elétrica inicial do extrato de saturação do solo;

$CE_f$  = condutividade elétrica final desejada;

Log = logaritmo decimal;

A = coeficiente cujo valor depende do conteúdo de cloretos e da textura do solo. Podem ser tirados da Tabela 6.

TABELA 6. Conteúdo de cloreto em % e textura do solo utilizados na obtenção do coeficiente proposto por Volobuyev.

TEXTURA	CONTEÚDO DE CLORETOS EM %			
	60 – 40	40 – 20	20 – 10	< 10
Pesada	122	132	142	178
Média	92	102	112	148
Ligeira	62	72	82	118

Exemplo do Cálculo:

Calcular a lâmina de água necessária para lavagem de um solo, que apresenta uma condutividade elétrica média de 80 milimhos e que

desejamos baixar em uma espessura de 100 cm, para 4 milinhos, o solo é de textura pesada com 42% de cloretos.

Dados: Porcentagem de Cloretos 42%.

CEi = 80 milimhos

CEf = 4 milimhos.

A = textura pesada, com 42% de cloretos

$$L = 122 \log \frac{80}{4}$$

$$L = 122 \log 20$$

$$L = 122 \times 1.3010 = 158 \text{ cm.}$$

Segundo Dr. Everaldo Aceves Navarro\*, esta fórmula, embora seja uma das melhores entre as existentes, possui várias limitações como o coeficiente a que é dado só em função do conteúdo de cloretos do solo e da textura, sem considerar a influência que podem ter outros sais do solo e os incorporados com a água de irrigação, sobre o comportamento físico e químico dos solos que se submetem a lavagem. Por outro lado, a fórmula foi desenvolvida para calcular a lâmina de água necessária para lavar um metro de profundidade e, como se sabe, na lavagem de sais de diferentes espessuras de solo não existe linearidade, o que indica que se, por exemplo, uma espessura de 10 cm de solo se lava 7 cm de lâmina de água, 20 cm de espessura não necessita de 14 cm de água, já que quando a água passa de uma espessura de solo a outra, continua lavando os sais.

Partindo da fórmula de Volobuyev e fazendo experimentos no campo e no laboratório com solos do ex-lago de Texcoco se tem desenvolvido uma fórmula para calcular lâmina de lavagem solos onde o valor de a tem sido determinado em função da qualidade química da água de lavagem da faixa de salinidade dos solos e da espessura do solo por lavar. A fórmula é a seguinte:

$$L = 9.0 (p) 0.75 \frac{(70 - C_{er})}{C_{Ei} - C_{ef}} 0.3 \log \frac{C_{Ei}}{C_{ef}}$$

Donde:

L = lâmina de água necessária, em cm;

P = profundidade do solo por lavar, em cm;

Cer = condutividade elétrica da água de lavagem em mmhos / cm a 25 .;

Cef = condutividade elétrica final desejada;

Cei = condutividade elétrica inicial.

Ao usar esta fórmula deve-se ter o cuidado de que a condutividade elétrica final (Cef) não seja menor de que a condutividade elétrica da água de lavagem (CER) já que o máximo que se pode lavar um solo, é um valor igual à condutividade elétrica da água que será utilizada para tal fim.

Esta fórmula, elaborada com um procedimento matemático, é similar à expressão de Volobuyev, porém tem a vantagem de que, ao coeficiente a estão integrados fatores como: a qualidade química da água, as condições de salinidade do solo, a tolerância do cultivo aos sais e a profundidade de lavagem.

Exemplo do Uso da Metodologia:

Um solo que apresenta as seguintes características: condutividade elétrica inicial do solo = 14 mmhos / cm; profundidade que se deseja recuperar = 30 cm; condutividade elétrica da água de irrigação: 1.6 mmhos / cm; condutividade elétrica desejada ou permissível: 6 mmhos / cm.

Substituindo-se os valores tem-se:

$$L = 9.0 (30)^{0.75} (70 - 1.6/14 - 1.6)^{0.3} \log 14/6$$

$$L = 9 \times 12.82 \times 1.67 \times 0.37 = 71.0 \text{ cm.}$$

A água é mais eficiente na eliminação dos sais quando se fraciona a lâmina por aplicar em forma intermitente, sem deixar que ocorra processo de redistribuição de sais, que quando se aplica toda de uma só vez.

## BIBLIOGRAFIA

AYERES, R.S. e D.W. WESTCOT, water quality for agriculture, Irrigation and drainage paper, Roma, FAO Nº 29, 1976. 95p.

ARITA, ARMENDARIZ, C. Problema actual de ensalitramiento en los distrito de riego. In: MÉXICO, Secretaria de Recursos Hidráulicos. Salinidade de los suelos y Calidad del Agua de Riego. México, 1976. p. 7-34 (memorando Técnico 351).

ALLISON, L.E. La salinidad y su relacion con el riego. México, Centro Regional de Ayuda Técnica, 1966. Reimpresso de Adelantes en Agronomia, v. 16.

ALLISON, L.E. Salinity in relation to irrigation. Adv. Agron. 16:139-80, 1964.

CORDEIRO, G.G. Aspectos gerais sobre salinidade em áreas irrigadas: origem diagnóstico e recuperação. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1988. 16p. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 50)

CORDEIRO, G.G. Caracterização dos problemas de sais dos solos irrigados do projeto São Gonçalo. Campina Grande, PB, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1977. 108p. il. Tese mestrado.

CORDEIRO, G.G. ; BARRETO, N. & GARRI, C.R.C. Levantamento das condições de salinidade e sodicidade do Projeto de irigaçao de São Gonçalo (2ª parte). Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA, 1986. 51p.

EATON, E.M. Significance of carbonate in irrigation waters. Soil Sci., 69: 123-33, 1950

FULLER, W.H. Water, soil, and crop management. Principles for the control of salts. Tucson, Univ. of Arizona, 1967. 21p. (Bulletin, A-43).

KAMPHORST, A. & BOLT, G.N. Saline and sodic soils. In: Bolt, G.H. & Bruggewert, M.G.E., ed. Soil chemistry. Wageningen, Elsevier, 1978. p. 221-91.

KOVDA, V.A. Soil in relation to salinity irrigation and drainage. In: IRRIGATION DRAINAGE AND SALINITY. Paris, FAO/UNESCO, 1973. p. 55-79.

KOVDA, V.A. El sistema de drenaje em la lucha contra la salinidad de tierras irrigadas. In: ACADEMIA DE CIENCIAS DE LAS URSS. Institute de Suelos V.V. Dukuchaev. La aplicación del drenaje en la recuperación de suelos salinos. México, 1964. 244p.

KELLEY, W.P. Álcali soils; their formation, properties and reclamation. New York, Reinhold, 1951. 234p. (ACS. Monograph, III).

LEWIS, G.C. & JUVE, R.L. Some effects of irrigation water quality on soil characteristics. Soil Sci., 81: 125-37, 1956.

MELLO, F.E. de S. ; BECERRA, G.E. & GURGEL, E.A. Estudo de solos nos Vales do Nordeste para fins de irrigação 13. Fortaleza, DNOCS, P.7-38.

PIZARRO, F. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Fortaleza, SUDENE/DNOCS, 1976. 466P.

PALACIOS, V.O. Apuntes sobre alguns problemas de drenaje y ensalitramiento de terrenos agrícolas. Chapingo, México, Escuela Nacional de Agricultura, Colegio de Postgraduados 1969. 244p.

PEÑA, I. De la. Normas para efetuar estudios de salinidad. Bol. Del Comité Directivo Agrícola del distrito de riego del Rio Yoqui, Sonora, 7(23) : 5-15. 1968-1969.

RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and álcali soils. Washington, USDA, 1954. 160p. (USDA. Hand-book, 60).

THORNE. D.W. & PETERSON, H.B. Técnica del Riego, fertilidad y Explotacion de los suelos. 2.ed. México. Companhia Editorial Continental, 1964. 496p.

THORNE, D.W. & THORNE, J.P. Changes in composicion of irrigated soils as related to the quality of irrigation waters. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 18:92, 1954.

VALDIVIESO, S. , C.R. & CORDEIRO, G.G. Perspectivas do uso de águas subterrâneas do embasamento cristalino no Nordeste Semi-Árido do Brasil.

Petrolina-PE. EMBRAPA/CPATSA, 1985. 40P. (EMBRAPA/CPATSA. Documentos, 39).

WHITEMORE, J. Saline and sodic soils. S.I., s.ed., 1975. 7p. Mimeografado.

WILCOX, L.V. The quality of water for irrigation use. Washington, DC, USA, Tech. Bul. 962, 1948. 32p.

WILCOX, L.V. SALINITY IN RELATION TO IRRIGATION. ADV. AGRON. 16 : 139-80, 1964.

WILCOX, L.V. ; BLAIR, G.Y. & BOWER, C.A. Effect of bicarbonate on suitability of water for irrigation. Soil Sci., 77 : 259-66, 1954.

ZYLSTRA, G. & SALINAS, Y. Calidad del agua de riego. Petrolina, s.ed., 1974. 10p.

**Embrapa**

---

**Semi-Árido**