

Solos afetados por sais e qualidade da água para irrigação



Problema potencial	Unidades	Nenhuma	Baixa a Moderada	Severa
Salinidade (efeito a longo prazo do solo salino)	mmol/L	< 3	3 - 12	> 12
Infiltração (avaliação de risco de contaminação)	cm/h	> 10	4 - 10	< 4
RAS - 0,3 e CEs	cm	> 15	12 - 15	< 12



Secretaria
da Agricultura,
Abastecimento,
Aqüicultura e Pesca



SOLOS AFETADOS POR SAIS E QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

André Guarçoni M.
José Geraldo Ferreira da Silva



INCAPER

Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
Rua Afonso Sarlo, 160 – Bento Ferreira – CEP 29052-010 – Vitória, ES – Caixa Postal 391

Fone: (27) 3137 9888 – Fax: (27) 3137 9868

dcm@incaper.es.gov.br – www.incaper.es.gov.br

Documentos nº 156

ISSN 1519-2059

Editor: DCM/Incaper

Tiragem: 2.000

Janeiro, 2008

Coordenação editorial

Liliâm Maria Ventorim Ferrão

Revisão técnica

José Sérgio Salgado e Lúcio Lívio Fróes de Castro

Projeto gráfico

Laudeci Maria Maia Bravin

Capa e editoração eletrônica

Dirley Paulina Nodari de Castro

Revisão de português

Raquel Vaccari de Lima Loureiro

Ficha catalográfica

Cleusa Zanetti Monjardim

631.42
M379s
2008

Guarçoni M., André

Solos afetados por sais e qualidade da água para irrigação / André
Guarçoni M., José Geraldo Ferreira da Silva. Vitória, ES: Incaper, 2008.
28 p. il. (Incaper. Documentos, 156)

ISSN 1519-2059

1. Solo Salino I. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e
Extensão Rural II. Guarçoni M., André III. Silva, José Geraldo Ferreira da
IV. Título V. Série

APRESENTAÇÃO

A irrigação é uma prática que vem permitindo a garantia da produção das lavouras em condições climáticas adversas. Em muitos casos tem sido possível, até mesmo, aumentar significativamente a produtividade. Quando bem planejada, a irrigação permite realizar a fertirrigação, que tem proporcionado economia de mão de obra e maior eficiência no uso dos fertilizantes.

O uso inadequado da irrigação e principalmente da fertirrigação, associado à má qualidade da água, pode trazer vários problemas para o solo e conseqüentemente às culturas. O acúmulo de sais, proveniente destas práticas, pode inviabilizar econômicamente o uso do solo, tornando-o improdutivo. Muitas vezes tem-se diagnosticado deficiência nutricional nas plantas, enquanto na verdade é uma toxidez originada por excesso de sais no solo.

Este documento apresenta alguns conceitos básicos a respeito do assunto de forma simples, para que o usuário possa se inteirar desses problemas e diagnosticar com maior facilidade os principais sintomas oriundos do excesso de sais no solo, além de fornecer algumas alternativas de convivência e técnicas de recuperação do solo.

A Diretoria

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. SALINIZAÇÃO DOS SOLOS.....	8
3. ACUMULAÇÃO DE SÓDIO TROCÁVEL NOS SOLOS	9
4. CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS AFETADOS POR SAIS	10
4.1 SOLOS SALINOS	11
4.2 SOLOS SÓDICOS.....	12
4.3 SOLOS SALINO-SÓDICOS.....	14
5. EFEITOS DA SALINIZAÇÃO SOBRE AS PLANTAS	15
6. EFEITO DO SÓDIO SOBRE AS PLANTAS	17
7. TOLERÂNCIA DAS PLANTAS À SALINIDADE	19
8. MANEJO E MELHORAMENTO DOS SOLOS AFETADOS POR SAIS	20
8.1 QUANTIDADES DE ÁGUA E DE CORRETIVOS (RECUPERAÇÃO DOS SOLOS).....	20
8.1.1 Solos Salinos	20
8.1.2 Solos Sódicos	21
9. QUALIDADE E CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO	24
10. REFERÊNCIAS	27

SOLOS AFETADOS POR SAIS E QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

André Guarçoni M.¹
José Geraldo Ferreira da Silva²

1. INTRODUÇÃO

Aproximadamente um terço da superfície da Terra encontra-se sob regime árido ou semi-árido e, desta forma, com potencial natural para desencadear o processo relacionado ao aumento dos níveis de sais do solo. Porém, nem todos os solos presentes em regiões secas são afetados por sais. Para que esse processo se desenvolva, é necessária a contribuição de diversos fatores além do clima, como, por exemplo, o material de origem dos solos, a topografia do terreno e as práticas utilizadas no manejo desses solos.

A incorporação de novas áreas ao processo produtivo ocorre, muitas vezes, sem o devido cuidado com a adoção de práticas de manejo que visem à conservação e manutenção da sua capacidade produtiva. A irrigação e, particularmente, a fertirrigação, amplamente difundidas e necessárias em áreas de clima mais seco, quando mal planejadas ou executadas, podem acarretar sérios problemas ambientais, chegando inclusive a inutilizar alguns solos para o processo produtivo.

Aliado à suscetibilidade natural de certos solos para desenvolver problemas de salinidade e/ou sodicidade, o uso da irrigação, sem maiores preocupações com o manejo adequado do solo e com a qualidade da água, tem contribuído para o aumento dos problemas de solos afetados por sais em todo o mundo e para a destruição de ecossistemas frágeis, como os de regiões áridas e semi-áridas.

¹ Eng^o. Agrônomo, D.Sc. Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador do Incaper, guarconi@incaper.es.gov.br

² Eng^o. Agrícola, D.Sc. Irrigação e Drenagem, Pesquisador do Incaper.

2. SALINIZAÇÃO DOS SOLOS

A salinização dos solos pode ocorrer naturalmente (salinização primária), em decorrência de processos pedogenéticos específicos, ou pode ser induzida pela ação do homem (salinização secundária) (AMARAL, 2005).

Os solos salinos encontram-se distribuídos principalmente em regiões de clima árido ou semi-árido. Em condições hídricas adequadas, os sais solúveis originalmente presentes nos materiais do solo e os formados pela intemperização dos minerais geralmente são lixiviados para camadas inferiores, atingindo os lençóis freáticos e, finalmente, transportados para os oceanos. Portanto, solos salinos não existem em regiões úmidas, exceto quando o solo é exposto às águas marinhas. Nas regiões áridas e semi-áridas, a baixa precipitação, associada ao efeito da elevada evapotranspiração, dificulta a lixiviação de sais, propiciando sua concentração na superfície dos solos e na água superficial.

A drenagem restrita é outro fator que freqüentemente contribui para a salinização dos solos. Devido à baixa precipitação, os fluxos superficiais de escoamento são pouco desenvolvidos e, não havendo saída para correntes, os sais são carregados dos trechos mais elevados da área, concentrando-se nas baixadas e depressões (Kelley, 1951). Há casos em que poderá ocorrer formação de lençol freático próximo à superfície do solo, impedindo a percolação profunda dos sais. Nessas condições, a ascensão da água do lençol por diferença de potencial, devido à evaporação, acumulará sais na superfície do terreno, podendo torná-lo um solo salino (KLAR, 1987).

No caso da salinização secundária, induzida pela ação humana, o problema de maior importância econômica relativo a solos salinos se apresenta quando, em consequência de irrigação/fertirrigação mal planejada, um solo não salino se torna salino, devido ao excesso de sais na água de irrigação ou de fertilizantes com altos teores de sais (RICHARDS, 1970).

3. ACUMULAÇÃO DE SÓDIO TROCÁVEL NOS SOLOS

As partículas do solo adsorvem e retêm cátions em consequência das cargas elétricas que existem na sua superfície. Os cátions adsorvidos podem ser trocados por outros cátions que se encontrem na solução do solo, numa reação denominada troca catiônica. Os cátions sódio, cálcio e magnésio são facilmente trocáveis. Outros cátions, como o potássio e o amônio, principalmente em argilas 2:1, podem ficar retidos em determinada posição nas partículas do solo, de maneira que sua troca fica dificultada, podendo-se dizer que estão fixados. Nos solos de origem tropical, esta fixação, quando observada, não é freqüente.

A troca de cátions é um fenômeno de superfície e, como tal, ocorre principalmente nas menores partículas de silte, na argila e nas frações de matéria orgânica. Muitas classes de diferentes minerais e materiais orgânicos que se encontram no solo possuem propriedades de troca catiônica e, ao seu conjunto, denomina-se complexo de troca. A capacidade de um solo para adsorver e trocar cátions pode-se medir e expressar em equivalentes químicos e se denomina capacidade de troca catiônica (CTC, em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$). Em vista dos cátions adsorvidos serem trocados livremente com os cátions adjacentes da solução do solo, é de se esperar que a proporção dos vários cátions presentes no complexo de troca esteja relacionada com sua concentração na solução do solo.

O cálcio e o magnésio são os principais cátions que se encontram na solução e no complexo sortivo de solos normais de regiões áridas. Quando nesses solos se acumula um excesso de sais solúveis, geralmente é o cátion sódio que predomina na solução do solo, pois à medida que a solução do solo se concentra, devido à evapotranspiração da água, os limites de solubilidade do sulfato e carbonato de cálcio e de magnésio quase sempre se excedem, sendo precipitados, causando o correspondente aumento das proporções relativas de sódio.

4. CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS AFETADOS POR SAIS

Para efeito de distinção, os solos afetados por sais são classificados (caracterizados) em três tipos: salinos, sódicos e salino-sódicos. Essa classificação é realizada de acordo com algumas propriedades químicas indicativas de suas características salinas e/ou sódicas, propostas pelo Laboratório de Salinidade do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (RICHARDS, 1970). Os critérios usados são a Condutividade Elétrica (CE) do extrato de saturação, que representa a concentração de sais solúveis, e a Percentagem de Sódio Trocável (PST), calculada em relação à Capacidade de Troca de Cátions do solo (CTC pH 7) (Tabela 1).

A CE é medida diretamente no extrato da pasta de saturação do solo, por meio de condutímetro, sendo seu resultado fornecido em deciSiemens por metro (dS/m) e corrigido para a temperatura de 25°C.

Com base na proporção da capacidade de troca catiônica do solo (CTC) ocupada pelo cátion sódio (Na), é determinada a PST pela seguinte fórmula (FASSBENDER; BORNEMISZA, 1987):

$$PST = \frac{\text{Na Trocável}}{\text{CTC (pH 7)}} \times 100, \text{ em que:}$$

PST representa a Percentagem de Sódio Trocável (%); Na é o sódio trocável extraído com HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N e determinado comumente por fotometria de chama ou por espectrofotometria de absorção atômica, sendo expresso em cmol_c/dm³; CTC é a Capacidade de Troca Catiônica do solo, determinada pelo método do cátion índice e expressa em cmol_c/dm³ (EMBRAPA, 1997).

Tabela 1. Critérios e limites para classificação de solos normais, salinos, sódicos e salino-sódicos

Critérios	Tipos de Solos			
	Normal	Salino	Sódico	Salino-Sódico
CE(dS/m 25°C)	< 4	≥ 4	< 4	≥ 4
PST (%)	< 15	< 15	≥ 15	≥ 15
pH	4 a 8,5	≤ 8,5	8,5 a 10	Próximo de 8,5

Fonte: Richards, 1970.

4.1 SOLOS SALINOS

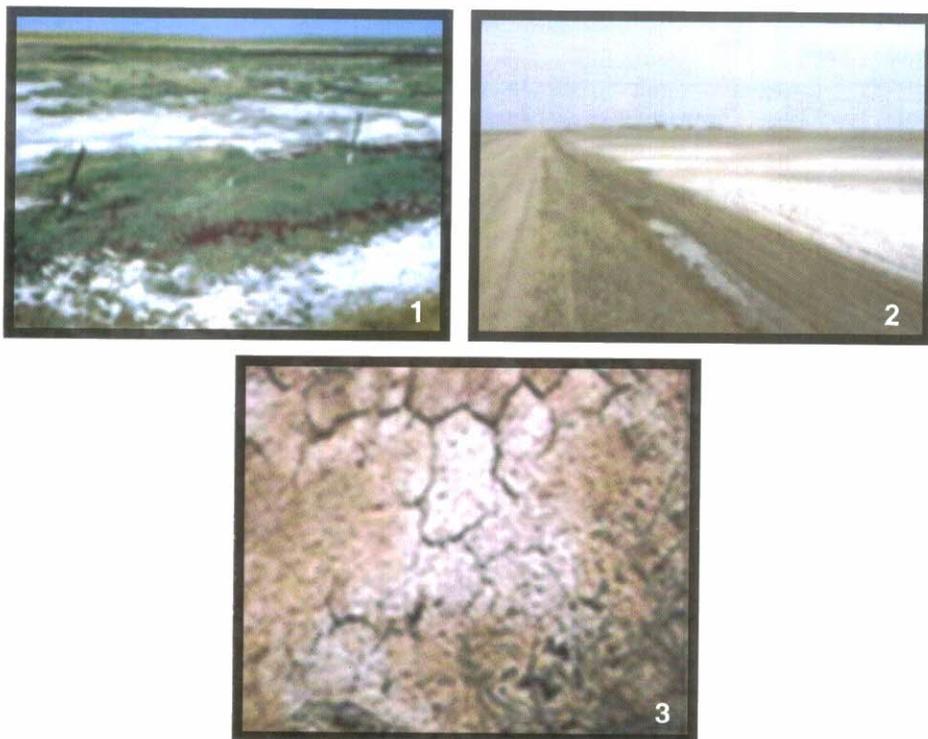
O termo salino se aplica a solos cuja CE do extrato de saturação é maior ou igual a 4 dS/m a 25 °C, com uma PST menor que 15. Geralmente, o pH é menor que 8,5. Estes solos correspondem ao tipo descrito por Hilgard (1906), citado por Richards (1970), como solos "álcali branco". Quase sempre se reconhecem os solos salinos pela presença de crostas brancas de sal em sua superfície. Nestes solos, o estabelecimento de drenagem adequada permite eliminar, por lixiviação, os sais solúveis, transformando-os novamente em solos normais.

As características químicas dos solos salinos são determinadas principalmente pelo tipo e quantidade de sais presentes. A quantidade de sais solúveis presentes controla a pressão osmótica da solução do solo. O sódio raramente representa mais da metade do total de cátions solúveis e, portanto, não é adsorvido em quantidades apreciáveis. As quantidades relativas de cálcio e magnésio presentes na solução do solo e no complexo de troca variam consideravelmente. Tanto o potássio solúvel como o trocável são, em geral, constituintes de menor importância. Os ânions principais são o cloreto, o sulfato e às vezes o nitrato. Podem apresentar-se também pequenas quantidades de bicarbonato, porém, invariavelmente, os carbonatos solúveis quase não são encontrados (RICHARDS, 1970).

Devido a presença de sais em excesso e baixas quantidades de sódio ocupando os pontos de troca, os solos salinos apresentam-se

normalmente em estado floculado e sua permeabilidade é igual ou superior a dos solos normais (TAN, 1993).

Nas Figuras 1, 2 e 3, são mostrados exemplos de solos salinos em estágio avançado de salinização, evidenciando a crosta branca causada pela deposição de sais na superfície do solo.



Figuras 1, 2 e 3. Solos salinos em estágio avançado de salinização.

Fontes: <http://www.eman-rese.ca/eman/reports/publications/tomlin/images/fig33-t.gif>; http://www.pyramidsalt.com.au/images/salinity_soil.jpg

4.2 SOLOS SÓDICOS

São considerados solos sódicos aqueles cuja CE é menor que 4 dS/m a 25 °C e a PST é maior ou igual a 15 %. O pH geralmente varia entre 8,5 e 10. Estes solos se encontram, com muita freqüência, nas regiões áridas e semi-áridas, em áreas pequenas e irregulares, conhecidas

como "manchas de álcali impermeáveis". A eliminação do excesso de sais neste tipo de solo tende a aumentar o grau de hidrólise do sódio trocável, o qual freqüentemente eleva o valor do pH.

Com o tempo, os solos sódicos adquirem características morfológicas peculiares, devido à grande dispersão da argila parcialmente saturada com sódio. Esta pode ser translocada para horizontes inferiores, e, como resultado, alguns centímetros de solo superficial podem apresentar textura relativamente grossa e quebradiça. Na região em que ocorre a acumulação de argila, o solo pode desenvolver uma capa densa e de baixa permeabilidade, com estrutura prismática ou colunar.

O sódio trocável em um solo sódico pode ter influência marcante em suas propriedades físicas e químicas. Ao aumentar a proporção de sódio trocável, as partículas de argila do solo tendem a se dispersar, e o pH pode aumentar até 10. Na solução de solos sódicos, é relativamente baixa a concentração de sais solúveis, sendo que difere consideravelmente daquelas presentes em solos normais e em solos salinos. Com pH muito elevado e em presença de íons carbonato, o cálcio e o magnésio precipitam, predominando o sódio na solução de solos sódicos. Porém, grandes quantidades de potássio trocável e solúvel podem estar presentes em solos sódicos (RICHARDS, 1970).

A Figura 4 mostra um exemplo de solo sódico, evidenciando a dispersão de argila.



Figura 4. Solo sódico, com dispersão de argila evidenciada.

Fonte: http://www.agric.nsw.gov.au/Agedu/Tocal/salinity/photos/photo3_2.jpg

4.3 SOLOS SALINO-SÓDICOS

Os solos salino-sódicos contêm sódio trocável suficiente para interferir no crescimento adequado da maioria das plantas, contendo também quantidades prejudiciais de sais solúveis. Esses solos apresentam valores de CE superiores ou iguais a 4 dS/m a 25 °C e de PST maiores ou iguais a 15 %. Geralmente, são solos que apresentam propriedades físicas menos problemáticas do que os solos sódicos, devido ao efeito floculante dos sais solúveis presentes que, de certa forma, equilibram a dispersão promovida pelo sódio trocável (FASSBENDER; BORNEMISZA, 1987).

Os valores limites determinados pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos e que são amplamente utilizados até hoje para a classificação de solos segundo seu grau de salinidade estão sendo revistos. De fato, solos contendo valores baixos de condutividade elétrica podem afetar significativamente a produtividade das culturas, principalmente aquelas mais sensíveis. Um valor de CE de 4 dS/m a 25 °C está muito acima do limite de tolerância de algumas culturas, o que pode acarretar reduções de 10 % na produtividade das mesmas. O feijão, por exemplo, bastante cultivado no Nordeste brasileiro, apresenta queda de produtividade com valores de CE entre 1,5 e 2,0 dS/m, dependendo da variedade. Desta forma, fica evidenciado que o limite de 4 dS/m não corresponde à realidade (MAGALHÃES, 1995) (Tabela 2).

Tabela 2. Tolerância de algumas culturas a sais solúveis no solo de acordo com a condutividade elétrica do extrato da pasta saturada.

Cultura	Limite de tolerância	Decréscimo de 10% na
		produtividade
CE (dS/m a 25°C)		
Feijão	1,0	1,5
Feijão macassar	1,3	2,0
Cebola	1,2	1,8
Uva	1,5	2,5
Citrus	1,7	2,3
Tomate	2,5	3,5

Fonte: Magalhães (1995).

A Figura 5 mostra um solo salino-sódico resultante de manejo inadequado da irrigação.



Figura 5. Solo salino-sódico

Fonte: http://waterquality.montana.edu/docs/photo/Images/research/Hort%2520Barley/2004/saline_sodic_soil_L.jpg

5. EFEITOS DA SALINIZAÇÃO SOBRE AS PLANTAS

As plantas que se desenvolvem em solos salinos são usualmente menores do que seriam em solos normais. Às vezes são mais escuras, devido ao alto teor de clorofila e por terem a cutícula mais espessa. Ocasionalmente, ocorrem manchas de coloração marrom, mosqueamentos e amarelecimento (clorose) nas folhas. Internamente, há modificações morfológicas: a espessura das paredes celulares é aumentada, e a proporção de vasos condutores é diminuída (Klar, 1987). As Figuras 6, 7 e 8 mostram os sintomas do efeito salino em banana, manga e goiaba, respectivamente.

Certos sais tóxicos exercem toxicidade nas plantas: por exemplo, o boro não deverá ultrapassar $0,7 \mu\text{g/mL}$ no extrato de saturação do solo para pêssegos e uvas que, com $3,8 \mu\text{g/mL}$, morrem. Há ligações entre os diferentes elementos na sua toxidez; o magnésio, por exemplo, pode ter seu efeito tóxico aliviado por uma maior concentração de cálcio (KLAR, 1987).

As Figuras 9 e 10 mostram os sintomas da toxicidade de boro em eucalipto e laranja, respectivamente.



Figura 6. Sintomas do efeito salino na cultura da banana.

Fonte: <http://www.cnps.embrapa.br/sibcti/fotos/4mvc-015f.jpg>



Figura 7. Sintomas do efeito salino na cultura da manga.

Fonte: <http://www.cnps.embrapa.br/sibcti/fotos/12mvc-006f.jpg>



Figura 8. Sintomas do efeito salino na cultura da goiaba.

Fontes: <http://www.cnps.embrapa.br/sibcti/fotos/2mvc-006f.jpg>; <http://www.cnps.embrapa.br/sibcti/fotos/5mvc-016f.jpg>

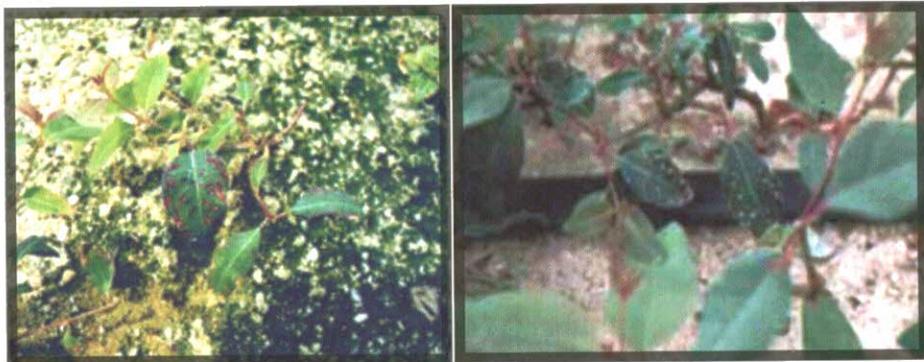


Figura 9. Sintomas da toxicidade de boro em eucalipto.

Fonte: <http://www.potafos.org/ppiweb/brazil.nsf>

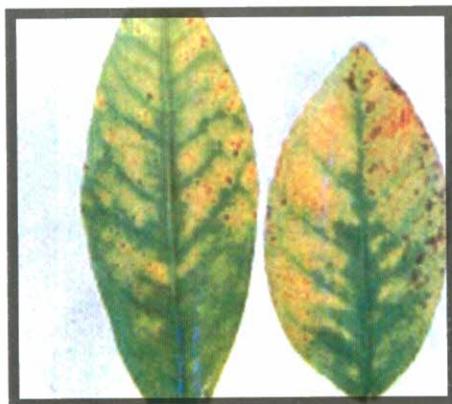


Figura 10. Sintomas da toxicidade de boro em laranja.

Fonte: <http://edis.ifas.ufl.edu/images/1873214238>

6. EFEITO DO SÓDIO SOBRE AS PLANTAS

Tem-se observado que, embora não sendo considerado um nutriente para as plantas, o sódio, quando presente em pequenas concentrações no solo, pode estimular a produtividade de certas culturas.

É interessante ressaltar que, ainda em proporções mais elevadas, como ocorre nos solos sódicos, poucos casos de toxicidade devida a esse elemento têm sido observados (DAKER, 1984).

Trabalhos citados por Richards (1970) relatam alguns casos de queimaduras e lesões apicais nas folhas de certas plantas e uma menor acumulação de cálcio, magnésio e potássio, na medida em que se aumentou a porcentagem de sódio trocável no solo. O menor acúmulo de Ca, Mg e K pelas plantas deve-se à remoção desses cátions do complexo de troca pelo sódio trocável, presente em alta concentração na solução do solo, causando posterior lixiviação e dificultando, dessa forma, sua absorção. Por outro lado, Ratner (1944), citado por Richards (1970), afirma que, nessas condições, ocorre remoção de cálcio dos tecidos radiculares da planta, que pode vir a morrer por deficiência de cálcio. Na Figura 11 é mostrado o efeito do excesso de sódio em folhas e botões florais de roseira.



Figura 11. Efeito do excesso de sódio em folhas e botões florais de roseira.

Fonte: www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Atlas/F5429.gif; www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Atlas/Ccf1557.gif

Os efeitos secundários do sódio sobre o desenvolvimento vegetal, através de modificações estruturais adversas do solo, parecem ser, na realidade, os mais importantes. Se o complexo de troca do solo contiver quantidades apreciáveis de sódio trocável, principalmente se o solo for argiloso, pode ocorrer dispersão, tornando-o pesado, impermeável, com baixa reação e com baixa disponibilidade de água para as plantas (DAKER, 1984).

7. TOLERÂNCIA DAS PLANTAS À SALINIDADE

A tolerância da planta à salinidade aumenta de acordo com a capacidade desta em se ajustar à elevada pressão osmótica. A tolerância não é fixa em termos quantitativos, podendo variar com as condições ambientais (temperatura, umidade relativa etc.).

Uma das maneiras de contornar a salinidade do solo é usar plantas tolerantes aos sais. O Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos da América classifica as plantas em três grupos: plantas de alta, média e baixa tolerância aos sais. Entre as primeiras, podem ser citadas como exemplo a beterraba açucareira, a cevada, o algodão e o nabo. Como exemplo de tolerância média citam-se, entre outras, figueira, oliveira, alfafa, linho, tomate, arroz, aveia, melão, alface, girassol, trigo e mamoeiro. Entre as de baixa tolerância estão cerejeira, macieira, citrus, maracujazeiro, mangueira, repolho, batata, feijões e trevos (MAAS, 1984).

A salinidade dos solos é caracterizada por dois aspectos: baixos potenciais osmóticos e altas concentrações de sódio e outros íons, que podem ser tóxicos às plantas. As plantas têm capacidade de promover ajustes osmóticos, ou seja, as células aumentam sua concentração de solutos, com decréscimos nos potenciais internos de água, que se tornam suficientemente mais baixos que os potenciais de água externos. Apesar desse ajuste, mantendo um gradiente de potencial hídrico entre o meio ambiente e as células das plantas favorável à entrada de água nas células, a velocidade com que a água penetra pode ser tão baixa que o crescimento e o metabolismo, em geral, podem declinar consideravelmente (KLAR, 1987).

A redução dos potenciais de água nos diversos pontos do conjunto solo-planta aumenta a resistência hidráulica e diminui, conseqüentemente, a velocidade da solução para prover satisfatoriamente a demanda hídrica da planta e da atmosfera. Por outro lado, a capacidade da célula vegetal para acumular sais é limitada. No entanto, a tolerância à salinidade pode ser melhorada por seleção de espécies e cultivares com maior capacidade de ajuste osmótico (KLAR, 1987).

8. MANEJO E MELHORAMENTO DOS SOLOS AFETADOS POR SAIS

A irrigação, a lixiviação dos sais e a drenagem são fatores a serem considerados conjuntamente no manejo e no melhoramento dos solos afetados por sais.

Em regiões áridas e semi-áridas, devido à não ocorrência de precipitação natural em quantidade suficiente, o controle da salinidade faz parte de qualquer planejamento agrícola. Quanto maior for o teor de sais do solo, maior o volume de água a se aplicar para manter a salinidade do solo abaixo de um nível crítico. Por outro lado, há casos em que a condutibilidade hidráulica do solo é tão baixa que a agricultura irrigada não é factível economicamente (KLAR, 1987).

8.1 QUANTIDADES DE ÁGUA E DE CORRETIVOS (RECUPERAÇÃO DOS SOLOS).

A recuperação dos solos afetados por sais é realizada pela aplicação de água e/ou pela combinação do uso de corretivos e água em conformidade com a classificação salina do solo.

Bernardo (1986) cita a forma de recuperação dos solos afetados por sais (Tabela 3).

Tabela 3. Forma de recuperação dos solos afetados por sais segundo sua classificação

Classificação	Recuperação
Salino	Lixiviação dos sais
Sódico	Aplicação de corretivos e lixiviação dos sais
Salino-Sódico	Aplicação de corretivos e lixiviação dos sais

8.1.1 Solos Salinos

No cálculo da lâmina de irrigação a ser aplicada sobre uma área salina a ser corrigida, devem ser observados os teores de sais existentes

na água de irrigação, os teores tolerados pela cultura, além do consumo de água pelas plantas (RICHARDS, 1970).

Existem várias equações empíricas e semi-empíricas para determinar a lâmina d'água necessária à lixiviação dos sais da zona das raízes. A necessidade de lixiviação é definida como a fração de água de irrigação infiltrada que deve percolar e carrear os sais através da zona radicular, para manter a salinidade do solo a um determinado nível. A necessidade de lixiviação para controle da salinidade baseada no modelo de balanço de sais por meio da equação de Rhoades (FERREIRA, 1998), pode ser descrita como:

$$NL = \frac{CE_{ai}}{CE_{es} - CE_{ai}}, \text{ em que}$$

NL - necessidade de lixiviação (mm); CE_{ai} - condutividade elétrica da água de irrigação (dS/m); CE_{es} - média da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (dS/m) para determinada cultura que produz uma redução de 10% no rendimento (Tabela 2).

A lâmina anual de irrigação que se deve aplicar para satisfazer tanto à demanda das culturas quanto à necessidade de lixiviação pode ser estimada pela seguinte equação proposta por Ayers e Westcot (1985):

$$LA = ETC/(1 - NL), \text{ em que:}$$

LA - lâmina anual de irrigação (mm/ano); ETC - evapotranspiração da cultura (mm/ano); NL - necessidade de lixiviação.

8.1.2 Solos Sódicos

Richards et al. (1969), citados por Klar (1987), relatam que os solos sódicos podem ser divididos em três classes sob o ponto de vista do método corretivo: (1) solos contendo carbonatos alcalinos; (2) solos com pH superior a 7,5, mas livres daqueles carbonatos; (3) solos contendo

carbonatos alcalinos, mas com pH menor que 7,5. Quaisquer dos sais de cálcio solúveis, dos ácidos e dos produtores de ácidos, como o enxofre, podem ser usados para os solos da classe 1, com exceção do calcário. Os solos das classes 2 e 3, quando recebem ácidos, tendem a ter aumentada a sua acidez, daí ser interessante o uso de sais de cálcio solúveis.

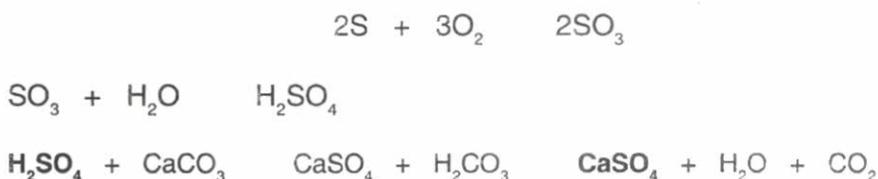
A aplicação de calcário aos solos das classes 2 e 3 tende a ser favorável, mas a solubilidade deste produto decresce com o aumento do pH, sendo efetivo a valores inferiores a 7,0.

As principais reações químicas que ocorrem nos solos durante o processo de correção podem ser resumidas da seguinte maneira:

□ **Gesso:**



□ **Enxofre ou ácido sulfúrico:**



Os corretivos, como o gesso, o enxofre e o calcário, são normalmente espalhados no solo e, então, incorporados por aração. A incorporação é especialmente importante quando se usa o enxofre, para proporcionar rápida oxidação à forma de sulfato. Devido à dificuldade de manuseio, o ácido sulfúrico torna-se de difícil aplicação sob condições normais de campo (KLAR, 1987). O mesmo autor relaciona as quantidades de gesso e enxofre necessárias à substituição do sódio (Tabela 4).

Tabela 4. Quantidades de gesso e enxofre necessárias para substituir o sódio trocável

Sódio trocável cmol _c /dm ³	Gesso (CaSO ₄ .2H ₂ O)		Enxofre (S)	
	h = 30 cm	h = 15 cm	h = 30 cm	h = 15 cm
	----- t/ha -----			
1	4,20	2,10	0,79	0,40
2	8,40	4,20	1,58	0,79
3	12,60	6,30	2,37	1,19
4	16,80	8,40	3,16	1,58
5	21,00	10,50	3,95	1,98
6	25,20	12,60	4,74	2,37
7	29,40	14,70	5,53	2,77
8	33,60	16,80	6,32	3,16
9	37,80	18,90	7,11	3,56
10	42,00	21,00	7,90	3,95

Fonte: Klar (1987).

Segundo Vitti et al. (1995), a necessidade de gesso pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$NG = [(PST_i - PST_f) \times CTC \times 86 \times h \times d] / 100, \text{ em que:}$$

NG - necessidade de gesso (kg/ha); (PST_i - PST_f) - diferença entre a percentagem de saturação inicial e a desejada de sódio no solo; CTC - capacidade de troca de cátions (cmol_c/dm³); h - profundidade (espessura da camada) do solo que se deseja recuperar (cm); d - densidade aparente do solo (g/cm).

Os solos sódicos devem ser irrigados após a aplicação dos corretivos, pois a água aplicada dissolve e carrega o corretivo para baixo, removendo os sais de sódio solúveis que se formam após a troca de cátions.

Quando o corretivo utilizado é o enxofre, a lixiviação só deve ocorrer de 30 a 60 dias após a aplicação, tempo necessário para que haja oxidação e formação de sulfato de cálcio, que deslocará o sódio do complexo de

troca. No entanto, no caso deste corretivo, o solo deve ser umedecido após a aplicação para que o processo de oxidação microbiana seja rapidamente promovido.

9. QUALIDADE E CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

A qualidade da água de irrigação pode variar significativamente segundo o tipo e a quantidade de sais dissolvidos. Os sais encontram-se em quantidades relativamente pequenas, porém significativas, e têm sua origem na dissolução ou intemperização das rochas e solos, incluindo a dissolução lenta do calcário, do gesso e de outros minerais. Os sais são transportados pelas águas de irrigação e depositados no solo, onde se acumulam à medida que a água se evapora ou é consumida pelas culturas (AYERS; WESTCOT, 1985).

Quando se utilizam águas com valores menores aos correspondentes a "nenhuma" restrição ao uso da água (Tabela 5), de modo geral, não se apresentam ou não se identificam problemas nas culturas ou no solo. Por outro lado, quando a restrição é "baixa a moderada" os cuidados têm que ser cada vez maiores com a seleção das culturas e com as alternativas de manejo para maximizar os rendimentos da lavoura. Com restrição "severa" implica no aparecimento de problemas no solo e nas culturas, incluindo redução de produtividade e a necessidade de contar com um manejo eficiente visando eliminar os problemas advindos da qualidade da água.

A Razão de Adsorção de Sódio (RAS), apresentada no Quadro 5, é uma importante análise laboratorial para se definir a qualidade da água de irrigação. A RAS é calculada a partir dos teores de Ca, Mg e Na solúveis, presentes na água de irrigação, segundo a fórmula:

$$RAS = \frac{\text{Na solúvel}}{[(\text{Ca} + \text{Mg solúveis}/2)]^{1/2}}, \text{ em que:}$$

RAS representa a Razão de Adsorção de Sódio; o Na é representado pela concentração de sódio da água, expresso em mmol/L; o Ca e o Mg

representam as concentrações de cálcio e magnésio na água, expressas em mmol/L.

Tabela 5. Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação¹

Problema potencial	Unidades	Grau de restrição para uso		
		Nenhuma	Baixa a Moderada	Severa
Salinidade (afeta a disponibilidade de água para a cultura) ²				
CEa	dS/m	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Ou				
SDT	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltração (avaliada usando CEa e RAS conjuntamente) ³				
RAS = 0 - 3 e CEa =		> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
= 3 - 6 =		> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
= 6 - 12 =		> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
= 12 - 20 =		> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
= 20 - 40 =		> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Toxidez de íons Específicos (afeta culturas sensíveis)				
Sódio (Na)⁴				
Irrigação por superfície	RAS	< 3	3 - 9	> 9
Irrigação por aspersão	Meq/l	< 3	> 3	
Cloreto (Cl)⁴				
Irrigação por superfície	Meq/l	< 4	4,0 - 10	> 10
Irrigação por aspersão	Meq/l	< 3	> 3	
Boro (B)	mg/l	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Oligoelementos (ver Tabela 7)				
Outros (afetam culturas sensíveis)				
Nitrogênio (NO ₃ - N) ⁵	mg/l	< 5,0	5,0 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO ₃)				
(apenas aspersão convencional)	meq/l	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
pH		Faixa normal: 6,5 - 8,4		

1 - Fonte: University of California Committee of Consultants, 1974; 2 - CEa significa Condutividade Elétrica da água, medida da salinidade, expressa em deciSiemens por metro (dS/m) a 25°C ou em milimhos/cm (mmhos/cm). Ambas as medidas são equivalentes. SDT significa total de sais em solução, expressa em miligrama por litro (mg/l); 3 - RAS significa Razão de Adsorção de Sódio algumas vezes representada como RNA. Para determinado valor da RAS, a velocidade de infiltração aumenta à medida que aumenta a salinidade. Avalia-se o problema potencial de infiltração através da RAS e da CEa. Fonte: Rhoades (1977) e Oster & Schroer (1979); 4 - A maioria das culturas arbóreas e plantas lenhosas são sensíveis ao sódio e ao cloreto. No caso de irrigação por superfície, usam-se os valores indicados; 5 - NO₃ - N, significa nitrogênio em forma de nitrato expresso em termos de nitrogênio elementar (no caso de análises de águas residuais devem ser incluídos NH₄⁺ - N e N - orgânico).

Quando as culturas são irrigadas com águas contendo altos teores de sódio, este íon acumula-se no solo, dispersando os agregados que, conseqüentemente, entopem os poros do solo. Este problema também pode ser provocado por teores extremamente baixos de cálcio.

A água com CEa inferior a 0,5 dS/m e particularmente abaixo de 0,2 dS/m tende a lixiviar os sais solúveis do solo, incluindo os sais de cálcio, afetando a estabilidade dos agregados e a estrutura do solo, reduzindo, assim, seu espaço poroso. Esta redução da porosidade do solo traz consigo todos os problemas de redução da infiltração de água, aeração do solo, formação de crostas superficiais, entre outros.

Independentemente do valor da RAS, a água com CEa muito baixa (CEa < 0,2 dS/m), invariavelmente, causa problemas de infiltração. A dispersão do solo ocorre quando o teor de sódio supera o de cálcio numa proporção de 3:1. Este teor relativo de sódio provoca problemas sérios de infiltração da mesma maneira que uma salinidade muito baixa da água.

A recuperação de solos afetados por problemas de infiltração é necessária quando a velocidade de infiltração da água no solo torna-se tão lenta que não permite repor a água evapotranspirada e, tampouco, promove a lixiviação dos sais.

O tratamento deste problema pode ser realizado por meios químicos ou físicos. Os tratamentos químicos incluem a adição de corretivos, para modificar a composição química do solo ou da água, ou a mistura de duas ou mais águas de diferentes qualidades. Os tratamentos físicos incluem as práticas culturais para melhorar a infiltração ou mantê-la dentro dos limites aceitáveis. A CEa e a presença de Ca, Mg, Na e HCO_2 na água de irrigação são as principais causas dos problemas de infiltração gerados pela má qualidade da água.

Adição de corretivos na água de irrigação é mais eficaz quando o problema de infiltração deve-se à baixa salinidade da água (CEa < 0,2 dS/m) ou à RAS alta numa água de baixa a moderada salinidade (CEa < 1,0 dS/m). Os corretivos, como o gesso e o enxofre, aplicados diretamente ao solo são preferíveis e muitas vezes mais eficientes, quando a água tem salinidade moderada a alta (CEa > 1,0 dS/m) e valor de RAS elevado.

As diretrizes apresentadas na Tabela 5 têm por objetivo cobrir a grande amplitude de condições que se podem encontrar na agricultura irrigada. No entanto, quando se usa a água em condições muito diferentes das supostas na Tabela 5, é possível que as diretrizes necessitem de ajustes. Desvios importantes da suposição podem dar lugar a usos incorretos da água, sobretudo se sua qualidade corresponde ao limite entre duas situações. As diretrizes podem ser modificadas para adaptá-las às condições locais, sempre e quando se contar com suficiente experiência, ensaios de campo, observações ou resultados de pesquisa (AYERS; WESTCOT, 1985).

10. REFERÊNCIAS

- AMARAL, F.C.S. do. **Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque na região semi-árida**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. p. 220.:il.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water Quality for Agriculture**. FAO, Roma, 1985. (Documento Nº 29, Revisado 1). 218 p.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 4 ed. Viçosa, MG: UFV - Imprensa Universitária, 1986. 488 p.
- DAKER, A. **Irrigação e drenagem: a água na agricultura**. Rio de Janeiro. 6 ed., 1984. 3 v. 543 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.
- FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. **Química de solos: con énfasis en suelos de América Latina**. Costa Rica: IICA, 1987. 420 p.
- FERREIRA, P.A. **Manejo de água-planta em solos salinos**. Viçosa, MG: UFV - Imprensa Universitária, 1998. 93 p.
- KELLEY, W.P. **Alkali soils: their formation, properties and reclamation**. New York: Reinhold, 1951. 234 p.
- KLAR, A.E. **Engenharia da irrigação - Módulo 03 - relações água-solo-planta**. Brasília: ABEAS, 1987. parte A. 106 p.

MAAS, E.V. **Salt tolerance of plants**. In: CHRISTIE, B.R. (ed.) The handbook of plant science in agriculture. Boca Raton, Florida. CRC Press, 1984. p. 57-75.

MAGALHÃES, A.F. **Manejo da fertilidade dos solos irrigados: produtividade, degradação e correção**. In: XXI REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21, 1994, Petrolina, PE. **Anais...** Petrolina: Embrapa-CPATSA/SBCS, 1995. p. 77-86.

OSTER, J.D. & SCHROER, J.D. **Infiltration as influenced by irrigation water quality**. Soil Sci.Soc.Amer.J., (43):444-447, 1979.

RHOADES, J.D. **Potential for using saline agricultural drainage waters for irrigation**. In: PROC. WATER MANAGEMENT FOR IRRIGATION AND DRAINAGE. Reno, Nevada: ASCE, 1977. p. 85-116.

RICHARDS, L.A. **Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sodicos**. Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos de America, Manual de Agricultura Núm. 60, 1970. 172 p.

TAN, K.H. **Soil reactions. Principles of soil chemistry**. New York, Marcel Dekker, 1993. 362 p.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA COMMITTEE OF CONSULTANTS **Guidelines for interpretation of water quality for agriculture**. Davis, University of California, 1974. 13 p.

VITTI, G.C.; HOLANDA, J.S. de; CERQUEIRA LUZ, P.H. de, HERNANDEZ, F.B.T.; BOARETTO, A.E.; PENTEADO, S.R. **Fertirrigação: condições e manejo**. In: XXI REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21, 1994, Petrolina, PE. **Anais...** Petrolina: Embrapa-CPATSA/SBCS, 1995. p. 195-271.