

**Alterações Físico-Químicas em um Argissolo sob
Irrigação no Perímetro Nilo Coelho,
Município de Petrolina-PE**



ISSN 1678-0892

Dezembro, 2006

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 94

Alterações Físico-Químicas em um Argissolo sob Irrigação no Perímetro Nilo Coelho, Município de Petrolina - PE

*Fernando César Saraiva do Amaral
Sílvio Roberto de Lucena Tavares*

Embrapa Solos
Rio de Janeiro, RJ
2006

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1.024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ

Fone: (21) 2179-4500

Fax: (21) 2274.5291

Home page: www.cnps.embrapa.br

E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: Aluísio Granato de Andrade

Secretário-Executivo: Antônio Ramalho Filho

Membros: Marcelo Machado de Moraes, Jacqueline S. Rezende Mattos,
Marie Elisabeth C. Claessen, José Coelho de A. Filho, Paulo Emílio
F. da Motta, Vinícius de Melo Benites, Rachel Bardy Prado, Maria
de Lourdes Mendonça S. Brefin, Pedro Luiz de Freitas.

Supervisor editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Revisor de Português: *André Luiz da Silva Lopes*

Normalização bibliográfica: *Marcelo Machado Moraes*

Editoração eletrônica: *Pedro Coelho Mendes Jardim*

1ª edição

1ª impressão (2006): online

Todos os direitos reservados.

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

631.41

A485a Amaral, Fernando César Saraiva do.
Alterações físico-químicas em um argissolo sob irrigação no perímetro
Nilo Coelho, Município de Petrolina – PE / Fernando César Saraiva do
Amaral, Sílvio Roberto de Lucena Tavares – Dados eletrônicos. — Rio de
Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr>>

Título da página da Web (acesso em 7 set. 2006).

ISSN 1678-0892

1. Argissolos. 2. Pernambuco. I. Tavares, Sílvio Roberto de Lucena. II.
Título.

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Material e Métodos	11
Seleção e localização da área	11
Caracterização, identificação e classificação do solo	12
Nível do lençol freático	12
Coleta de solos	13
Análises físicas	14
Análises químicas	14
Resultados e Discussão	17
Curva característica de retenção de água	18
Monitoramento do lençol freático e condutividade elétrica da solução do solo	20
Alterações físico-químicas	25
Considerações finais	40
Referências Bibliográficas	42
Anexos	45

Alterações físico-químicas em um argissolo sob irrigação no Perímetro Nilo Coelho, município de Petrolina – Estado de Pernambuco

Fernando César Saraiva do Amaral

Sílvio Roberto de Lucena Tavares

Resumo

Com o objetivo de investigar e estudar a evolução da salinidade em um argissolo sob irrigação no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho em Petrolina - PE, e subsidiar os parâmetros estudados para melhoria do Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação (SiBCTI), foi desenvolvido um trabalho de campo, visando estabelecer e acompanhar as alterações físico-químicas no referido solo.

Os resultados das análises do solo e da água no final da investigação revelaram que a gênese do processo de lixiviação neste solo ainda está no início e que o processo é facilmente reversível, desde que sejam utilizadas técnicas simples para evitar o aumento da salinidade no solo, principalmente na parte inferior da encosta.

Termos para indexação: salinidade, gênese, recuperação de solo salino.

Physicochemical changes in a aridic haplustalf under irrigation in Petrolina county, Brazil

Abstract

In order to investigate and to study the evolution of the salinity in an alfissol under irrigation in the Senator Nilo Coelho Project in Petrolina county, and to adjust the parameters studied for improvement the Brazilian System Classification of Lands for Irrigation (SiBCTI), a field work was developed, seeking to establish and to monitoring the physical-chemistries alterations in referred soil.

The analyses of the soil and water revealed that the genesis of the salinisation process in this soil is still in the beginning and that the process is easily reversible, since simple techniques are used to avoid the increase of the salinity soil, mainly in the down of the slope.

Index terms: salinity, genesis, reclamation of saline soils.

Introdução

A salinidade do solo é um dos importantes fatores que afetam o rendimento dos cultivos. Em se tratando de regiões áridas e semi-áridas irrigadas, constitui um sério problema, limitando a produção agrícola e reduzindo a produtividade das culturas a níveis anti-econômicos. Nessas regiões, caracterizadas por baixos índices pluviométricos e intensa evapotranspiração, a baixa eficiência da irrigação e a drenagem insuficiente contribuem para a aceleração do processo de salinização.

O monitoramento da salinidade requer a aplicação de técnicas rápidas e apropriadas de avaliação e análise de dados. A avaliação tem como objetivo identificar os fatores que contribuem e/ou estão contribuindo para aumentar o grau de salinidade, definir um sistema de amostragem adequado e classificar os resultados conforme a magnitude dos dados.

A salinização do solo pode desenvolver-se naturalmente, quando as condições do ecossistema são propícias - altas taxas de evapotranspiração potencial, drenagem deficiente no perfil do solo, águas subterrâneas (lençol freático) enriquecidas por sais, entre outros fatores. Esse halomorfismo naturalmente induzido no solo é consequência de processos pedogenéticos específicos. A concentração salina da solução do solo, antes da ação antrópica, ou em um instante "t", é definida como salinização primária. A intensidade e efeitos da salinização primária dependem basicamente das condições edafoclimáticas. Por outro lado, a salinização pode ocorrer decorrente quase sempre do manejo inadequado do solo e da água de irrigação, definida assim como salinização induzida ou salinização secundária.

Os processos de salinização e/ou sodificação secundária dos solos podem ocorrer por uma ou mais das seguintes condições:

- acumulação de sais provenientes da água de irrigação com alto teor de sais;
- elevação do nível de água subterrânea, que geralmente implica em aumento da salinidade acumulada nas camadas profundas;

- elevação do lençol freático, limitando a drenagem natural e dificultando a lavagem dos sais;
- falta ou deficiência de sistemas de drenagem nos solos irrigados.

Embora a intemperização dos minerais primários seja a fonte principal de quase todos os sais solúveis no solo, a fonte direta desses sais em solos irrigados é a própria água usada na irrigação e/ou lençol freático (Richards, 1954), tendo em muitas situações origem no próprio manejo da irrigação. A título de ilustração, uma água considerada de boa qualidade, com condutividade elétrica (CE) correspondente a $0,75 \text{ dS m}^{-1}$, intermediária entre as classes C_1 e C_2 de salinidade, quando aplicada num volume anual de apenas $10.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, que corresponde a cerca de 55% do requerido por culturas como bananeira no ambiente semi-árido, deposita no solo cerca de 5 toneladas de sais por ano. Se o manejo é deficiente, se não há drenagem e se não existe fração de lavagem (lixiviação), naturalmente haverá um acúmulo de sais que a médio prazo poderá comprometer a exploração das culturas irrigadas. Outro fator que pode acelerar o processo de salinização secundária é a utilização pelo produtor rural de fertilizantes com elevado índice salino (cloreto de potássio, nitrato de sódio ou salitre do Chile e nitrato de amônio).

A utilização da agricultura irrigada nas regiões semi-áridas do Nordeste Brasileiro vem se avultando nas últimas décadas, especialmente nos locais onde é possível contar com um manancial perene de água de boa qualidade. Desta forma, as áreas nas proximidades do rio São Francisco têm sido as que mais tem recebido investimentos, atingindo um grau de desenvolvimento crescente, onde há solos com potencialidade para irrigação.

Inicialmente, as faixas de solos aluviais na região foram exploradas com irrigação, que logo foram degradadas por uma salinização intensa, gerada pela falta absoluta de tecnologia. A necessidade de expansão de áreas irrigadas e a implantação de grandes projetos agroindustriais levaram à procura de solos profundos sem problemas de drenagem interna. Os latossolos e argissolos, desenvolvidos principalmente na cobertura pedimentar que recobre o cristalino de grande parte do nordeste semi-árido, constituem hoje as maiores áreas de solos irrigados na região.

Aparentemente, várias classes de solo consideradas de boa permeabilidade (drenabilidade) ao longo do perfil pedológico e irrigadas com água do rio São Francisco, considerada de boa qualidade (C_1S_1), estão apresentando indícios de problemas de salinização secundária e elevação do lençol freático ao longo dos anos de manejo da irrigação.

Para manter uma agricultura permanente sob irrigação na região semi-árida, é necessário o acompanhamento da evolução química dos solos submetidos a regime de irrigação intensiva a fim de caracterizar o aparecimento dos problemas de sais e a adoção de práticas de manejo adequadas, visando uma produção sustentada para o empreendimento agrícola.

O presente trabalho teve como objetivo principal caracterizar as alterações físico-químicas decorrentes do acúmulo de sais em um argissolo sob irrigação; representativo do Projeto de Irrigação Nilo Coelho, no município pernambucano de Petrolina, visando à formulação de normas de manejo para esta classe de solo.

Material e Métodos

Os trabalhos foram realizados em um lote irrigado no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, pertencente ao produtor rural Dr. José Ribamar Pereira, e foi dividido em duas etapas: etapa de campo e etapa de laboratório

Seleção e localização da área

A seleção da área para o estudo e análises das alterações físico-químicas do argissolo do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho em Petrolina-PE foi desenvolvida em área selecionada segundo os critérios:

- lote irrigado que estivesse em plena exploração econômica com as principais culturas (fruticultura) representativas do pólo agrícola da região;
- lote que apresentasse uma classe de solo que fosse bem representativa dos solos do perímetro irrigado;

- lote que apresentasse nitidamente o aparecimento do problema da salinização induzida por uso de irrigação e não genética, que possuísse um histórico técnico da evolução do processo, não necessariamente um histórico com dados coletados;
- proprietário que se compromettesse a monitorar ao longo de um ano os parâmetros definidos pelos pesquisadores da Embrapa Solos: pH, CE, e h (altura do lençol freático) nos poços de observação instalados no campo.

Após vários lotes serem examinados, norteados por estes parâmetros de escolha, selecionou-se o lote do Dr. José Ribamar Pereira (lote 791), localizado na latitude 40° 30' 25.711" e longitude 9° 14' 54.913", em uma área explorada com fruticultura perene (goiaba, uva, coco e manga), numa toposseqüência evolutiva do processo de salinização. Este produtor apresentava ainda vantagens como ser Engenheiro Agrônomo, ex-pesquisador da área de fertilidade do solo e nutrição de plantas da Embrapa Semi-Árido e possuir laboratório próprio de análises químicas e físicas de solos, o que facilitaria o futuro monitoramento e o acesso às informações.

Caracterização, identificação e classificação do solo

Utilizou-se para a caracterização ambiental o mapa de solos do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, correspondendo ao projeto original. Teve-se o cuidado de complementar esse levantamento pedológico com observações de campo, através da abertura de algumas trincheiras com a descrição da morfologia do solo, bem como retiradas amostras dos mesmos para fins de análises químicas, físicas e de fertilidade.

O solo do local do estudo foi classificado como um argissolo abrupto fragipânico textura arenosa/média, com o início da camada de fragipã variando bastante, desde valores medianos de 140 cm no topo da toposseqüência, até 70 cm já no nível da drenagem natural.

Nível do lençol freático

Foram instalados doze poços de observação em uma toposseqüência que apresentava nitidamente problemas de salinização induzida. Destes doze poços, onze foram instalados em uma área sob uma cultura de goiaba em plena

produção e o décimo segundo poço foi instalado em uma área vizinha (sob cultura de manga), devido às seguintes condições:

- a área sob goiaba apresentava uma poligonal irregular com estreitamento de sua área de base que não permitiu na quarta linha de poços, a instalação de três poços. Diante de tal fato, só foram instalados na última linha (a de menor cota altimétrica), dois poços. Vale salientar que esses poços foram instalados ao longo da linha de drenagem na toposseqüência citada, em formato eqüidistante;
- o décimo segundo poço foi instalado na parte de baixo de uma área vizinha na mesma toposseqüência citada, em uma área de cota ainda mais baixa, que representaria (se houvesse prolongamento da poligonal da área de goiaba), uma situação de maior superficialidade da camada de fragipã, além de pela topografia, representar uma zona de maior acumulação de sais, tanto em superfície como em subsuperfície.

Nos poços de observação foram determinados os níveis da altura do lençol freático e a condutividade elétrica da solução do solo, corrigidas para a temperatura padrão de análise de 25°C. Em determinações posteriores realizadas pelo Dr. Ribamar, essas análises foram determinadas em laboratório (CE e pH). O nível do lençol freático, logicamente foi determinado em campo.

Coleta de solos

Depois de realizado a abertura dos doze poços de observação, foram coletadas em todos eles, amostras de solos com auxílio de trado nas profundidades de 0-20 cm; 40-60 cm e 110-130 cm, totalizando 36 amostras. Foram realizadas análises nessas amostras para fins de salinidade e fertilidade, bem como para a determinação de outras variáveis físicas e químicas.

Com a instalação dos poços de observação foi possível então observar e monitorar o comportamento do lençol freático local, bem como permitir a coleta para análise de águas freáticas nestes poços.

Análises físicas

Foram retiradas amostras indeformadas com anéis, nos terço superior (TS), terço médio (TM) e terço inferior (TI), respectivamente na primeira, terceira e última linha de poços; visando a determinação das frações granulométricas: areia, silte, argila e argila dispersa em água; curva característica de retenção de água e condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) (Embrapa, 1997).

Análises químicas

Nesta etapa, foram realizadas no laboratório da Embrapa Solos no Rio de Janeiro, análises dos seguintes parâmetros: pH; Al; Ca; Mg; Na; K; H + Al; P; S; valor V; C; M.O.; Mn; Fe; Zn; Cu; Cr; Co; Ni; Al; e Pb de acordo com Embrapa (1997).

Essas análises foram realizadas com o objetivo de avaliar a salinidade e sodicidade do solo, sendo as mais importantes o pH, CE e a percentagem de sódio trocável (PST).

Solos afetados por sais contêm sais solúveis em quantidades suficientes para reduzir ou interferir no desenvolvimento e, conseqüentemente, na produção das culturas agrícolas exploradas. Os sais solúveis são constituídos principalmente dos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^- e, às vezes, de K^+ , CO_3^{2-} e NO_3^- dependendo do pH do meio. As proporções e concentrações destes íons na solução do solo variam tanto horizontal como verticalmente, tendo acentuada influência nesta distribuição a topografia, a textura do solo e as condições climáticas. Existem várias classificações de solos afetados por sais, cada uma com as suas vantagens e desvantagens. Neste relatório será utilizado a classificação proposta pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (Estados Unidos, 1954), que é baseada no pH, condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e percentagem de sódio trocável (PST). A tabela 1 resume a salinidade do solo conforme a classificação norte-americana.

Tabela 1. Classificação da salinidade do solo segundo o Salinity Laboratory Staff.

Solos	CE (dS m⁻¹)	PST	pH
Normal	< 4	< 15	< 8.5
Salino	> 4	< 15	< 8.5
Salino-sódico	> 4	> 15	< 8.5
Sódico	< 4	> 15	> 8.5

Fonte: (Estados Unidos, 1954).

A linha divisória entre solos salinos e não salinos tem estabelecido o valor de 4 dS m⁻¹ para extratos de pasta saturada do solo. Entretanto, podemos encontrar plantas sensíveis a sais, que podem ser afetadas em solos cujo extrato de saturação apresenta condutividade entre 2 e 4 dS m⁻¹. O comitê de terminologia da Sociedade Americana de Ciência do Solo recomenda baixar o limite entre solos salinos e não salinos para 2 dS m⁻¹ (Bohn et al. 1985). O impacto nas culturas de forma geral pode ser esquematizado na tabela 2.

Tabela 2. Resposta das plantas aos diferentes níveis de condutividade elétrica no extrato de saturação do solo.

CE a 25° C (dS/m)	Resposta das plantas
0,0 a 2,0	Os efeitos da salinidade são geralmente negligenciáveis
2,0 a 4,0	A produtividade de culturas muito sensíveis à salinidade pode ser reduzida
4,0 a 8,0	A produtividade de culturas sensíveis à salinidade é reduzida
8,0 a 16,0	Somente culturas tolerantes à salinidade produzem satisfatoriamente
>16,0	Somente poucas culturas muito tolerantes à salinidade produzem satisfatoriamente

Fonte: Landon (1984).

Para avaliar o perigo de sodificação do solo pelo uso da água de irrigação, utilizou-se um outro índice chamado de relação de adsorção de sódio (RAS). Como a água utilizada na irrigação de todo o perímetro e proveniente do rio São Francisco, que na região é considerada de excelente qualidade (classe de irrigação C₁S₁), essa determinação normalmente resulta em valores muito baixos.

Com base na condutividade elétrica (CE), as águas de irrigação podem ser classificadas como baixa (C1); média (C2); alta (C3) e muito alta (C4); e quanto à razão de adsorção de sódio (RAS), classifica-se em: baixa (S1); média (S2); alta (S3) e muito alta (S4), em todas as combinações possíveis destes dois componentes. O cálculo da RAS é feito em função dos teores de sódio, cálcio e magnésio, (tabelas 3 e 4) expresso em mmol_c L⁻¹, do extrato de saturação, de acordo com a fórmula:

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

Tabela 3. Classificação do solo segundo sua PST.

Classe	PST
Não sódico	< 7
Ligeiramente sódico	7 - 10
Mediamente sódico	11 - 20
Fortemente sódico	21 - 30
Excessivamente sódicos	> 30

Fonte: Pizarro (1978).

Tabela 4. Relação entre pH e PST.

pH (Pasta de Saturação)	PST
< 7	O solo têm quantidades consideráveis de H ⁺
< 7,5	O solo quase nunca contém carbonatos de cálcio e de magnésio
< 8,5	PST pode ser maior ou menor do que 15
> 8,5	PST quase sempre maior que 15 e presença de carbonatos de cálcio e de magnésio

Fonte: Fireman & Wadleigh (1951).

Não foram realizadas análises completas da água de irrigação, já que vários trabalhos foram publicados na região do submédio São Francisco relatando as características químicas da água utilizada nos perímetros de irrigação deste distrito. Nas tabelas 5 e 6 são apresentadas as informações de Pereira & Siqueira (1979) e Pereira & Cordeiro (1987).

Tabela 5. Características químicas da água do rio São Francisco, em Petrolina, PE (média de 12 meses).

pH	CEa dS m ⁻¹	Cátions				Ânions				RAS	Classif.
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻		
7,22	0,073	0,38	0,22	0,10	0,06	0,14	0,18	0,54	-	0,18	C1S1

Fonte: Pereira & Siqueira (1979)

Tabela 6. Características químicas da água do rio São Francisco, em Juazeiro, BA (média de 12 meses).

pH	C.E. dS/m	Cátions				Ânions				RAS	Classif.
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻		
7,30	0,078	0,38	0,20	0,10	0,06	0,14	0,18	0,54	-	0,19	C1S1

Fonte: Pereira & Cordeiro (1987)

Resultados e Discussão

As propriedades físico-químicas do solo dependem muito da textura (tabela 7). O solo estudado apresentou, não só ao longo do seu perfil como ao longo da sua toposseqüência, grande presença da fração areia e suas classes derivadas. A fração areia diminuiu em profundidade em todos os terços estudados, assim como entre as seqüências de terços: Terço superior > Terço Médio > Terço Inferior, mostrando claramente o aumento da fração argila tanto em profundidade, como ao longo da toposseqüência analisada. Os fenômenos físico-químicos principais como a retenção de água, capacidade de troca catiônica, resistência à erosão, fixação de fósforo,... que ocorreram no solo foram, na sua maioria, fenômenos de superfície. Devido à esta característica intrínseca, a textura leve, dominante no solo, favoreceu a infiltração da água (drenabilidade) e conseqüentemente, facilitou a lixiviação dos solutos no perfil do solo. Essa dinâmica não permitiu grande atividade de retenção

iônica nas cargas de superfície, o que favoreceu as possíveis correções de salinidade que pudessem advir da prática de irrigação.

Tabela 7. Variação granulométrica ao longo da topossequência estudada.

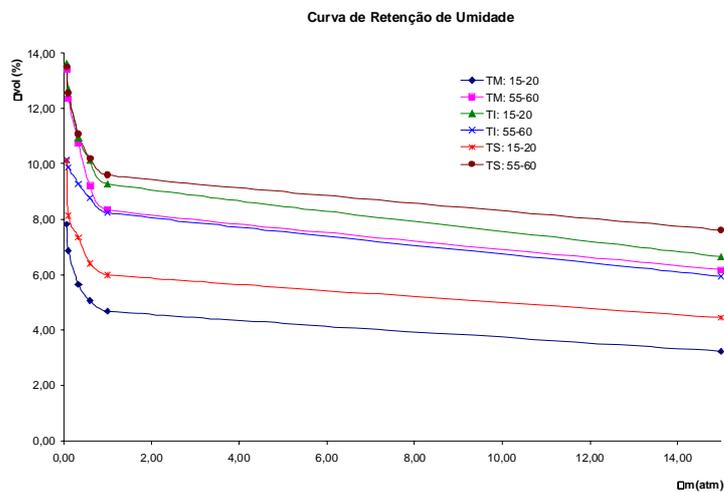
n° poço	profundidade cm	areia	silte	g/kg	
				argila	argila dispersa
1	0-20	820	100	80	0
1	40-60	788	112	100	100
1	110-130	692	128	180	0
2	0-20	844	96	60	20
2	40-60	732	108	160	140
2	110-130	592	148	260	20
3	0-20	904	56	40	20
3	40-60	746	114	140	140
3	110-130	680	140	180	140
4	0-20	886	74	40	20
4	40-60	742	118	140	140
4	110-130	706	134	160	140
5	0-20	886	54	60	40
5	40-60	720	100	180	100
5	110-130	672	128	200	140
6	0-20	892	48	60	0
6	40-60	712	108	180	140
6	110-130	642	138	220	160
7	0-20	876	24	100	20
7	40-60	724	116	160	120
7	110-130	614	206	180	140
8	0-20	848	72	80	20
8	40-60	738	102	160	140
8	110-130	618	162	220	180
9	0-20	822	118	60	20
9	40-60	696	124	180	120
9	110-130	582	158	260	200
10	0-20	808	112	80	20
10	40-60	606	174	220	140
10	110-130	688	152	160	100
11	0-20	746	154	100	100
11	40-60	642	78	280	260
11	110-130	506	174	320	260
12	0-20	750	150	100	40
12	40-60	694	146	160	100
12	110-130	534	146	320	280

Curva característica de retenção de água

Os pontos necessários à constituição da curva característica de retenção de água (ou de umidade) foram obtidos com o aparelho extrator de Richards, utilizando-se as tensões de 0,006; 0,01; 0,033; 0,06; 0,1 e 1,5 MPa de acordo com Embrapa (1997), sendo seus resultados apresentados na tabela 8 e figura 1.

Tabela 8. Teor de água versus tensão obtidos pelo aparelho de Richards.

Tensão	Amostra	TM 15-20 cm	TM 55-60 cm	TI 15-20 cm	TI 55-60 cm	TS 15-20 cm	TS 55-60 cm
0,006		7,82	13,42	13,63	10,14	10,11	13,49
0,010		6,87	12,35	12,69	9,87	8,12	12,55
0,033		5,65	10,74	10,94	9,28	7,34	11,08
0,060		5,06	9,22	10,13	8,77	6,41	10,19
1,000		4,68	8,34	9,28	8,24	6,00	9,60
1,500		3,23	6,17	6,65	5,94	4,45	7,61

**Fig. 1.** Curva de retenção de umidade.

A curva característica de retenção de água desse solo mostrou baixíssima capacidade de retenção de água, devido logicamente à dominância da fração areia, principalmente na parte mais superficial do solo. Solos submetidos à irrigação com essas características físicas, devem ter o manejo da água com baixos volumes e altas freqüências, a fim de se propiciar ao sistema solo-planta, teores de água ótimos para o tipo de solo em questão, com baixa energia de retenção dessas moléculas de água pelo sistema. Um manejo de água deficiente, com excesso na lâmina adicionada ao solo (como está ocorrendo no lote), e uma freqüência de turno de irrigação alta, leva obrigatoriamente à ascensão do nível do lençol freático e de seus sais associados, uma vez que a salinidade média da água no solo, em determinado intervalo de

tempo, é maior em solos que são irrigados com maior frequência, quando se mantêm outros fatores constantes. A frequência de irrigação é um assunto muito polêmico no meio acadêmico quando se trata de sua influência no aumento ou diminuição da salinidade do solo. Efeitos prejudiciais da alta frequência de irrigação, entretanto, têm sido relatados com muito mais assiduidade pelos pesquisadores do que da irrigação de frequência menor. Isto pode ser atribuído à mais rápida elevação do lençol freático, já que as pequenas lâminas aplicadas de cada vez não são suficientes para deslocar os sais até as camadas mais profundas. Para resolver este tipo de problema, é necessário seguir as orientações técnicas e aplicar apenas o que a planta precisa e de preferência, da forma mais parcelada possível. Quando o solo já se encontra salinizado e/ou sodificado, faz-se necessária a instalação ou reestruturação do sistema de drenagem artificial, a aplicação de condicionadores do solo e a utilização de lâminas de lixiviação a intervalos maiores, de modo que essa lâmina de excesso percole até as camadas mais profundas, depositando os sais fora da zona radicular.

Monitoramento do lençol freático e condutividade elétrica da solução do solo

O diagnóstico das condições de drenagem da área em estudo foi efetivado com base nas descrições dos perfis da mesma classe de solo no perímetro de irrigação Senador Nilo Coelho, em condições de topografia e relevo similares ao do lote em estudo. Os resultados das sondagens com trado para exame dos perfis e dos poços de observação, também colaboraram na caracterização das condições de drenagem da área.

Na figura 2 são apresentados os valores da salinização expressados via condutividade elétrica do extrato de saturação do solo. Pode-se perceber que os valores referentes ao terço inferior (TI) são muito mais elevados que os terços superior (TS) e médio (TM). Isto se deve à maior proximidade do lençol freático da superfície do solo, consequência da maior proximidade da camada barreira, no caso, um fragipã.

A condutividade elétrica está relacionada com o conteúdo de sais na solução do solo. O excesso de sais na zona radicular, independentemente das espécies iônicas presentes, prejudica a germinação o desenvolvimento e a produtividade das plantas. Isto ocorre porque a maior concentração da solução irá exigir da planta mais energia para conseguir absorver água (efeito osmótico), uma energia que será desviada dos processos metabólicos essenciais. Podem ocorrer também, efeitos tóxicos diretos dos íons presentes em excesso. Estes efeitos tóxicos estão ligados a desarranjos no funcionamento de sistemas enzimáticos das plantas. Certos íons, como o sódio, afetam também indiretamente, a estrutura do solo pelo seu efeito desfloculador sobre as argilas.

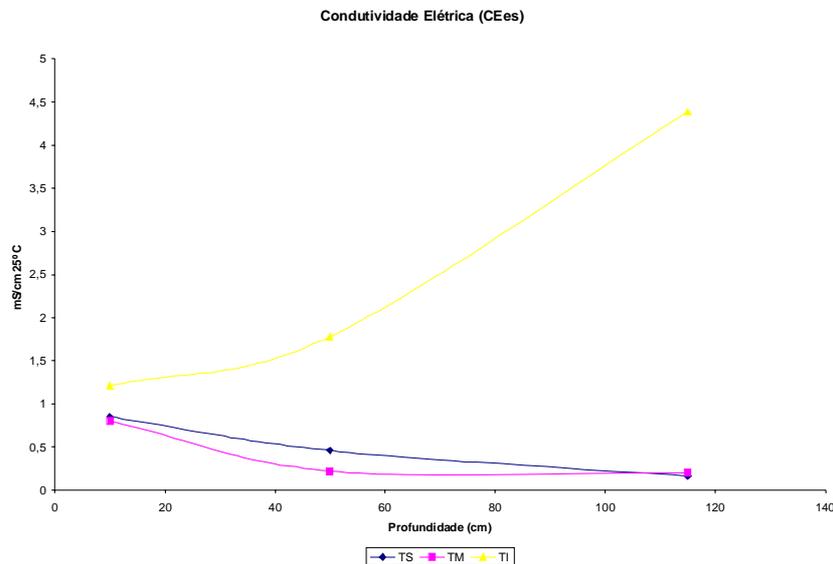


Fig. 2. Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo nos três terços.

No lote irrigado estudado, observou-se que a condutividade elétrica nos terços superior e médio diminuiu um pouco com a profundidade, enquanto que no terço inferior, ocorreu exatamente o contrário. Os efeitos da salinidade em praticamente todos os poços e profundidades de observação foram negligenciáveis, com exceção da região do poço 12, que sempre apresentou constatações visuais de efeito deletério para as plantas de manga e uva, que estavam plantadas nessa posição do lote.

Além dessa concentração elevada de sais, essa região do lote apresentou camada mais adensada e nível do lençol freático mais superficiais, o que contribuiu para inviabilizar a produção econômica nesta porção.

Os níveis do lençol freático na área estudada variaram ao longo da pendente da topossequência e ao longo do ano. No terço superior, a profundidade média do lençol ficou em média a 1,15 metros; no terço médio, a 0,80 metro e no terço inferior a 0,60 metro. Estes níveis nestas posições da paisagem se deveram a dois fatores: à camada de fragipã que no topo estava a uma média de 1,40 metros e à percolação lateral da solução do solo para as cotas mais baixas da pendente.

Logicamente, numa região semi-árida com alto deficit hídrico, como a estudada, só o excesso de lâmina de irrigação aplicada ao solo é que poderia explicar o aparecimento de lençol freático em um solo extremamente arenoso e em cotas altimétricas que não propiciam o aparecimento de tal fenômeno. As variações ao longo do período não foram significativas, já que o excesso de lâmina de água aplicada se observou ao longo de todo o ano.

As tabelas 9 a 13 apresentam os valores de nível freático, condutividade elétrica (CE) e pH dos poços de observação instalados ao longo da topossequência, tomados em épocas distintas. Pode-se constatar que, da mesma forma que comentado para a situação anterior, à medida que se aproxima da drenagem principal da área correspondendo à posição inferior da topossequência, o lençol freático vai se aproximando da superfície do solo e a condutividade elétrica (salinização) e o pH (sodificação) vão aumentando. Como consequência, a produtividade vegetal das plantas cultivadas (manga, uva, goiaba) vai diminuindo, com exceção do coco.

Tabela 9. Determinação do nível freático, CE e pH. Data: 28/10/03.

Poço	pH	CEe	altura do lençol (m)
1	nd	0,42	0,97
2	nd	0,14	0,96
3	nd	0,20	1,03
4	nd	0,25	0,72
5	nd	0,36	0,83
6	nd	0,41	1,11
7	nd	0,32	0,45
8	nd	0,60	0,72
9	nd	0,28	0,58
10	nd	0,84	0,54
11	nd	sl	sl
12	nd	8,00	0,52

CE = dS/m

nd = não determinado

sl = sem lençol nesta profundidade

Tabela 10. Determinação do nível freático, CE e pH. Data: 30/10/03.

Poço	pH	CEe	altura do lençol (m)
1	nd	0,44	0,98
2	nd	0,14	0,98
3	nd	0,15	1,03
4	nd	0,23	0,78
5	nd	0,30	0,84
6	nd	0,36	1,11
7	nd	0,29	0,53
8	nd	0,50	0,78
9	nd	0,37	0,67
10	nd	0,75	0,71
11	nd	0,79	0,88
12	nd	8,00	0,37

CE= dS/m

nd = não determinado

sl = sem lençol nesta profundidade

Tabela 11. Determinação do nível freático, CE e pH. Data: 31/10/03.

Poço	pH	CEe	altura do lençol (m)
1	nd	0,38	1,00
2	nd	0,13	0,98
3	nd	0,17	1,06
4	nd	0,23	0,72
5	nd	0,30	0,81
6	nd	0,31	1,08
7	nd	0,32	0,37
8	nd	0,48	0,67
9	nd	0,34	0,44
10	nd	0,70	0,42
11	nd	0,50	0,60
12	nd	8,50	0,41

CE= dS/m

nd = não determinado

sl = sem lençol nesta profundidade

Tabela 12. Determinação do nível freático, CE e pH. Data: 10/12/03.

Poço	pH	CEe	altura do lençol (m)
1	6,20	0,07	1,50
2	5,91	0,04	1,00
3	5,91	0,04	1,60
4	5,96	0,05	0,77
5	6,51	0,14	0,86
6	6,37	0,14	1,10
7	6,40	0,16	0,72
8	5,13	0,35	1,10
9	6,94	1,09	0,86
10	7,21	0,22	0,90
11	7,01	0,22	0,54
12	5,77	8,32	0,56

CE= dS/m

nd = não determinado

sl = sem lençol nesta profundidade

Tabela 13. Determinação do nível freático, CE e pH. Data: 28/10/04.

Poço	pH	CEe	altura do lençol (m)
1	6,70	0,02	1,18
2	6,20	0,07	1,27
3	4,70	0,06	1,25
4	7,40	2,48	0,78
5	7,10	0,23	0,96
6	0,00	0,00	0,00
7	6,00	0,09	0,59
8	4,30	0,02	0,88
9	5,05	0,08	0,65
10	6,85	2,15	0,85
11	0,00	0,00	0,00
12	7,25	7,36	0,72

CE= dS/m

nd = não determinado

sl = sem lençol nesta profundidade

Alterações físico-químicas

Das diversas medidas de laboratório e campo que foram utilizadas para avaliar a salinidade do solo, as mais importantes foram o pH, a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e a percentagem de sódio trocável (PST). A Razão de Adsorção de Sódio (RAS) foi calculada com o intuito de avaliar o perigo de sodificação do solo pelo uso da água de irrigação (tabela 14 e figura 3).

O pH do solo é influenciado pela composição e natureza dos cátions trocáveis, composição e concentração dos sais solúveis e a presença ou ausência do gesso e carbonatos de cálcio e magnésio.

De acordo com a classificação de Fireman & Wadleigh (1951) apresentada na tabela 4, de maneira geral pode-se dizer que, na área estudada, o pH do solo possui uma acidez média no terço inferior do transecto e com acidez elevada nos terços médio e superior. Agronomicamente, o enquadramento como baixa aparece na maioria das vezes. Em condições normais, o pH

aumenta à medida que se aprofunda o solo, o que foi observado principalmente no terço inferior. Esta regra é bastante aplicável em solos ácidos, podendo-se esperar que o valor do pH aumente nas camadas inferiores em comparação com as camadas superiores de um mesmo solo.

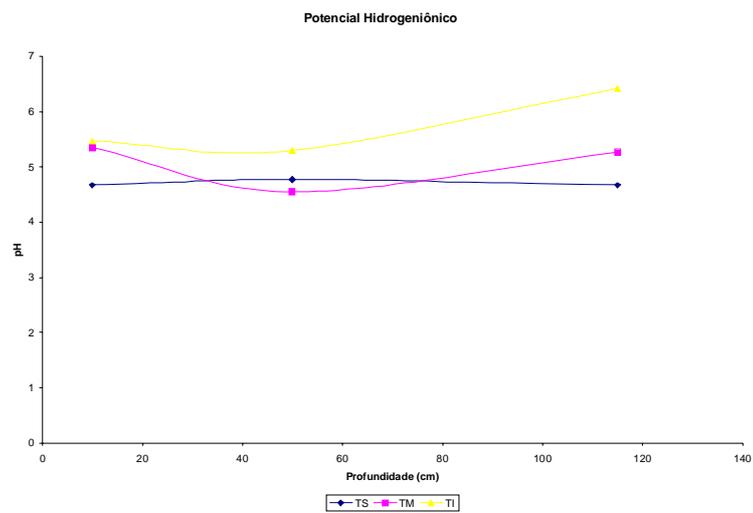


Fig.3. Curva de pH (potencial hidrogeniônico) dos perfis nos três terços.

Tabela 14. Classificação do solo segundo sua PST e RAS.

Nº Poço	Profundidade cm	Na	T	PST	Classif. PST	Ca	Mg	RAS	RAS Ajust.	Classif. RAS
1	0-20	0,06	7,8	0,77	Ñ Sódico	4,4	0,7	0,04	0,38	Normal
1	40-60	0,18	4,1	4,39	Ñ Sódico	2	0,6	0,16	1,58	Normal
1	110-130	0,04	3,9	1,03	Ñ Sódico	0,8	0,8	0,04	0,45	Normal
2	0-20	0,02	5,4	0,37	Ñ Sódico	1,7	0,9	0,02	0,18	Normal
2	40-60	0,11	5,5	2,00	Ñ Sódico	1,4	0,8	0,10	1,05	Normal
2	110-130	0,08	5,4	1,48	Ñ Sódico	1,1	1,1	0,08	0,76	Normal
3	0-20	0,02	3,9	0,51	Ñ Sódico	0	0,7	0,03	0,34	Normal
3	40-60	0,11	4,6	2,39	Ñ Sódico	0,8	0,6	0,13	1,31	Normal
3	110-130	0,06	4,1	1,46	Ñ Sódico	0,6	0,8	0,07	0,72	Normal
4	0-20	0,01	2,8	0,36	Ñ Sódico	0	0,8	0,02	0,16	Normal
4	40-60	0,03	4,7	0,64	Ñ Sódico	0,4	0,9	0,04	0,37	Normal
4	110-130	0,06	4,4	1,36	Ñ Sódico	0,8	0,6	0,07	0,72	Normal
5	0-20	0,02	3,7	0,54	Ñ Sódico	0,8	0,5	0,02	0,25	Normal
5	40-60	0,12	4,4	2,73	Ñ Sódico	0,3	0,7	0,17	1,70	Normal
5	110-130	0,27	5	5,40	Ñ Sódico	0,6	0,9	0,31	3,12	Normal
6	0-20	0,04	5,1	0,78	Ñ Sódico	1,5	0,7	0,04	0,38	Normal
6	40-60	0,17	5,1	3,33	Ñ Sódico	0	0,9	0,25	2,53	Normal
6	110-130	0,42	5,1	8,24	Lig. Sódico	0,4	0,8	0,54	5,42	Normal
7	0-20	0,02	3,6	0,56	Ñ Sódico	0,8	0,6	0,02	0,24	Normal
7	40-60	0,11	4,9	2,24	Ñ Sódico	0,7	0,9	0,12	1,23	Normal
7	110-130	0,47	9,1	5,16	Ñ Sódico	2,4	3,7	0,27	2,69	Normal
8	0-20	0,07	3,5	2,00	Ñ Sódico	1,6	1	0,06	0,61	Normal
8	40-60	0,06	4,8	1,25	Ñ Sódico	0,6	0,6	0,08	0,77	Normal
8	110-130	0,68	9,2	4,85	Ñ Sódico	2,2	3,3	0,16	1,84	Normal
9	0-20	0,03	4,5	0,67	Ñ Sódico	1,8	0,9	0,03	0,26	Normal
9	40-60	0,05	5,7	0,88	Ñ Sódico	1,5	0,9	0,05	0,46	Normal
9	110-130	0,55	10,1	5,45	Ñ Sódico	2,7	4,9	0,28	2,82	Normal
10	0-20	0,03	5,1	0,59	Ñ Sódico	2,1	1,2	0,02	0,23	Normal
10	40-60	0,45	11,7	3,85	Ñ Sódico	4,5	4,4	0,21	2,13	Normal
10	110-130	1,09	10,9	10,00	Lig. Sódico	3,1	4,7	0,55	5,52	Salino
11	0-20	0,22	7,5	2,93	Ñ Sódico	2,9	2,2	0,14	1,38	Normal

Tabela 14. Continuação...

11	40-60	0,75	13,4	5,60	Ñ Sódico	3,9	6,1	0,34	3,35	Salino
11	110-130	1,16	17,2	6,74	Ñ Sódico	8,7	5,2	0,44	4,40	Normal
12	0-20	0,04	4,8	0,83	Ñ Sódico	1,4	0,7	0,04	0,39	Normal
12	40-60	1,41	9,3	15,16	Med. Sódico	2,7	3,6	0,79	7,94	Normal
12	110-130	3,65	18,7	19,52	Med. Sódico	5,4	6,9	1,47	14,72	Salino/Sódico

Solos com pH muito baixo, normalmente com valores em água menores que 5, geralmente apresentam deficiência de P e alta fixação (imobilização) deste nutriente quando aplicado via adubação (Embrapa, 1999), por exemplo. No caso do solo analisado, essa regra não se verificou, devido à sua constituição arenosa, basicamente na câmara arável. Foi observado que os teores de P (Extrator Mehlich) apresentaram teores baixos e/ou muito baixos ao longo de todo o transecto (tabela 15). Além do mais, baixo pH também indica baixos teores de Ca, Mg e K, o que geralmente foi observado nas amostras coletadas. Este quadro corrobora numa baixa saturação geral por bases, o que se contrapõe a uma razoável disponibilidade de micronutrientes (Fe, Cu, Mg e Zn), excetuando o molibdênio, cuja disponibilidade diminuiu com a redução do pH (tabela 16).

As propriedades físico-químicas do solo dependem muito da textura (tabela 15). O solo estudado apresentou em praticamente todo o seu perfil e toposseqüência a fração areia e suas representações texturais conjugadas (areia fina e areia grossa). A fração areia diminui em profundidade em todos os terços estudados, assim como entre as seqüências de terços (Terço Superior TS > Terço Médio TM > Terço Inferior TI), mostrando claramente o aumento da fração argila tanto em profundidade, como na toposseqüência analisada. Os fenômenos físico-químicos, tais como retenção de água, capacidade de troca, resistência à erosão, fixação de fósforo, entre outros, que ocorrem no solo são, na sua maioria, fenômenos de superfície. Em virtude disto, a textura arenosa prevaiente, favorece a drenabilidade da água e solutos no perfil e não permite grande atividade de retenção iônica nas cargas de superfície, o que facilita as possíveis correções de salinidade que possam advir da prática de irrigação, através de pequenas aplicações de corretivos, via gessagem.

Os teores de alumínio encontrados (tabela 17) foram em sua grande maioria baixos ($< 0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) o que era de se esperar, pois para uma agricultura irrigada altamente tecnificada, com altas produtividades, é inaceitável a presença de alumínio trocável no solo, uma vez que por ter alta fitotoxicidade, sua correção é prática rotineira objetivando elevadas produtividades vegetais.

Tabela 15. Teores de fósforo (P), soma de cátions trocáveis (S), valor T, saturação por bases (V) e granulometria.

n° poço	profundidade cm	P		S	T	V	areia	silte	argila g/kg	argila dispersa
		mg/dm ³	cmole/dm ³							
1	0-20	2,9	5,3	7,8	68,0	820	100	80	0	
1	40-60	0,7	2,9	4,1	72,0	788	112	100	100	
1	110-130	0,7	1,7	3,9	45,0	692	128	180	0	
2	0-20	5,0	2,9	5,4	54,0	844	96	60	20	
2	40-60	1,4	2,5	5,5	46,0	732	108	160	140	
2	110-130	0,7	2,4	5,4	45,0	592	148	260	20	
3	0-20	19,3	0,9	3,9	24,0	904	56	40	20	
3	40-60	0,7	1,6	4,6	35,0	746	114	140	140	
3	110-130	0,7	1,6	4,1	39,0	680	140	180	140	
4	0-20	11,4	1,0	2,8	36,0	886	74	40	20	
4	40-60	0,7	1,4	4,7	30,0	742	118	140	140	
4	110-130	0,7	1,6	4,4	36,0	706	134	160	140	
5	0-20	0,7	1,7	3,7	46,0	886	54	60	40	
5	40-60	0,7	1,3	4,4	29,0	720	100	180	100	
5	110-130	0,7	2,0	5,0	41,0	672	128	200	140	
6	0-20	10,0	2,6	5,1	51,0	892	48	60	0	
6	40-60	12,1	1,3	5,1	26,0	712	108	180	140	
6	110-130	0,7	2,0	5,1	39,0	642	138	220	160	
7	0-20	3,6	1,6	3,6	45,0	876	24	100	20	
7	40-60	0,7	1,9	4,9	39,0	724	116	160	120	
7	110-130	0,7	7,0	9,1	76,0	614	206	180	140	
8	0-20	19,3	3,0	3,5	86,0	848	72	80	20	
8	40-60	24,3	1,5	4,8	31,0	738	102	160	140	
8	110-130	12,3	8,2	9,5	72,0	618	162	220	180	
9	0-20	16,4	3,0	4,5	67,0	822	118	60	20	
9	40-60	0,7	2,5	5,7	45,0	696	124	180	120	
9	110-130	0,7	8,6	10,1	85,0	582	158	260	200	
10	0-20	15,0	3,6	5,1	71,0	808	112	80	20	
10	40-60	0,7	9,5	11,7	83,0	606	174	220	140	
10	110-130	0,7	9,5	10,9	89,0	688	152	160	100	
11	0-20	6,4	5,8	7,5	78,0	746	154	100	100	

Tabela 15. Continuação...

11	40-60	0,7	11,4	13,4	85,0	642	78	280	260
11	110-130	0,7	16,0	17,2	93,0	506	174	320	260
12	0-20	5,0	2,3	4,8	48,0	750	150	100	40
12	40-60	0,7	8,8	9,3	95,0	694	146	160	100
12	110-130	2,9	18,7	18,7	100,0	534	146	320	280

Tabela 16. Teores de micronutrientes encontrados na topossequência.

n° poço	profundidade cm	Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Al	Cd	Pb	
		g/kg										
1	0-20	0,129	4,79	0,009	0,006	0,015	0,003	0,007	7,99	*	0,005	
1	40-60	0,050	5,22	0,006	0,004	0,016	*	0,006	8,98	*	*	
1	110-130	0,039	10,3	0,009	0,006	0,025	0,003	0,010	17,0	*	*	
2	0-20	0,038	3,60	0,005	0,005	0,022	*	0,006	5,47	*	*	
2	40-60	0,040	7,52	0,009	0,006	0,036	0,002	0,011	16,3	*	*	
2	110-130	0,034	16,0	0,011	0,004	0,056	0,003	0,017	25,1	*	0,007	
3	0-20	0,026	2,95	0,004	0,003	0,011	*	*	4,71	*	*	
3	40-60	0,032	6,69	0,007	0,005	0,025	*	0,008	14,0	*	*	
3	110-130	0,031	10,6	0,007	0,003	0,027	0,003	0,009	15,3	*	*	
4	0-20	0,039	2,83	0,005	0,003	0,009	*	*	4,35	*	*	
4	40-60	0,038	6,39	0,007	0,007	0,021	*	0,006	12,8	*	*	
4	110-130	0,037	9,11	0,010	0,007	0,025	*	0,009	14,9	*	*	
5	0-20	0,036	3,15	0,004	0,002	0,012	*	0,003	5,17	*	*	
5	40-60	0,028	6,97	0,007	0,004	0,026	*	0,007	14,2	*	*	
5	110-130	0,034	11,6	0,010	0,003	0,036	0,003	0,012	20,7	*	*	
6	0-20	0,036	3,92	0,005	0,004	0,014	*	*	7,13	*	*	
6	40-60	0,025	8,19	0,007	0,004	0,027	*	0,008	16,0	*	*	
6	110-130	0,023	10,9	0,008	0,003	0,030	0,002	0,010	17,6	*	*	
7	0-20	0,037	3,57	0,006	0,004	0,011	*	0,004	6,90	*	*	
7	40-60	0,021	2,97	0,004	0,002	0,009	*	*	5,17	*	*	
7	110-130	0,035	14,9	0,016	0,004	0,031	0,005	0,014	25,7	*	*	
8	0-20	0,036	3,40	0,008	0,002	0,011	*	0,003	6,06	*	*	
8	40-60	0,038	8,04	0,011	0,002	0,026	0,002	0,009	18,3	*	*	
8	110-130	0,026	10,4	0,012	0,003	0,030	0,004	0,012	20,8	*	*	
9	0-20	0,067	4,43	0,008	0,002	0,013	*	0,004	6,83	*	*	
9	40-60	0,029	9,24	0,009	0,002	0,028	0,003	0,010	18,3	*	*	
9	110-130	0,021	11,9	0,010	0,003	0,031	0,003	0,013	19,1	*	*	
10	0-20	0,163	4,48	0,011	0,002	0,015	0,004	0,005	7,38	*	*	
10	40-60	0,132	12,3	0,013	0,005	0,029	0,006	0,015	22,7	*	0,009	
10	110-130	0,255	10,7	0,011	0,003	0,025	0,008	0,012	16,5	*	0,007	
11	0-20	0,139	6,94	0,008	0,006	0,022	0,006	0,011	10,1	*	0,005	

Tabela 16. Continuação...

11	40-60	0,046	13,5	0,014	0,007	0,042	0,005	0,020	25,2	*	*
11	110-130	0,214	17,6	0,019	0,009	0,048	0,024	0,032	28,7	*	*
12	0-20	0,060	5,92	0,007	0,002	0,018	*	*	10,4	*	*
12	40-60	0,367	12,1	0,013	0,002	0,031	0,011	0,021	24,8	*	*
12	110-130	0,290	16,1	0,022	0,007	0,044	0,010	0,027	33,2	*	*

Tabela 17. Teores de condutividade elétrica no extrato de saturação (CEes), água, carbono, matéria orgânica, pH em água, macro-elementos e acidez total (H + Al).

n.º poço	profundidade cm	CEes dS/m	água %	C g/kg	MO g/kg	pH	Al	Ca cmole/dm ³	Mg	Na mg/dm ³	K	H + Al cmole/dm ³
1	0-20	1,3	23,0	9,0	15,5	5,3	0,2	4,4	0,7	25,0	39,0	2,5
1	40-60	0,3	100,0	1,7	2,9	6,3	0,1	2,0	0,6	71,0	12,0	1,2
1	110-130	0,1	100,0	1,2	2,1	4,6	0,6	0,8	0,8	14,0	27,0	2,1
2	0-20	0,7	22,0	5,0	8,6	5,1	0,1	1,7	0,9	9,0	98,0	2,5
2	40-60	1,3	24,0	2,7	4,7	4,3	0,6	1,4	0,8	44,0	43,0	3,0
2	110-130	0,2	29,0	1,4	2,4	4,7	1,0	1,1	1,1	30,0	27,0	3,0
3	0-20	0,8	22,0	3,6	6,2	4,4	0,6	*0	0,7	9,0	78,0	3,0
3	40-60	0,5	22,0	1,8	3,1	4,2	0,9	0,8	0,6	44,0	16,0	3,0
3	110-130	0,2	23,0	1,3	2,2	4,9	0,8	0,6	0,8	25,0	39,0	2,5
4	0-20	0,6	21,0	2,1	3,6	4,3	0,4	*0	0,8	5,0	78,0	1,8
4	40-60	0,4	22,0	1,6	2,8	4,3	1,3	0,4	0,9	12,0	27,0	3,3
4	110-130	0,4	16,0	1,8	3,1	4,5	1,0	0,8	0,6	23,0	27,0	2,8
5	0-20	0,6	22,0	3,9	6,7	5,0	0,2	0,8	0,5	9,0	137,0	2,0
5	40-60	0,2	100,0	1,7	2,9	4,4	1,5	0,3	0,7	48,0	35,0	3,1
5	110-130	0,1	100,0	1,8	3,1	5,1	1,2	0,6	0,9	104,0	31,0	3,0
6	0-20	1,1	21,0	5,0	8,6	4,8	0,1	1,5	0,7	14,0	137,0	2,5
6	40-60	0,2	100,0	2,3	4,0	4,5	1,2	*0	0,9	67,0	43,0	3,8
6	110-130	0,1	100,0	1,3	2,2	5,4	1,1	0,4	0,8	163,0	35,0	3,1
7	0-20	0,7	19,0	3,1	5,3	4,8	0,2	0,8	0,6	9,0	66,0	2,0
7	40-60	0,1	100,0	1,8	3,1	4,8	1,0	0,7	0,9	44,0	39,0	3,0
7	110-130	0,2	100,0	1,2	2,1	5,3	0,3	2,4	3,7	184,0	31,0	2,1
8	0-20	1,1	18,0	2,4	4,1	6,8	0,0	1,6	1,0	28,0	98,0	0,5
8	40-60	0,5	19,0	1,9	3,3	4,5	1,2	0,6	0,6	25,0	55,0	3,3
8	110-130	0,3	100,0	1,0	1,7	4,5	0,7	0,7	1,2	168,0	45,0	1,2
9	0-20	0,6	21,0	4,0	6,9	5,8	0,0	1,8	0,9	12,0	98,0	1,5
9	40-60	0,1	100,0	2,3	4,0	4,6	0,8	1,5	0,9	18,0	23,0	3,1
9	110-130	0,2	100,0	0,8	1,4	5,5	0,2	2,7	4,9	216,0	23,0	1,5
10	0-20	1,4	20,0	3,8	6,6	5,7	0,0	2,1	1,2	12,0	105,0	1,5
10	40-60	0,3	100,0	1,5	2,6	5,2	0,3	4,5	4,4	177,0	27,0	2,0
10	110-130	5,2	22,0	0,8	1,4	5,3	0,1	3,1	4,7	428,0	20,0	1,2
11	0-20	2,1	23,0	5,0	8,6	5,8	0,0	2,9	2,2	85,0	140,0	1,6

Tabela 17. Continuação...

11	40-60	4,4	30,0	1,8	3,1	4,7	0,3	3,9	6,1	294,0	51,0	2,0
11	110-130	3,7	34,0	1,0	1,7	5,9	0,1	8,7	5,2	455,0	51,0	1,2
12	0-20	0,2	100,0	3,1	5,3	4,6	0,5	1,4	0,7	14,0	59,0	2,5
12	40-60	0,6	100,0	0,8	1,4	6,7	0,0	2,7	3,6	552,0	23,0	0,5
12	110-130	4,3	59,0	2,6	4,5	9,0	0,0	5,1	6,9	1426,0	59,0	0,0

Não há classificação para os teores de acidez total ($H^+ + Al^{3+}$), pois o objetivo principal desta determinação é para usá-los no cálculo do valor T. Genericamente, pode-se dizer que há uma tendência de ocorrer maiores teores de $H^+ + Al^{3+}$ (tabela 16) em solos mais ricos em matéria orgânica, principalmente se estes apresentarem pH muito baixo.

O cálcio e o magnésio de uma maneira geral se comportaram da seguinte maneira: os teores de cálcio sempre estiveram no complexo de troca enquadrados na categoria baixa a média (tabela 16 e figura 4), enquanto os teores de magnésio sempre estiveram de média a alta. No terço superior e médio, os teores de cálcio diminuíram com a profundidade, enquanto que no terço inferior ocorreu exatamente o contrário. Já em relação ao magnésio, somente no terço superior é que aconteceu um decréscimo em profundidade. Nos outros terços (TS e TM) ocorreu um aumento dos teores de magnésio em profundidade. Os níveis de saturação do solo estudado em relação ao cálcio e magnésio apresentaram valores de 26,6% e 24,2%, respectivamente. Um solo fértil, com boa condição nutricional para as culturas, normalmente, apresenta as seguintes saturações em cátions: cálcio de 50 a 70%; hidrogênio de 15 a 20%; magnésio de 10 a 15% e potássio de 3 a 5%.

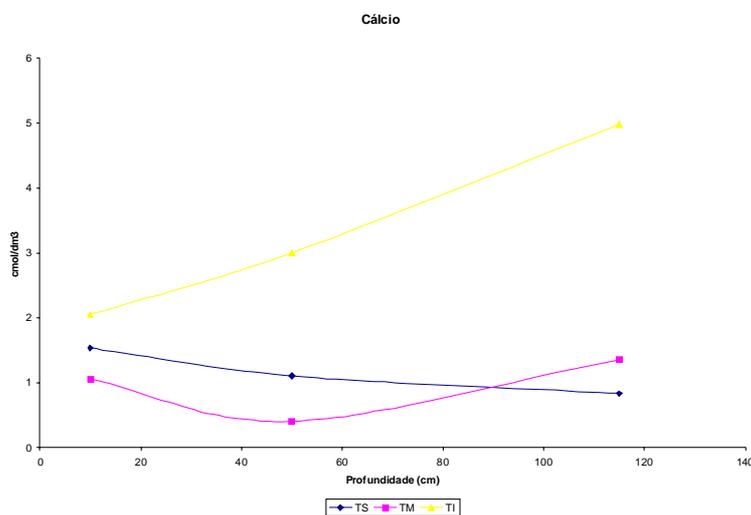


Fig. 4. Curva de cálcio nos perfis nos três terços.

Desta forma, pode-se esperar que se os teores de Ca e Mg estiverem baixos, o solo estará com excesso de acidez (baixo pH) e baixa saturação por bases (o que foi observado principalmente no terço superior da pendente) e, provavelmente com toxicidade por alumínio (o que foi observado com pouca frequência no terço superior). Normalmente solo que apresenta baixos teores da Ca e Mg também apresenta baixo valor T, o que é mais comum em solos arenosos como o encontrado sob vegetação nativa ao lado do lote irrigado. Na área em estudo, a elevada média de T deve-se exclusivamente aos fertilizantes e adubos de elevada solubilidade utilizados em grande quantidade nas culturas irrigadas.

Sendo a saturação por bases um valor relativo, pode se apresentar elevada nessas condições, dando uma falsa indicação de fertilidade elevada. Daí a importância de se classificar também os valores absolutos da Ca e Mg. No caso estudado, a participação menor do íon cálcio na composição geral da saturação por cátions, quando comparado com um solo referência, é que propicia os desequilíbrios iônicos neste solo.

Quanto ao desbalanceamento do íon magnésio (figura 5) em relação ao cálcio no caso estudado, embora existam muitas publicações relacionando os valores mais adequados dessa relação, na verdade, trata-se de um mito. Analisando os resultados experimentais referentes ao assunto, verifica-se que as culturas agrícolas, de uma maneira geral, não apresentam exigências muito estreitas em termos de relação entre cátions, como Ca/Mg, Ca/K ou Mg/K; ou seja, experimentos têm demonstrado que elas produziram bem em uma larga faixa de variação destas relações, desde que os teores de Ca, Mg e K estejam adequados.

O sódio não é um nutriente essencial para as plantas, embora possa substituir algumas funções bioquímicas do potássio no metabolismo vegetal. Sua quantidade em solo normal deve ser pequena, entretanto, quando o Na está presente no solo em quantidades significativas, particularmente em proporção a outros cátions, ele pode ter efeitos adversos sobre a produtividade das culturas, seja diretamente, dificultando a absorção de água e cátions nutrientes pela planta, fenômeno conhecido como "seca fisiológica", ou indiretamen-

te, pelo seu efeito dispersante sobre as argilas, causando desestruturação do solo e prejudicando a infiltração de água, difusão do oxigênio e crescimento das raízes (figura 6).

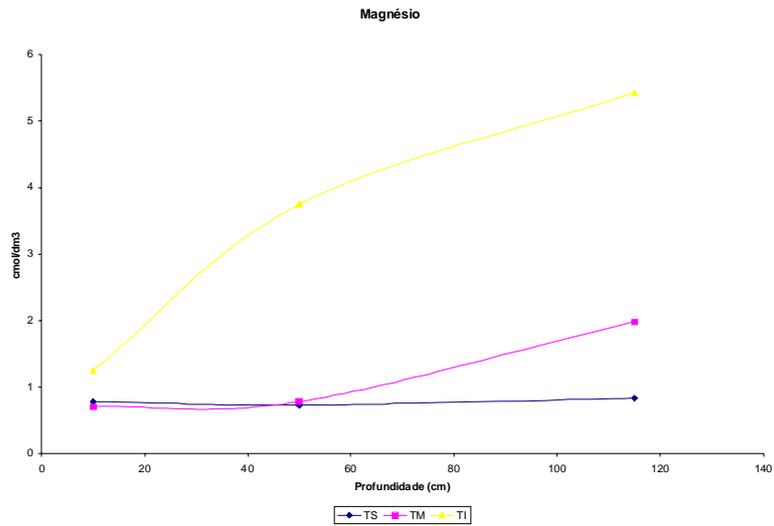


Fig. 5. Curva de magnésio nos perfis nos três terços.

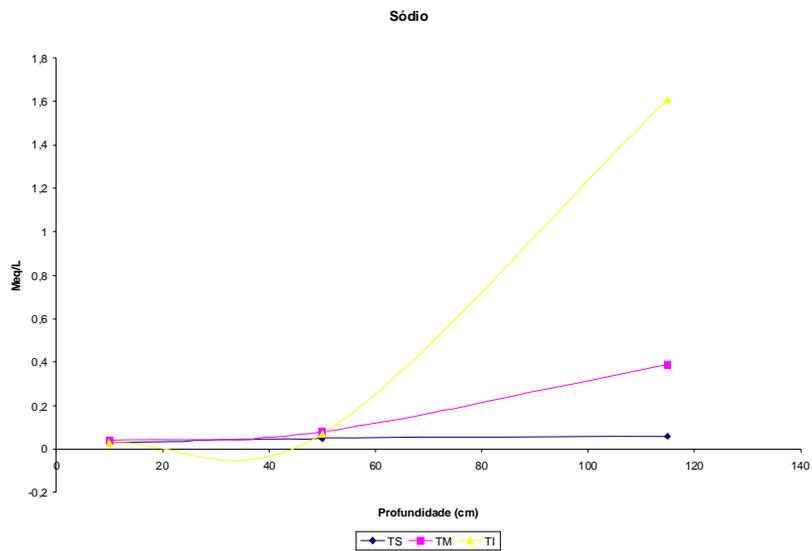


Fig. 6. Curva de sódio nos perfis nos três terços.

Em solos não salinos, a saturação por sódio no valor T é inferior a 1%. O valor de 15% é utilizado como limite para adjetivação dos solos halomórficos. Esses solos possuem pH na faixa alcalina e quantidades de sais suficientes para prejudicar o crescimento vegetal. Na topossequência estudada, somente no terço inferior e nas maiores profundidades é que se encontraram características de ligeiramente a medianamente sódicas. No restante dos perfis essa característica não foi encontrada (figura 8).

A razão de adsorção de sódio (RAS), de uma maneira geral foi classificada como normal, só apresentando caráter salino e salino/sódico no terço inferior da encosta, por razões já discutidas anteriormente para o parâmetro PST.

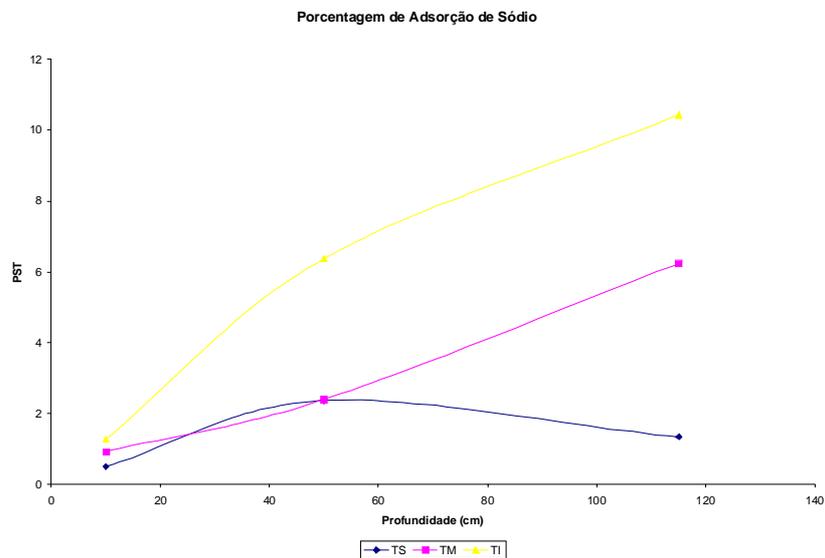


Fig. 8. Curva da porcentagem de absorção de sódio nos perfis.

Embora esteja ocorrendo nitidamente um carreamento de bases ao longo da pendente, ocasionada principalmente por um excesso na lâmina d` água de irrigação, os drenos superficiais abertos até uma profundidade média de 1,2 metros, estão cumprindo suas funções de rebaixar o lençol freático e drenar o excesso de sais. Esses sais estão sendo acumulados nas cotas mais baixas das glebas irrigadas, provocando um processo crescente de salinização e sodificação destas áreas mais baixas. Este fato é observado claramente no

poço 12, local cultivado com mangueira, onde os indícios de halomorfismo são perceptíveis na fisiologia das plantas.

O potássio apresentou, via de regra, teores médios e até altos em algumas determinações, não sendo objeto de preocupação no momento com relação aos efeitos halogênicos deste solo.

Considerações Finais

A agricultura irrigada em regiões áridas e semi-áridas requer um monitoramento periódico da salinidade do solo. Para tanto, procedimentos práticos e rápidos de campo para medidas da CEEs, que permitam identificar áreas fontes de carregamento de sais e mapear a distribuição e extensão dos solos afetados por sais, devem ser utilizados.

O nível de sais na zona radicular deve ficar abaixo do nível nocivo às plantas cultivadas. Assim, o monitoramento direto da salinidade na zona radicular é recomendado para avaliar a eficiência dos diversos programas de manejo na área irrigada.

A determinação da salinidade pode ser feita tanto por métodos de laboratório como por método de campo. No laboratório, estima-se a salinidade a partir de medidas da CEEs ou da CEa em diferentes relações solo:água. Em condições de campo, basicamente três métodos são disponíveis para se determinar a condutividade elétrica e avaliar a salinidade: a) técnica de indução eletromagnética; b) four-electrode probes e c) time domain reflectometry – TDR. Estes três métodos são amplamente usados, especialmente onde se deseja informações imediatas visando o mapeamento ou monitoramento das variações de salinidade em escala de campo. Cada um dos métodos tem vantagens e desvantagens, de modo que a escolha do mais apropriado ou de uma combinação de métodos vai depender das necessidades específicas e dos objetivos de cada situação particular de interesse.

Os trabalhos de campo e laboratório realizados pela Embrapa não tiveram nenhuma pretensão de avaliar integralmente todo o processo de gênese antrópica da salinidade do solo em questão, pois tal processo levaria alguns

anos para ser realizado, diversos equipamentos deveriam ser utilizados e centenas de pontos amostrais deveriam ser analisados em campo e laboratório. Além do mais, o fenômeno de salinização apresenta uma variação espacial e temporal natural, devido a influências de práticas de manejo utilizadas, profundidade do lençol freático, permeabilidade do solo, taxa de evapotranspiração, chuvas, salinidade da água subterrânea, dentre outros fatores geohidroquímicos. Estes parâmetros envolvidos requerem uma boa análise estatística para a interpretação dos dados. Com todos esses complicadores, torna-se imprescindível a utilização de ferramental de geoestatística para a análise dos dados de salinidade, que deve ser realizada de modo a permitir a identificação de áreas problemáticas e o monitoramento das variações temporais, tornando possível planejar o estudo de recuperação, definir estratégias de manejo, bem como identificar que fatores estão contribuindo para o problema.

Como o objetivo desse trabalho foi caracterizar toda a área amostrando parte e analisando em sua íntegra uma toposseqüência sob irrigação, através de uma diagnose sobre a potencialidade de estar ocorrendo o fenômeno de salinização antrópica, concluímos que vários fatores contribuíram para um processo de salinização de parte do lote irrigado:

- excesso de lâmina de água aplicada no lote;
- uso inadequado de fertilizantes com índices salinos elevados;
- déficit hídrico acentuado;
- terço inferior da vertente com solos rasos;
- má drenabilidade ao longo do perfil devido ao aparecimento de camada de fragipã;
- sistema de drenagem pouco efetivo no terço inferior.

Logicamente que a gênese do processo de salinização ainda está no início, o que pode ser reversível, desde que se lance mão de algumas ações corretivas nas áreas de cotas altimétricas mais baixas, como o emprego de gessagem e principalmente a instalação de uma rede de drenos subterrâneos no terço

inferior, visando remover o excesso de sais da margem da poligonal do lote. O uso de vegetais mais resistentes à salinidade também deve ser empregado na periferia da parte baixa do lote terço inferior.

Por último, deve-se corrigir o excesso de lâmina de água aplicada no lote, utilizando somente a lâmina calculada no projeto inicial, bem como, deve-se evitar a utilização de fertilizantes com índices salinos elevados, como por exemplo: nitrato de amônio, sulfato de amônio; nitrato de sódio; uréia; fosfato diamônico; cloreto de potássio e nitrato de potássio. Deve-se lançar mão ainda, caso viável economicamente, da adubação orgânica e/ou adubação verde.

Referências Bibliográficas

BOHN, H. L.; MCNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A. **Soil chemistry**. New York: J. Wiley & Sons, 1985. 341 p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p. Publicação conjunta da Embrapa Solos e da Embrapa Informática Agropecuária. Organizado por Fábio Cesar da Silva.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Série Documentos, 1). Organizado por Marie Elisabeth Christine Claessen. Coordenação técnica: Washington de Oliveira Barreto, José Lopes de Paula e Mariza Nascimento Duarte.

ESTADOS UNIDOS. United States Department of Agriculture Salinity Laboratory Staff. **Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils**. Washington: USDA, 1954. 160 p. (USDA. Agriculture handbook, nº. 60).

FIREMAN, M.; WADLEIGH, C. H. A statistical study of the relation between pH and the exchangeable-sodium-percentage of western soils. **Soil Science**, New Brunswick, v. 71, p. 273-285, Jan./June, 1951.

LANDON, J. R. (Ed.). **Booker tropical soil manual**. London: Booker, 1984. 450 p.

PEREIRA, J. R.; CORDEIRO, G. G. Efeito da irrigação e adubação sobre algumas características químicas de um vertissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 6, p. 627-633, jun. 1987.

PEREIRA, J. R.; SIQUEIRA, F. B. Alterações nas características químicas de um oxissolo sob irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 2, p. 189-195, abr. 1979.

PIZARRO, D. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. Madrid: Agrícola Española, 1978. 520 p.

RICHARDS, L. A. **Diagnostico y rehabilitacion de suelos salino y sodicos**. México: Limusa, 1954. 172 p.

ANEXOS



Fotos 01 e 02: instalação dos poços de observação.



Fotos 03 e 04: medições num dos poços de observação.



Fotos 05 e 06: dreno superficial no terço médio.



Fotos 07 e 08: dreno superficial no terço médio.



Fotos 09 e 10: dreno superficial no terço médio.



Fotos 11 e 12: detalhes do dreno superficial.



Fotos 13 e 14: efeito da salinidade do solo no terço inferior (poço n. 12) nas culturas de uva (morte) e da manga (queda de aproximadamente 50% na produtividade).