

## Influência da Irrigação na Condutividade Hidráulica de um Vertissolo





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

ISSN 1678-0892

Dezembro, 2007

## Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 113

### Influência da Irrigação na Condutividade Hidráulica de um Vertissolo

Fernando César Saraiva do Amaral  
Luiz Augusto Costa Fernandes  
Ademário Afonso Araújo Filho  
Vinícius José de Souza Vieira  
Walter Gomes Faria Júnior

Rio de Janeiro, RJ  
2007

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](http://www.cnps.embrapa.br)  
E-mail (sac): [sac@cnps.embrapa.br](mailto: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 (2007): 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).

---

631.587

A479i Amaral, Fernando César do.  
Influência da irrigação na condutividade hidráulica de um vertissolo /  
Fernando César Saraiva do Amaral ... [et al.]. – Dados eletrônicos – Rio de  
Janeiro: Embrapa Solos, 2007.  
(Boletim de pesquisa e documentação / Embrapa Solos, ISSN 1678-  
0892 ; 113)  
Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.  
Modo de acesso: < [http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/  
conhecimentos.html](http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html)>  
Título da página da Web (acesso em 8 set. 2007).  
1. Condutividade Hidráulica. 2. Irrigação por Gotejamento. 3. Irrigação  
por Sulco. 4. Vertissolo. I. Fernandes, Luiz Augusto Costa. II. Araújo Filho,  
Ademário Afonso. III. Vieira, Vinícius José de Souza. IV. Faria Júnior,  
Walter Gomes. V. Embrapa. VI. Título. VII. Série.

---

©Embrapa 2007

## Sumário

|  |    |
|--|----|
| Resumo .....   | 5  |
| Abstract .....   | 7  |
| Introdução .....   | 9  |
| Revisão Bibliográfica .....                                      | 9  |
| Aspectos gerais sobre vertissolos e seu manejo .....             | 9  |
| Melhoria da condutividade hidráulica (K) em solos vérticos ..... | 13 |
| Material e Métodos .....   | 20 |
| Resultados e Discussão .....                                     | 29 |
| Conclusões .....   | 31 |
| Referências Bibliográficas .....                                 | 33 |

## Influência da Irrigação na Condutividade Hidráulica de um Vertissolo

---

Fernando César Saraiva do Amaral<sup>1</sup>  
Luiz Augusto Costa Fernandes<sup>2</sup>  
Ademário Afonso Araújo Filho<sup>3</sup>  
Vinícius José de Souza Vieira<sup>3</sup>  
Walter Gomes Faria Junior<sup>3</sup>

### Resumo

Os vertissolos são solos reconhecidamente de boas características químicas e desfavoráveis características físicas, destacadamente a baixíssima condutividade hidráulica, o que dificulta sobremaneira o manejo irrigado, podendo conduzir, se este for mal feito, à salinização e/ou sodificação.

Como os vertissolos da usina Agrovale explorados há 23 anos com cana-de-açúcar não apresentavam de modo geral esse(s) fenômeno(s), resolveu-se comparar esses solos com similares do projeto Salitre em condições naturais, objetivando inferir se o manejo irrigado de longa data favorecia o desenvolvimento da permeabilidade em subsuperfície e, conseqüentemente, o aumento da condutividade hidráulica.

Os testes realizados pelo método do Furo do Trado na Ausência de Lençol (Porchet) não confirmaram essa hipótese, uma vez que não foram encontradas diferenças entre a condutividade hidráulica entre vertissolos irrigados e em condições naturais, assim como entre os métodos de irrigação por sulco e gotejamento subsuperficial.

---

<sup>1</sup>Pesquisador Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico 1024 - Bairro Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ.  
Email: fernando@cnps.embrapa.br.

<sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo Codevasf. SGAN Gol - Ed. Manoel Novaes - Brasília, DF. luizac@codevasf.org.br.

<sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo Agrovale - Fazenda Massayo - Zona Rural - Juazeiro, BA. aaraujo@agrovale.com.

Constatou-se ainda que a possível causa de ausência de macroporosidade em subsuperfície poderia dever-se a pouca penetração do sistema radicular abaixo da camada arável e à ausência de atividade biológica representada pela mesofauna.

Termos de indexação: Vertissolo, condutividade hidráulica, cana-de-açúcar, gotejamento subsuperficial.

## Influence of the irrigation on hydraulic conductivity of the vertisol

---

### Abstract

The vertisol has good chemical and restricted physical properties, emphasizing the very small hydraulic conductivity. This characteristic can conduce to salinisation and sodification if the irrigation is not being done in the manner proper.

In the Agrovale farm, the vertisol is exploited at 23 years without identify salisation. In order to evaluate the hydraulic conductivity of the vertisols under irrigation system and natural conditions, many tests (Porchet method) were conducted.

No difference was found between irrigated and natural vertisol and furrow and drip system. The absence of roots and soil mesofauna can explain the absence of macroporosity and consequently the same hydraulic conductivity values.

Index terms: vertisol, hydraulic, conductivity, sugarcane, subsurface drip.

## Introdução

Um dos maiores projetos de irrigação da região Semi-Árida é o Salitre, localizado no município de Juazeiro, Estado da Bahia, originalmente com mais de 30.000 ha. Esse projeto é dominado por vertissolos que têm como uma de suas principais características a baixíssima drenabilidade que, em muitos casos, dependendo do manejo adotado, pode conduzir à salinização e/ou sodificação. Esse processo inicialmente diminui a produtividade vegetal e, se não controlado, pode levar inclusive à inviabilidade econômica de todo o projeto.

A dificuldade em manejá-lo tecnicamente e a limitada capacidade de retirar os sais em excesso restringem a classificação desse solo para a irrigação. Alguns técnicos que atuaram na reavaliação da irrigabilidade dos solos desse projeto especularam a respeito da influência do manejo a longo prazo utilizando o sistema de irrigação. Eles suspeitavam que esse fator poderia influir positivamente na condutividade hidráulica o que mereceria inclusive uma revisão da classificação da irrigabilidade quanto ao parâmetro drenabilidade. A revisão bibliográfica empreendida posteriormente constatou que realmente muitos autores encontraram melhoria da drenabilidade de vertissolos sob irrigação a longo prazo, o que serviu de estímulo para a implementação desse ensaio comparativo.

## Revisão Bibliográfica

### Aspectos gerais sobre os vertissolos e seu manejo

Com base no levantamento de solos realizado na área (Protecs, dados não publicados), os solos predominantes na área do Projeto de Irrigação Salitre são basicamente vertissolos, sendo aproximadamente 60% profundos, 34% profundos e com problemas de salinização/sodificação em subsuperfície e 6% rasos e pedregosos.

O correto manejo da classe dos vertissolos é muito importante na região de Juazeiro, já que dos 115.000 ha mapeados no Vale do São Francisco, 67.000 ha encontram-se nesse município (OLIVEIRA, 1997). Desses, 9.500 ha são irrigados pela Agrovale, há mais de vinte anos, utilizando basicamente cana-de-açúcar, com excelente resultado (BATISTA; CALDAS JUNIOR, 1996). Do restante, boa parte desses solos se encontra na área do Projeto Salitre.



Segundo Embrapa (2006), a classe dos vertissolos compreende solos constituídos por material mineral apresentando horizonte vértico e pequena variação textural ao longo do perfil, nunca suficiente para caracterizar um horizonte B textural. Apresentam pronunciadas mudanças de volume com o aumento do teor de água no solo, fendas profundas na época seca, e evidências de movimentação da massa do solo, sob a forma de superfícies de fricção (slickensides). Podem apresentar microrrelevo tipo gilgai e estruturas do tipo cuneiforme, inclinadas e formando ângulo com a superfície horizontal. Estas propriedades resultam da grande movimentação da massa do solo que se contrai e fendilha, quando seca, e se expande, quando úmida. São de consistência muito plástica e muito pegajosa, devido à presença comum de argilas expansíveis ou mistura destas com outros argilominerais.

Apresentam seqüência de horizonte A-Cv ou A-Biv-C. Variam de pouco profundos a profundos, embora ocorram também solos rasos. Em termos de drenagem, variam de imperfeitamente a mal drenados, ocasionalmente moderadamente drenados. Quanto à cor, podem ser escuros, acinzentados, amarelados ou avermelhados. Fisicamente, quando úmidos, têm permeabilidade à água muito lenta. São solos de alta capacidade de troca de cátions, alta saturação por bases (> 50%) com teores elevados de cálcio e magnésio, e alta relação Ki (> 2,0). A reação de pH mais freqüente situa-se da faixa neutra para alcalina, podendo, menos freqüentemente, ocorrer na faixa moderadamente ácida. Caracterizam-se basicamente pela baixíssima macroporosidade e condutividade hidráulica em condições naturais. Essa propriedade pode torná-los suscetíveis à salinização (com ou sem sodificação) quando irrigados, principalmente se não forem manejados corretamente, em relação à manutenção do teor de umidade no solo e à drenagem (HOLSAMBRE, 1982).

Segundo Embrapa (2006), a parte correspondente ao horizonte subsuperficial, que já sofreu transformação suficiente para não ser considerada como saprolito, quando de seqüência ACv, e o horizonte Biv possuem estrutura prismática composta de blocos ou estrutura em blocos angulares e subangulares ou cuneiformes e/ou paralelepípedicas. A textura é normalmente argilosa ou muito argilosa, embora possa ser média (com um mínimo de 300 g de argila por kg de solo) nos horizontes superficiais; quanto à consistência, varia de muito duro a extremamente duro quando seco, sendo firme a extremamente firme quando úmido, e muito plástico e muito pegajoso quando molhado.

São solos desenvolvidos normalmente em ambientes de bacias sedimentares ou a partir de sedimentos com predomínio de materiais de granulometria fina e com altos teores de cálcio e magnésio, ou ainda diretamente de rochas básicas ricas em cálcio e magnésio. Ocorrem distribuídos em diversos tipos de clima, dos mais úmidos (mas com estação seca definida) aos mais secos, tendo grande expressão nas bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste brasileiro. Quanto ao relevo, estes solos se distribuem em áreas planas ou suave-onduladas e, menos freqüentemente, em áreas movimentadas, tais como encostas e topos de serras ou serrotes.

Prevalecem na taxonomia as características do horizonte vértico, mesmo que os solos apresentem horizonte glei, cálcico, duripã, caráter solódico, sódico, salino ou sálico.

São considerados intermediários para vertissolos aqueles solos com presença de horizonte vértico, mas que não atendem à definição desta classe ou solos cujos atributos identificadores da classe (fendas, "slickensides", estruturas cuneiformes e/ou paralelepípedicas) manifestam-se em quantidade e expressão insuficientes para caracterizar horizonte vértico. Tais solos intermediários serão adjetivados de "vérticos" no 4º nível.

Portanto, pode-se dizer que vertissolos são solos constituídos por material mineral com horizonte vértico dentro de 100 cm de profundidade e relação textural insuficiente para caracterizar um B textural, apresentando além disso, os seguintes requisitos:

- (a) teor de argila, após mistura e homogeneização do material de solo, nos 20 cm superficiais, de no mínimo 300 g/kg de solo;
- (b) fendas verticais no período seco, com pelo menos 1 cm de largura, atingindo, no mínimo, 50 cm de profundidade, exceto no caso de solos rasos, onde o limite mínimo é de 30 cm de profundidade;
- (c) ausência de material com contato lítico, ou horizonte petrocálcico, ou duripã dentro dos primeiros 30 cm de profundidade;
- (d) em áreas irrigadas ou mal drenadas (sem fendas aparentes), o coeficiente de expansão linear (COLE) deve ser igual ou superior a 0,06 ou a expansibilidade linear é de 6cm ou mais;

e) ausência de qualquer tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte vértico.

Essa inquestionável dificuldade de manejo dos vertissolos se aplica tanto na agricultura de sequeiro como na irrigada. Em Juazeiro/BA, nos vertissolos utilizados há muito tempo sob irrigação e próximos do Projeto Salitre, como os citados da usina Agrovale, mesmo que bem manejados, a produtividade da cana-de-açúcar é menor nessa classe de solo do que nos argissolos eutróficos, com o mesmo manejo e mesma variedade de cana-de-açúcar. A mesma desfavorável produtividade comparativa, inerente a esses solos, se constata em outras regiões

A questão da salinidade do solo, contemplando ou não a sodicidade, é uma variável de elevada importância e como tal, merece alguns comentários. A salinidade é um dos importantes fatores causadores da degradação físico-química dos solos e que, portanto, afeta 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 acelerar o processo de salinização (AMARAL, 2005).

Segundo Raine e Foley (2002), existem três vantagens básicas de se fazer a correta irrigação:

- (a) minimizar perdas de produção devidas ao encharcamento do solo;
- (b) evitar água perdida por drenagem profunda, incrementando a máxima aplicação de água e com isso, permitindo que se possa produzir mais com a mesma quantidade;
- (c) conservar o recurso natural, minimizando o risco de salinização e ou sodificação e com isso, aumentando a sustentabilidade.

Nesse ponto cabe destacar a diferença entre perigo de salinização e risco de salinização. A primeira é uma função das propriedades inerentes à relação solo x paisagem; enquanto a segunda é uma função das conseqüências do manejo no surgimento dessa predisposição natural.

A salinização dos solos é um processo restrito às áreas de climas áridos e semi-áridos ou de solos compactos, de drenagem difícil e evaporação rápida. A acumulação de sal ocorre preferencialmente, nas depressões argilosas de baixa permeabilidade e de lixiviação reduzida (BIGARELLA et al. 1996), exatamente como boa parte da paisagem onde está locado o Projeto de Irrigação Salitre.

A salinização do solo e em maior escala dos aquíferos, associada à retirada da vegetação, abre o caminho numa primeira fase ao incremento do processo de erosão criando as condições então para o desenvolvimento do processo final de degradação ambiental que é a desertificação. Esse processo de intensa degradação ambiental, infelizmente, tem crescido em algumas regiões do Semi-Árido Nordeste.

Melhoria da condutividade hidráulica (K) em solos vérticos Segundo Amaral (2005), em termos práticos pode-se classificar a condutividade hidráulica em muito lenta (menor que  $0,4 \text{ cm h}^{-1}$ ), lenta (entre  $0,4$  e  $2 \text{ cm h}^{-1}$ ), moderada (entre  $2$  e  $8 \text{ cm h}^{-1}$ ), rápida (entre  $8$  e  $12 \text{ cm h}^{-1}$ ) e muito rápida (maior que  $12 \text{ cm h}^{-1}$ ). Praticamente todos os testes empregados em vertissolos encontraram valores de condutividade hidráulica enquadrados como muito lenta, o que de per si, segundo o entendimento dos técnicos atuantes na área, já seria motivo suficiente para classificá-los como não irrigáveis. No entanto, não é difícil encontrar vertissolos apresentando razoáveis produtividades com algumas culturas específicas. Uma das possíveis explicações seria a melhoria da condutividade hidráulica com o tempo de exploração sob irrigação, ao contrário da maioria dos solos de mineralogia caulinitica ou oxidica que têm seus indicadores físicos de qualidade piorados com o manejo, destacadamente a porosidade.

Batista e Caldas Junior (1996) tiveram sucesso ao implementar drenagem subterrânea com drenos entubados em vertissolo do Projeto Mandacaru (Juazeiro, Estado da Bahia) com drenos distanciados  $20 \text{ m}$  em um lote e  $30 \text{ m}$  em outro, com a profundidade variando de  $1,2$  a  $1,7 \text{ m}$ . A salinidade que se encontrava em níveis crescentes nesta parte do perímetro foi controlada. Constatou-se redução da condutividade elétrica das águas de drenagem (dessalinização) com valores aproximados de  $9,5$  para  $1,7 \text{ dS m}^{-1}$  na camada  $0$  a  $0,3 \text{ m}$  e de  $7,1$  para  $2,7 \text{ dS m}^{-1}$  na camada de  $0,3$  a  $0,6 \text{ m}$ , em um período de  $190$  dias de "lavagem do perfil" (figura 1). Os autores sugeriram ainda que, em

vertissolos onde não se possa realizar drenagens subterrâneas devido a ausência de saprolito drenável, seja feita a instalação de furos verticais de alívio, para ajudar na retirada do excesso de água da área.

Quanto à condutividade hidráulica, foi constatado nesse importante estudo que os valores aumentaram em subsuperfície, à medida que se aproximava do saprolito (horizonte CR). Essa conclusão é muito importante uma vez que práticas de manejo do solo que melhorem a condutividade hidráulica, melhorarão o retorno econômico e a avaliação desses solos para a agricultura irrigada. Nesse ponto vale a pena destacar que os autores no referido trabalho, devem estar se referindo ao topo do horizonte CV1 (nesses casos variando de 0,12 a 0,25 m) como de menores valores de condutividades hidráulicas, já que o horizonte A (superficial 0 a 0,12 m), por conter maiores teores de matéria orgânica, frações de areia e apresentarem autogranulação (self-mulching), normalmente apresentam valores de (K) superiores aos do topo do CV1.

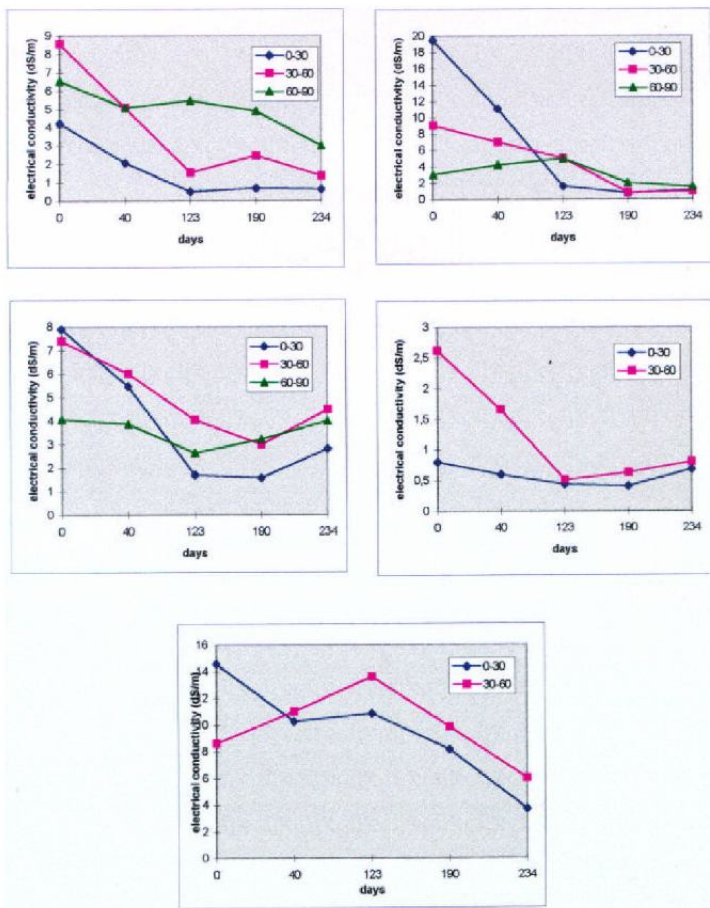


Fig. 1. Redução da salinidade em vertissolo ao longo do tempo através da drenagem subsuperficial.

Essa região apresenta vários projetos de irrigação próximos um do outro, podendo-se citar o Mandacaru e o Tourão. Nesses projetos, os vertissolos apresentam condutividade hidráulica (K) na mesma ordem de grandeza dos vertissolos do Projeto Salitre, em torno de  $3 \text{ mm dia}^{-1}$ , obtidos pelo teste do furo do trado com e em ausência de lençol freático. Isso permite que, associado a outros parâmetros importantes, possam ser replicados os resultados de manejo de um para outro, facilitando e dando segurança para avaliações de seu futuro comportamento.

Silburn e Montgomery (2006) de igual forma atribuíram vantagens para o uso dos vertissolos profundos que apresentam camadas em subsuperfície com maior K, uma vez que possuem baixo risco de salinização e precisam de pouca água para irrigação, uma vez que a drenagem é muito lenta.

Segundo a FAO (1979), a condutividade hidráulica média de rochas porosas, incluindo "caliche" duro ou semiduro (substrato semelhante ao dos solos do Projeto Salitre) é de  $25,4 \text{ cm h}^{-1}$ , com máximo de  $320 \text{ cm h}^{-1}$  e mínimo de  $0,02 \text{ cm h}^{-1}$ . Esse dado é muito importante pois apresenta a drenabilidade em subsuperfície desse material. Como a velocidade em subsuperfície é maior que em superfície, isso garante a não formação de lençol freático e consequentemente, elimina risco de salinização/sodificação em áreas que possuem gradiente de relevo, ou seja, não são abaciadas (deprimidas).

São poucos os estudos de drenagem subterrânea em vertissolos. Os realizados na Índia e na América Central foram bem sucedidos no rebaixamento do lençol freático e na diminuição da salinidade do solo (BATISTA; CALDAS JUNIOR, 1996). Para facilitar o entendimento dessa recuperação, apresenta-se na tabela 1 alguns exemplos da melhoria da condutividade hidráulica em solos verticos, depois da implementação da drenagem acompanhada ou não de outras práticas complementares como elevação do teor de matéria orgânica no solo (por exemplo adubação verde, adição de esterco, palhas, resíduos), subsolagem, gessagem entre outros. O espaçamento entre drenos diferiu para cada situação dependendo da peculiaridade de cada ambiente, sendo normalmente superior a 20 m.

**Tabela 1.** Aumento da condutividade hidráulica (K) em alguns solos vérticos, através da drenagem, complementada ou não por: gessagem (G), elevação da matéria orgânica (MO), subsolagem (S) ou outros (O).

| local                | condutividade hidráulica (cm h <sup>-1</sup> ) |                    | espessamento (m) | complemento | referência                     |
|----------------------|--|--------------------|------------------|-------------|--------------------------------|
|                      | Antes da drenagem                              | Depois da drenagem |                  |             |                                |
| Vale do Curu/CE      | 0,03   | 1,00               | 20,00            | G, MO, S, O | Oliveira Junior et al. (1998)  |
| Parbhani/Índia       | -  | 5,60               | 13,00            | -           | Holsambre, 1982                |
| Projeto Mandacaru/BA | 0,03   | 0,70               | 30,00            | O           | Batista e Caldas Junior (1996) |
| Austrália            | 1,4  | 2,5                | não informado    | G           | Slavich et al. (1995)          |
| Índia                | 0,013  | 0,05               | não informado    | G           | Verma e Abrol (1980)           |

Silva et al. (2005) com experimentação em solos vérticos no Estado do Ceará, determinando entre outros parâmetros a condutividade hidráulica, concluíram que os ciclos de umedecimento e secamento das amostras de solos interferiram em sua condutividade hidráulica, diminuindo-a bastante devido à destruição de parte de sua porosidade.

Heck et al. (2003) concluíram que a topografia superficial do terreno tinha maior influência na acumulação de sais que a elevação em relação ao nível da drenagem e à profundidade do solo. Esta conclusão está em concordância com o manejo praticado nos vertissolos australianos usados com irrigação, principalmente no noroeste e sul de Queensland. Esses solos são alguns dos mais pesados do mundo, com uma condutividade hidráulica muito baixa. De maneira geral, no total das áreas irrigadas na Austrália, 14% têm superfície ou subsuperfície com (K) muito baixo (bem menos que a velocidade média dos valores obtidos no Projeto Salitre em condições naturais). Entretanto, esses solos podem ser apropriadamente sistematizados para um grau de declive em torno de 3% ou menos, para minimizar o encharcamento. Ou seja, com cuidados apropriados podem ser perfeitamente irrigáveis com riscos mínimos de elevação do lençol freático ou salinização. (Inakwu Odeh, The University of Sydney, Austrália, informação pessoal).



Segundo Tolmie et al. (2003) e Silburn et al. (2003), em condições de vegetação nativa na Austrália, a condutividade hidráulica variou de  $0,3 \text{ mm ano}^{-1}$  em planossolos e vertissolos cinzas a pouco mais de  $1,0 \text{ mm ano}^{-1}$  em vertissolos pretos. Foi constatado que nesses solos, mesmo explorados sob condições de sequeiro, a ocorrência de um significativo aumento da condutividade hidráulica em cerca de 10 vezes, a uma taxa de aproximadamente 1,2% ao ano, com a conseqüente redução da salinidade. Nessa região estudada não houve input salino via adubação e nesses dados já está descontado o input salino proveniente da água da chuva. Essa taxa foi contínua até atingir novo equilíbrio como fração da original, de acordo com a lei de Equilíbrio Donnan (SPOSITO et al. 1986). No entanto, para que ocorra efetiva redução da salinidade é necessária drenagem profunda, ou seja, drenagem abaixo do sistema radicular. Quando confrontaram com o possível sistema irrigado, os autores consideraram vantagens e desvantagens. A desvantagem é que aumenta o input salino via água de irrigação enquanto as vantagens consideraram o aumento da matéria orgânica do solo e conseqüentemente o aumento da porosidade. Com isso a condutividade hidráulica também foi aumentada. Com a diminuição do ciclo de contração e expansão do solo, a porosidade do solo aumentou devido à maior estabilidade estrutural, aumentando também, de forma complementar, a condutividade hidráulica.

Confirmando essa tendência, Hulugalle et al. (2002) encontraram maior eficiência no sistema radicular do trigo na estabilização de bioporos estáveis em vertissolos, quando comparado com algodão e dolichos. Essa melhor porosidade constituída pela gramínea foi a responsável pelo aumento da drenabilidade sob condições de "steady state".

Segundo Friend e Chan (1995), as minhocas podem estar relacionadas com o aumento da porosidade em vertissolos, contribuindo desta forma para o aumento da condutividade hidráulica. Verificaram que a população de minhocas em área com pastagem/gramínea foi maior do que nas áreas cultivadas com culturas anuais, devido ao não revolvimento do solo. Hartmann et al. (2006) concordaram com os autores acima, constatando que vertissolo cultivado com gramíneas sob irrigação há mais de 20 anos, tiveram seus valores de condutividade hidráulica elevados devido à porosidade proveniente da renovação do sistema radicular da gramínea.

Segundo Jayawardane e Chan (1994), a porosidade total de um vertissolo pode ser bastante melhorada com um manejo que contemple a utilização de melhoradores químicos (gesso por exemplo), biológicos (adição de matéria orgânica) e mobilização mínima (cultivo mínimo ou culturas perenes ou semi-perenes), bem como a escolha de espécies com sistema radicular vigoroso para aprofundamento e “afofamento” do solo. Weaver et al. (2004) também constataram que o não ou pouco revolvimento do solo contribuiu para uma melhoria da porosidade devido à continuidade poral refletindo em um nível de drenagem quase três vezes superior à mesma condição com preparo convencional do solo.

Essa influência da espécie vegetal nas propriedades químicas e físico-químicas foi investigada por diversos autores, podendo influenciar de forma positiva ou negativa. Por exemplo, Heck et al. (2002) para a uva e Heck et al. (2003) para a manga, demonstraram que as práticas de manejo (irrigação, drenagem, adubação, entre outras) alteraram a variabilidade das propriedades químicas das soluções do solo bem como o complexo de troca, sempre comparando com o solo em condições naturais. Por exemplo, a concentração de sal no solo nas áreas cultivadas foi muito maior que na área sem cultivo (testemunha) e, essa quantidade, não foi devida apenas à adubação e calagem, mas também à ascensão capilar, principalmente nas partes mais próximas à drenagem e/ou mais rasas.

Resultados semelhantes obtiveram Tolmie et al. (2003) e Holanda et al. (2003), sendo que esses autores trabalharam com solos de argilas expansivas. Constatando que a rotação de culturas e o pouco revolvimento do solo por meio do cultivo mínimo, contribuiu para a melhoria da permeabilidade em luvisolos crômicos do Projeto Califórnia, Estado de Sergipe.

Podemos concluir, com base nesses resultados, que há uma indicação de que a condutividade hidráulica obtida em solo com argila expansiva (tipo 2:1) explorado sob sistema de irrigação, apresenta valores discrepantes em relação aos obtidos em condições naturais. O desenvolvimento de poros seja pela renovação do sistema radicular ou pela atividade da mesofauna, bem como pelo poder estruturante do solo proveniente dos microorganismos e ácidos orgânicos advindos do maior teor de matéria orgânica, contribuem para o aumento da porosidade.

Dependendo das condições de exploração, a drenabilidade do solo aumenta, diferentemente de solos oxidícos ou caulínicos (dominância de argila 1:1). Esses solos em que normalmente, quando cultivados com ou sem irrigação, a porosidade e conseqüentemente a condutividade hidráulica diminuem.

De posse dessas informações divergentes quanto à melhoria ou não da drenabilidade em solos expansíveis sob irrigação, foi elaborado esse trabalho comparando dois tipos de vertissolos. Um localizado na área do Projeto Salitre em condições naturais, ou seja, sem irrigação e o outro localizado na Usina Agrovale, irrigado há mais de 20 anos apresentando elevada produtividade. Esperava-se que, apresentando melhores condições físicas sob manejo irrigado esses solos fossem melhor classificados no que tange à classificação sob irrigação, uma vez que normalmente os solos têm suas características naturais, principalmente físicas, degradadas com a exploração intensiva.

### Material e Métodos

Foram realizados no Projeto Salitre mais de 60 testes de condutividade hidráulica (K) pelo método do Furo do Trado na Ausência de Lençol ou método de Porchet (BATISTA et al. 1999) em diversas profundidades. A profundidade média correspondeu a aproximadamente 0,6 m. Os valores de (K) variaram pouco, apresentando um valor médio da ordem de 0,008 cm h<sup>-1</sup>. Esses testes foram implementados pelos técnicos da Codevasf, coordenados por Manuel de Jesus Batista e Luiz Augusto Costa.

A escolha da Usina Agrovale para servir de comparação, justifica-se pelo fato da semelhança com os solos do Projeto Salitre e por serem explorados há muito tempo sob irrigação. Para tal, foram selecionados dois pontos na Usina Agrovale. Um ponto localizado no Campo Jamaica apresentando as coordenadas 333350 e 8946244 e 405 m de altitude (UTM SAD69), explorado com irrigação por sulco e outro ponto localizado no campo denominado Dominicana, apresentando as coordenadas 353895 e 8948964 e 425 metros de altitude, explorado com irrigação por gotejamento subsuperficial. Todas as áreas sempre foram cultivadas com cana-de-açúcar.

A medição foi feita a 0,6 m de profundidade padronizando gotejamento e sulco. A tradagem correspondente ao método "Furo do Trado" foi feita no fundo do sulco de irrigação.

A área está há 8 anos com gotejamento subsuperficial com gotejadores enterrados a 0,3 m e espaçamento de 2,0 x 0,6 m. As figuras 2 e 3 apresentam a visão geral da área Dominicana (gotejamento) e as figuras 4 e 5 a área Jamaica (sulco) onde foram realizados os testes de condutividade hidráulica.



Fig. 2 e 3. Vista da área Dominicana onde foi realizado o teste.



Fig. 4 e 5. Vista da área Jamaica onde foi realizado o teste.

Ambas as áreas estão sendo exploradas com irrigação por sulco há 23 anos. Nas figuras 6 e 7, pode-se ter uma idéia do funcionamento parcial do sistema. A água chega ao campo por meio dos politubos e, após passar pelas janelas, infiltra-se no solo ao longo dos sulcos de irrigação.

A maior parte dos vertissolos do Projeto Salitre é constituída de solos profundos com mais de 1,5 m de profundidade, de coloração bruno-olivácea a bruno-amarelado (figura 6), desenvolvidos a partir do calcário caatinga (figura 7), assente sobre rochas cristalinas, razão pela qual não existem sumidouros para drenagem profunda. Essa drenagem tem que ser feita pelo horizonte CR (transição solo/rocha) normalmente de maior permeabilidade que os horizontes ocorrentes acima, isto é fundamental para que o solo não tenha formação nem elevação do lençol freático. A existência desse horizonte foi constatado no levantamento detalhado na maior parte das unidades de mapeamento.



Fig. 6. Paisagem de vertissolo no Projeto Salitre evidenciando a cor bruno olivácea.



Fig. 7. Perfil típico de vertissolo da região evidenciando o substrato calcário.

Os solos da Usina Agrovale utilizados nesse trabalho são parecidos com os do Projeto Salitre, excetuando a menor profundidade média, em torno de 1,3 m, a cor mais acinzentada, sem saprolito visível e transição calcário (material onde se formou originalmente a massa do solo) gnaïsse (figura 8).



Fig. 8. Perfil de vertissolo próximo da drenagem na área da Usina Agrovale.

O teste foi realizado em duas épocas. A primeira no final de outubro e a segunda no final de novembro/começo de dezembro. As leituras só foram tomadas após a estabilização da velocidade de infiltração, o que ocorreu relativamente rápido, pois esse solo encontrava-se praticamente saturado devido à irrigação prévia, mesmo tendo sido suspensa a mais de 30 dias para facilitar a colheita. Isso se deve à baixa drenabilidade natural nos vertissolos. No segundo período da determinação, o solo estava ainda mais úmido pois ocorrera entrada de água nas parcelas, via chuva, há 10 dias antes da instalação dos testes. Todos os testes foram feitos com repetição.

A produtividade na última colheita de cana-de-açúcar foi de 108 toneladas por hectare, valor relativamente alto para uma parcela em que o sistema de irrigação foi instalado experimentalmente e de forma não uniformizada.

As figuras 8, 9, 10 e 11 apresentam a seqüência do teste desde o início, ilustrado pela transferência dos tambores com água para o local definitivo a ser testado.



Fig. 8 e 9. Retirando os tambores de água para o teste de condutividade hidráulica.



Fig. 10 e 11. Conduzindo os tambores para o local do teste.

Nas figuras 12, 13, 14 e 15 são apresentadas a realização do furo com o trado onde será efetivamente realizado o teste de condutividade hidráulica e o enchimento com água até a profundidade desejada.



Fig. 12 e 13. Iniciando a abertura do furo com o trado.



Fig. 14 e 15. Continuação da montagem do teste.

As figuras 16, 17, 18 e 19 apresentam detalhes dos suportes e marcadores.



Fig. 16 e 17. Instalação dos suportes.





Fig. 18 e 19. Detalhe dos marcadores.

Nas figuras 20, 21 e 22 são apresentados detalhes dos tambores, marcadores e bóias, com estas posicionadas já no furo do trado. Nessa oportunidade o teste já está sendo realizado e as medições são realizadas a intervalos definido até a estabilização da velocidade.



Fig. 20, 21 e 22. Detalhe dos tambores, marcadores e bóias no furo do trado.

Quatro dias após o início da irrigação, pode-se perceber a frente de molhamento gerada pelo gotejador enterrado (figuras 23 e 24). A largura média da frente de molhamento foi de aproximadamente de 1,0 m e essa relativa alta velocidade justificou-se por estar ocorrendo basicamente no horizonte superficial (horizonte A), com 0,12 m de espessura aproximadamente. Em vertissolo, esse horizonte tem normalmente valores de condutividade hidráulica bem mais elevados que os horizontes subsuperficiais, uma vez que a concentração de argila expansiva é bem menor além de apresentar a estrutura micro-agregada (autogranulação).



Fig. 23 e 24. Detalhe da frente de molhamento e da rebrota da soca de 8 anos.

Finalmente nas figuras 25 e 26 são apresentadas as tomadas finais dos tempos e calculada a condutividade hidráulica desse ponto representativo desse solo.



Fig. 25 e 26. Leitura, anotação e cálculo da condutividade hidráulica.

A presença de maior atividade biológica na área irrigada quando comparada com área de sequeiro, em amostras retiradas com o trado nesse ponto do teste, induziu a equipe a acreditar que realmente os valores de condutividade hidráulica pudessem realmente ser maiores que nas áreas de sequeiro (figuras 27 e 28).



Fig. 27 e 28. Indicação da atividade biológica na área irrigada.

As determinações realizadas no campo Jamaica transcorreram sem problemas uma vez que o solo ainda se encontrava com teor de água elevado. Desta forma, problemas como rachaduras ou desuniformidade do furo do trado não ocorreram. As imagens 29, 30, 31 e 32 ilustram essas determinações.



Fig. 29, 30, 31 e 32. Detalhe das determinações de (K) feitas nos sulcos de irrigação.

## Resultados e Discussão

A tabela 2 apresenta os resultados da determinação da condutividade hidráulica nas parcelas irrigadas, sob gotejamento subterrâneo e a tabela 3 apresenta os resultados das parcelas irrigadas por meio de sulcos. Contrariando algumas expectativas, os valores encontrados foram da ordem de 4 mm por dia ( $0,02 \text{ cm h}^{-1}$ ). Estes valores são próximos dos encontrados na área dos vertissolos sem irrigação do Projeto Salitre (vegetação natural), mostrando que a drenagem nesses solos se comporta da mesma forma, ou seja, condição de "steady state", processo muito lento e contínuo.

Foi feita uma tradagem até a rocha (gnaisse) situada a 1,63 m para constatar a presença de lençol freático e este não foi encontrado, mostrando que a irrigação está sendo bem feita com a aplicação da lâmina necessária ao uso da cultura. Não foi constatada da mesma forma a presença de saprolito facilmente observável que permitisse a confirmação de sua existência utilizando como ferramenta apenas o trado. Para se ter certeza da existência ou não dessa camada drenante seria necessária a abertura de trincheira profunda no solo. Foi constatado ainda que o solo a partir de 0,3 m estava úmido uniformemente. As áreas que receberam as doses recomendadas de vinhoto e foram manejadas corretamente não apresentaram indícios de salinização (Vinicius Vieira - informação pessoal). Isso demonstra que mesmo possuindo baixa condutividade hidráulica, essa se processa de forma contínua o que possibilita a drenagem e retirada dos excesso de sais do solo de forma eficiente, decorridos 23 anos de exploração.

Tabela 2. Condutividade hidráulica nas parcelas irrigadas por gotejamento.

| Teste de condutividade "Método de Porchet" |            |   |         |
|--|------------|---|---------|
| Usina Agrovale - parcela Campo Dominicana  |            | Data 18/07/2006                                       |         |
| Médias dos testes T01A e T01B              |            | Localização 353895 / 8948964 e 425 metros de altitude |         |
| Tempo(minutos)                             | Tempo(seg) | Rebaixamento no nível do lençol (cm)                  | Leitura |
| 0  | 0          | 0   | 63      |
| 125  | 7500       | 0,7   | 63,7    |
| 170  | 10200      | 0,2   | 63,9    |
|  |            | 0,9   |         |
| raio do trado=                             |            | 5   |         |
| Altura da lamina no inicio do teste (h0)=  |            | 42  |         |
| altura da lamina no final do teste (ht)=   |            | 41,1  |         |
| tempo final em segundos=                   |            | 10200   |         |
| K=   |            | 0,004 m/dia   |         |
| K=   |            | 0,02 cm/h   |         |

Tabela 3. Condutividade hidráulica nas parcelas irrigadas por sulco.

| Teste de condutividade "Método de Porchet" |            |   |         |
|--|------------|---|---------|
| Usina Agrovale – parcela Campo Jamaica     |            | Data 30/11/2006                               |         |
| Médias dos testes T01A e T01B              |            | Localização 352527 / 8948761 e 405 m altitude |         |
| Tempo(minutos)                             | Tempo(seg) | Rebaixamento no nível do lençol (cm)          | Leitura |
| 0  | 0          | 0   | 66,5    |
| 177  | 10620      | 2,1   | 68,6    |
| 712  | 42720      | 9,2   | 77,8    |
|  |            | 11,3  |         |
| raio do trado=                             |            | 3,75  |         |
| Altura da lamina no inicio do teste (h0)=  |            | 33,3  |         |
| altura da lamina no final do teste (ht)=   |            | 22  |         |
| tempo final em segundos=                   |            | 42720   |         |
| K=   |            | 0,015 m/dia                                   |         |
| K=   |            | 0,06 cm/h                                     |         |

A avaliação visual do sistema radicular da cana-de-açúcar permitiu concluir que se concentrava basicamente nos 0,2 m iniciais, já que a planta dispunha de água e nutrientes em quantidade suficiente para seu ciclo. Dessa forma, sem a penetração do sistema radicular em profundidade, parte da teoria que o raizame da cultura pudesse aumentar a formação de canais e com isso melhorar a condutividade hidráulica se perdeu.

Não foi constatada na área da Usina Agrovale atividade biológica intensa relacionada principalmente à mesofauna (minhocas, cupins, besouros, entre outros). Este fato se deve talvez à ausência de sistema radicular em profundidade, uma das principais responsáveis pela não existência de macroporosidade, mesmo de pequena intensidade, em subsuperfície. Para que haja um estímulo ao desenvolvimento não só da mesofauna, quanto dos próprios microorganismos, torna-se importante que a colheita seja feita sem despalha a fogo, o que permite a adição de 10 a 15 toneladas de matéria seca por hectare por ano.

Os administradores da empresa optaram por instalar o sistema de irrigação por gotejamento na área de menor potencialidade agrícola (mais limitante) exatamente para inferirem a potencialidade da tecnologia. Mesmo com a utilização de um espaçamento grande, a produtividade nessa área atualmente gira em torno de 108 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> com cana-de-açúcar de oito anos. Essa limitação física da área pode ter influenciado a diferença de (K) em relação à área de sulco.

### Conclusões

Apesar de apresentar valores de condutividade hidráulica superiores, não houve diferença entre o vertissolo em condições naturais, localizado na área do Projeto Salitre e outro semelhante sob cultivo de cana-de-açúcar irrigada, localizado na Usina Agrovale, que permitisse a mudança de classe de drenagem; estando ambas as situações enquadradas em muito lenta (menor que 0,4 cm h<sup>-1</sup>).

Não houve diferença entre um vertissolo irrigado há 23 anos pelo método do sulco e outro irrigado há 8 anos pelo método do gotejamento subsuperficial, ambos explorados com cana-de-açúcar na Usina Agrovale.

Não ocorreu diferença entre as condutividades hidráulicas, que justificasse mudança de classe de drenagem, pelo fato de não ter havido aumento da porosidade subsuperficial dos vertissolos irrigados; seja pelo não aprofundamento do sistema radicular da cultura da cana-de-açúcar, seja pela não constatação de atividade biológica intensa, representada pela mesofauna.

Apesar da baixíssima condutividade hidráulica, da ordem de  $0,02 \text{ cm h}^{-1}$ , não foi constatada a formação de lençol freático, o que evidencia o correto manejo da irrigação calibrado para a drenagem lenta e contínua desse tipo de solo.

## Referências Bibliográficas

AMARAL, F. C. S. do (Ed.). Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação: enfoque no Região Semi-Árida. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 218 p. Convênio Embrapa Solos / CODEVASF.

BATISTA, M. de J.; NOVAES, F. de; SANTOS, D. G. dos; SUGUINO, H. H. Drenagem de solos no combate a desertificação. Brasília, DF: MMA-SRH, 1999. 203 p. (Série informes técnicos).

BATISTA, M. J.; CALDAS JUNIOR, W. Drenagem subterrânea de vertissolo In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 1996, Campinas. Anais... Brasília : ABID, 1996. p. 28-44.

BIGARELLA, J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais: intemperismo biológico, pedogênese, laterização, bauxitização e concentração de bens minerais. Florianópolis: UFSC, 1996. v.2.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. Ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FAO. Soil survey investigations for irrigation: FAO, 1979. 189p. (FAO. Soils bulletin, 42).

FRIEND, J. J.; CHAN, V. I. Influence of cropping on the population of a native earth worm and consequent effects on hydraulic properties of vertisols. Australian Journal of Soil Research, v. 33, n. 6, p. 995-1006, Nov./Dec. 1995.

HARTMANN, C.; BLANCHART, E.; LOURI, J.; RANGON, L. BERNARD, J. Rehabilitation processes under fallow and pasture of a compacted vertisol in Martinique (FWI). Disponível em: < natres.psu.ac.th/link/soilcongress/bdd/symp2/710-t.> Acesso em: 2 set. 2006.

HECK, R. J.; TIESSEN, H.; SANTOS, M. C.; SALCEDO, I. H.; ALVES, R. J. T. Chemical changes in argisols under irrigated grape production in the central São Francisco river valley, Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 26, n. 1, p. 191-202, jan./mar. 2002.



HECK, R. J.; TIESSEN, H.; SALCEDO, I. H.; SANTOS, M. C. Soil chemical changes under irrigated mango production in the central São Francisco river valley, Brazil. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 32, p. 1414-1421, July 2003.

HOLANDA, F. S. R.; PEDROTTI, A.; AGUIAR, J. F.; SANTOS, V. P. dos Sistema de manejo de água e solo como tecnologias de prevenção da salinização e reabilitação de solos salinizados, no Perimetro Hidroagrícola do Califórnia-Semi-árido Sergipano. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA FAP-SE., 2003, Aracaju. Anais ... Aracaju: UFS, 2004. p. 1-3.

HOLSAMBRE, D. G. Drainage characteristics of vertisols. *Journal of the Indian Soil Science*, New Delhi, v. 30, n. 2, p. 116 – 121, June 1982.

HULUGALLE, N. R.; ROHDE, K. H.; YULE, D. F. Cropping systems and bed width effects on runoff, erosion and soil properties in a rainfed vertisol. *Land Degradation and Development*, Hoboken, v.13, n. 5, p.363-374, Sep./Oct. 2002.

JAYAWARDANE, N. S.; CHAN, K. Y. The management of soil physical properties limiting crop production in Australian sodic soils – a review. *Australian Journal of Soil Research*, East Melbourne, v. 32, n. 1, p. 13-44, Jan./Feb. 1994.

OLIVEIRA, L. B.; Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. de. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB; SBEA, 1997. p. 1-35.

OLIVEIRA JUNIOR, N. M.; COSTA, R. N. T.; SAUNDERS, L. C. U.; BISERRA, J.V. Análise econômico-comparativa de planos de cultivo em um solo sódico submetido a um manejo integrado de recuperação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 2, n. 2, p.165-169, Mai./Ago. 1998.

RAINE, S. R.; FOLEY, J. P. Comparing application systems for cotton irrigation-what are the pros and cons ?. In: COTTON CONFERENCE, 11. Brisbane, Proceedings...Narrabri: ACGRA, 2002. p. 30-35.

SILBURN, D. M.; MONTGOMERY, J. Deep drainage under irrigated cotton in Australia: a review. Disponível em: < [http://cotton.pi.csiro.au/Assets/PDFFiles/WATERpak/WP2\\_4.pdf](http://cotton.pi.csiro.au/Assets/PDFFiles/WATERpak/WP2_4.pdf)> . Acesso em: 14 set. 2006.

SILBURN, D. M.; VERVOORT, R. W.; SCHICK, N. Deep Drainage – so what ? In: NORTHERN MURRAY-DARLING BASIN WATER BALANCE WORKSHOP, 2., 2003 Anais... Narrabri: CRDC, 2003. 1CD-ROM. Seção Apresentações.

SILVA, E. F.; ASSIS JUNIOR, R. N.; SOUSA, J.I.G. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre atributos hídricos de um neossolo. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 389-396, mai./jun. 2005.

SLAVICH, P. G.; PETERSON, G. H.; GRIFFIN, D. The effect of gypsum on deep drainage from clay soil used for rice. In: NAIDU, R.; SUMMER, M. E.; RENGASAMY, P. (Ed.) Australian sodic soils: distribution, properties and management. Melbourne: CSIRO, 1995. p. 205-210.

SPOSITO, G.; VESQUE, C.S.; HESTERBERG, D. Calcium-magnesium exchange on illite in the presence of adsorbed sodium. Soil Science Society American Journal, v. 50, n. 4, p. 905-909, Jul./Aug. 1986.

TOLMIE, P. E.; SILBURN, D. M.; BIGGS, A. J. W. Estimating deep drainage in the Queensland Murray-Darling Basin using soil chloride. Coorparoo: DNRM, 2003. 47p.

VERMA, K. S.; ABROL, I. P. Effects of gypsum and pyrites on soil properties in a highly sodic soil. Indian Journal Agricultural Science, New Delhi, v. 50, n. 11, p. 844-851. Nov. 1980.

WEAVER, T.; HULUGALLE, N.; GHADIRI, H. Deep drainage under irrigated cotton farming systems in New South Wales estimated with the chloride mass balance method. In: AUSTRALIAN COTTON CONFERENCE, 11., 2004. Broadbeech. Proceedings...Narrabri: ACGRA, 2004. p. 413-417.

