

Impacto do manejo da irrigação sobre os recursos solo e água¹

The impact of irrigation over soil-water resources

Deodato do Nascimento Aquino², Eunice Maia de Andrade³, Fernando Bezerra Lopes⁴, Adunias dos Santos Teixeira⁵ e Lindbergue de Araujo Crisostomo⁶

Resumo: Para identificar o impacto da irrigação sobre os recursos solo e água, analisou-se a dinâmica temporal da umidade do solo, sais totais, risco de sodicidade e nível do lençol freático em duas áreas distintas: irrigada (S1) e de sequeiro (S2) no Distrito Irrigado do Baixo Acaraú (DIBAU), Ceará. As amostras de solo foram coletadas no período seco (novembro de 2006) e chuvoso (maio de 2007), a cada 0,50 m de profundidade até a zona do lençol freático (7 m). As medições dos níveis freáticos foram efetuadas em quatro poços, sendo dois inseridos em campos irrigados (P1 e P2) e dois em campo sob sequeiro (P3 e P4). As medições foram efetuadas no período de dezembro de 2003 a novembro de 2005, e nos meses de novembro de 2006, março e maio de 2007. Os solos da área irrigada (S1) apresentaram valores da CE e da RAS sempre inferiores aos obtidos na área sob sequeiro, possivelmente em decorrência da textura arenosa ao longo de todo perfil do solo. O teor de umidade do solo durante a prática de irrigação foi estatisticamente superior ($P < 0,01$) ao da estação chuvosa em todo o perfil amostrado, pelo teste de Wilcoxon. Foi registrada uma ascensão de 2,5 m e uma depleção de 0,15 m do lençol freático para os poços situados na área irrigada, P1 e P2, respectivamente, enquanto que os localizados na área sob sequeiro, P3 e P4 apresentaram uma depleção de 3,7 e 1,7 m, respectivamente. Portanto, o lençol freático deve ser monitorado em relação à profundidade, a adição de sais, esterco e resíduos de fertilizantes minerais e, ou agrotóxicos.

Palavras-chave: Percolação. Salinidade. Lençol freático.

Abstract: The aim of this work was to identify the influence of irrigation management and climatic conditions over the soil water content, salinity, sodium adsorption ratio (SAR) in the soil profile, and variation of the water table level at the Irrigation District of Baixo Acaraú, Ceará, Brazil. Soil samples were collected in two different sites, one irrigated and another one a rain fed field. Soils samples were taken for each 0.50 m depth until the water table (7 m) was reached, during rainy and irrigation seasons. The groundwater table was measured, monthly, from December 2003 to November 2005, on November 2006, on March and May 2007, in four shallow wells, two located in irrigated fields and two on rain fed areas. According to the results, the lowest values of Electric Conductivity (EC) and SAR were always registered in irrigated field (S2), due to the sandy soil texture through the total profile. Soil water content, through the studied profile (7 m), was lower during the rainfall season than in the irrigation period. The difference in water content (irrigated season – rainfall season) was statistically significant ($< 1\%$) by Wilcoxon test. The water table level rose 2.5 m and depleted 0.15 m for wells P1 and P2, respectively, located in irrigated fields, while those located in rain fed fields, P3 and P4, presented a depletion of 3.7 and 1.7 meters, respectively. Therefore, water table should be monitored in relation to the water level, salt addition, organic matter, fertilizers and pesticides residues.

Key words: Percolation. Salinity. Water table.

¹Recebido para publicação em 03/10/2007; aprovado em 10/02/2008

Parte da Dissertação de mestrado a ser apresentada pelo primeiro autor ao do Dep. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC.

²Eng. Agrônomo, Mestrando em Irrigação e Drenagem, Bolsista CNPq, CCA/UFC, Fortaleza – CE, deoagro@yahoo.com.br.

³Eng. Agrônomo, Ph.D., Prof^a do Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, C.P. 12.168, CEP: 60.455-970, Fortaleza – CE, eandrade@ufc.br

⁴Tecnólogo Rec. Hídricos/Irrigação; Mestrando em Irrigação e Drenagem, Bolsista CNPq, CCA/UFC, Fortaleza – CE, lopesfb@yahoo.com.br

⁵Eng. Agrônomo, Ph.D., Prof. do Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, CE, adunias@ufc.br

⁶Eng. Agrônomo, Ph.D., Pesq. da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, lindberg@cnpat.embrapa.br

Introdução

A irrigação é atualmente uma componente importante no desenvolvimento da agricultura, não somente nas regiões áridas e semi-áridas, mas também em outras regiões, proporcionando o equilíbrio da produção e evitando as possíveis interferências ocasionais provocadas pela falta de água (COSTA, 2003). Entretanto, uma das maiores conseqüências ambientais da agricultura intensiva pode ser a degradação do solo e da água. Essa degradação atinge águas superficiais e subterrâneas pelos aportes agrícolas de agrotóxicos, adubos minerais e orgânicos (D'ALMEIDA et al., 2004). A agricultura irrigada, principalmente em zonas secas, tem afetado o meio ambiente de forma dramática com impactos que podem conduzir à degradação do solo e das águas, com perdas parciais ou totais da produtividade (ANDRADE et al., 2004).

Devido aos fatores climáticos, às condições edáficas e aos métodos de irrigação empregados, os sais dissolvidos na água de irrigação podem se acumular no perfil do solo ou serem carreados para o lençol freático (ERSAHIN; KARAMAN, 2001). Tal acumulação comprometerá a qualidade do solo e, em conseqüência (através do ciclo da água no sistema), contribuirá, também, para a degradação da qualidade da água subterrânea e potenciais riscos à saúde humana (REICHARDT, 1990). A composição química da água subterrânea resulta diretamente da composição da água que percola o solo e da evolução química influenciada diretamente pela litologia local, sendo que o teor de substâncias dissolvidas nas águas freáticas aumenta à medida que prossegue em seu movimento no perfil do solo (SILVA FILHO et al., 2000).

A construção de Distritos que promovem a prática da irrigação, associada ao regime irregular das chuvas e as elevadas taxas de evapotranspiração em climas secos, resultam em alterações nos teores de sais nos solos e nas águas com conseqüente elevação na concentração de íons tóxicos. O aumento das concentrações dos sais e dos resíduos de fertilizantes nos sistemas hídricos promove a limitação desse recurso no uso urbano, industrial, agrícola e ecológico (WICHELNS et al., 2002). A agricultura irrigada é considerada uma das principais fontes de poluição difusa das águas superficiais e subterrâneas.

O presente trabalho teve por objetivo identificar a influência do manejo de irrigação e da sazonalidade climática sobre a variação dos sais totais e dos riscos potenciais de sodicidade ao longo do perfil do solo, bem como a dinâmica do nível do lençol freático no Distrito Irrigado do Baixo Acaraú – DIBAU, Ceará.

Material e Métodos

A área definida como objeto deste estudo, Distrito de Irrigação do Baixo Acaraú – DIBAU, está inserida na parte baixa do divisor topográfico das bacias hidrográficas do Acaraú (Figura 1) e Litorânea, região setentrional do Estado do Ceará.

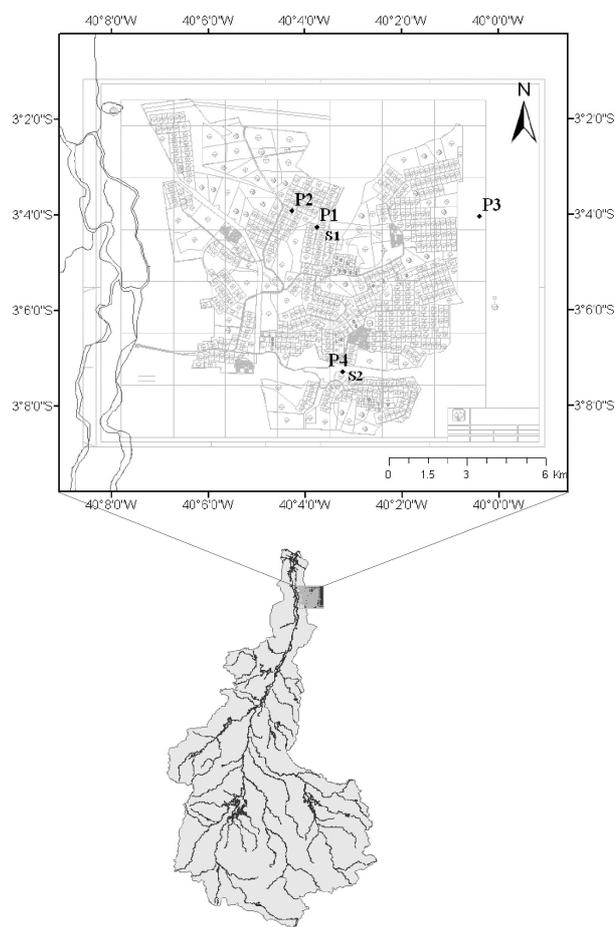


Figura 1 - Localização dos poços de amostragem

O DIBAU ocupa uma área de aproximadamente 13 mil hectares, dos quais apenas dois mil estão sendo cultivados com: banana, mamão, maracujá e abacaxi, principalmente.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da área é do tipo Aw', quente e úmido com chuvas de verão-outono, com precipitação anual média de 960 mm e evaporação de aproximadamente 1600 mm anuais. Os solos são predominantemente classificados como Neossolo Flúvico, Argissolo e Neossolo Quartzarênico. A textura do material é bastante variada, aparecendo sedimentos arenosos e areno-argilosos, às vezes intercalados com camadas

de cascalhos de quartzo desarestado e concentrações lateríticas a maiores profundidades e segundo Matias Filho et al. (2001) essa formação origina solos profundos. No que respeita ao relevo, a região é caracterizada por uma topografia suave-ondulada, porém com uma forte declividade longitudinal.

Os pontos de coleta de solo e monitoramento da água foram previamente escolhidos com auxílio de mapas do Distrito de Irrigação do Baixo Acaraú e através de visitas à área.

Para caracterização dos valores da CE (Condutividade Elétrica), RAS (Relação de Adsorção de Sódio) e do percentual de umidade gravimétrica ao longo do perfil do solo, coletaram-se amostras a cada 0,50 m de profundidade, desde a superfície até a região da franja capilar do lençol freático, em dois pontos amostrais nas proximidades dos poços monitorados. O primeiro ponto localiza-se em área irrigada na projeção da copa de coqueiros anão precoce irrigados por microaspersão - S1 e o segundo, em área de sequeiro (Nova Morada - S2) (Figura 1). As campanhas foram realizadas no período de novembro de 2006 a maio de 2007, representando a estação seca e chuvosa, respectivamente. As amostras de solos foram acondicionadas em sacos plásticos e recipientes metálicos hermeticamente fechados para posterior análise química e determinação do percentual de umidade gravimétrica. As análises das características físicas, físico-químicas e químicas (CE, granulometria, sódio, cálcio e magnésio) foram realizadas no Laboratório de Água e Solo da Embrapa Agroindústria Tropical de acordo com a metodologia descrita por Richards (1954). A determinação da umidade gravimétrica em estufa a 105 – 110 °C foi efetuada no Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Centro de Ciências Agrárias da UFC. Para o cálculo da RAS foi utilizada a equação desenvolvida pelo Laboratório de Salinidade do USDA (RICHARDS, 1954).

$$RAS = \frac{Na^+}{\left(\frac{Ca^+ + Mg^+}{2}\right)^{1/2}} \quad (01)$$

Para identificar se as variações dos teores de umidade gravimétrica, CE e RAS apresentavam diferenças estatísticas ao nível de significância de 5% entre os períodos de estiagem e chuvoso empregou-se o teste de Wilcoxon para dados pareados. O teste de Wilcoxon é adequado para identificar se a resposta de uma determinada variável submetida a condições diferenciadas é significativa ou não, e se fundamenta no somatório da diferença absoluta entre o par de observações; sendo a hipótese de nulidade (H_0)

não rejeitada quando essa diferença tende para zero. Esse teste é comumente empregado em ciências naturais e área de saúde (HALL, 1992). A dinâmica nos níveis de águas subterrâneas foi avaliada mensalmente por um período de 27 meses (dezembro de 2003 a novembro de 2005, novembro de 2006, março e maio de 2007). Foram monitorados quatro poços rasos, dois em áreas irrigadas (P1 e P2) e dois inseridos em campo sob sequeiro (P3 e P4). O nível da água subterrânea foi medido diretamente por um medidor que continha um sensor elétrico na extremidade do cabo. O sensor emitia um sinal quando atingia a superfície da água, e então se media o comprimento do cabo até o ponto equivalente ao nível do solo.

Considerando-se a profundidade do lençol freático de dezembro de 2003 como um valor referencial, efetuou-se a avaliação da oscilação mensal do nível das águas durante o período estudado.

Resultados e Discussão

Variações da umidade do solo

A granulometria, bem como a dinâmica do teor de água do solo ao longo do perfil da área irrigada (S1), nos períodos de estiagem e chuvoso, podem ser vistas nas Figuras 2A e 2B, respectivamente. Existe uma predominância da textura arenosa ao longo de todo perfil estudado, sendo a maior fração de areia observada na camada superior (Figura 2A). Dessa maneira pode-se inferir que a umidade será fator determinante na lixiviação e variação da distribuição de nutrientes no solo, visto que solos de textura arenosa apresentam baixa capacidade de retenção de água e adsorção de cátions.

Na Figura 2A constata-se que o teor de água do solo ao longo de todo o perfil estudado, durante a estação chuvosa, foi inferior àquele registrado para o período de estiagem (irrigação). Observa-se que, com exceção da camada superior, o solo apresentava, predominantemente, valores de umidade variando entre 10 e 13%, inclusive quando havia proximidade da franja capilar (7 metros de profundidade). As diferenças no teor de umidade do solo de uma estação para outra foram significativas ($P < 0,005$) de acordo com o teste Wilcoxon. Pesquisadores como Ayres e Westcot (1999) mostram que quando o nível do lençol freático se encontra a uma profundidade superior a 2 m, o processo da ascensão capilar não atinge alturas superiores a 0,7 metros do nível do freático, principalmente em solos arenosos, onde ocorre a predominância de

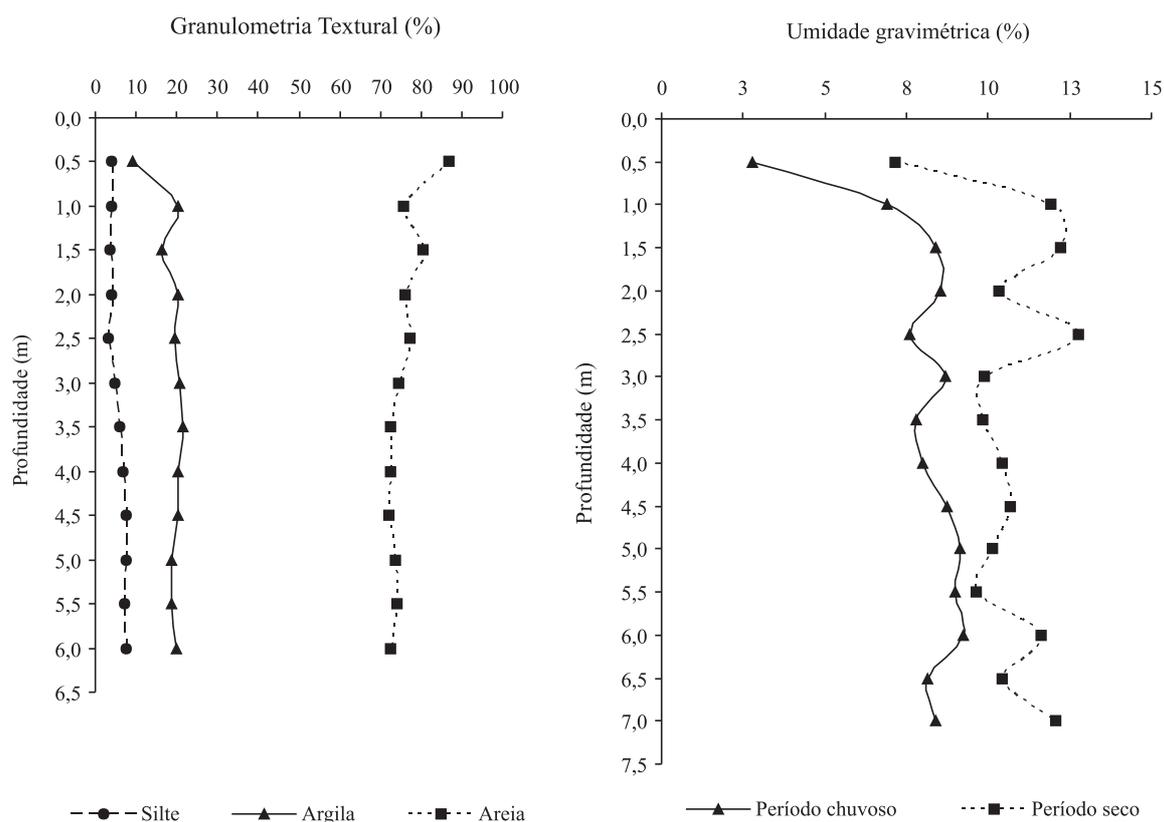


Figura 2- Granulometria textural (%) - A e umidade do solo (%) - B para o período seco (novembro de 2006) e chuvoso (maio de 2007) da área irrigada (S1)

macroporos e, assim, a umidade do solo em profundidades inferiores a 2 metros passa a ser determinada pela água adicionada (chuva ou irrigação). Observando-se a Figura 2B constata-se que o teor de umidade na profundidade de 1 m variou de 8% (estação chuvosa) para 13% (estação seca); expressando, assim, um uso excessivo de água na irrigação.

A composição granulométrica e o teor de água ao longo do perfil do solo da área sob sequeiro (S2), para os períodos de estiagem e chuvoso, podem ser vistas nas Figuras 3A e 3B, respectivamente. Verifica-se na Figura 3A a existência de uma redução gradual na percentagem dos teores de areia acompanhada de um aumento contínuo no teor de argila com a profundidade, enquanto que o teor de silte permanece sem apresentar variações ao longo de todas as camadas estudadas.

O perfil de umidade do solo (Figura 3B) apresentou comportamento semelhante ao dos teores de argila em ambas as estações (seca e chuvosa), havendo maior aumento das taxas de umidade a partir dos 4 m de profundidade. Segundo Reichardt (1990), vários fatores afetam a retenção da água em um solo, mas o principal deles é a

textura, pois ela, diretamente, determina a área de contato entre as partículas sólidas e a água.

De acordo com o Teste de Wilcoxon, a diferença entre os teores de água do solo entre as duas estações foi significativa ao nível de 0,5% ($P < 0,005$). Tal comportamento era esperado visto que se trata de uma área que não recebe dotação de água pela irrigação durante a estação de estiagem.

Variações dos sais totais

Os valores de CE ao longo do perfil dos solos para os pontos S1 e S2, durante a estação chuvosa e de estiagem (irrigação) podem ser vistos na Figura 4. As maiores concentrações de sais durante a estação seca foram registradas nas camadas da superfície (<1,5 m), como uma decorrência do processo de evaporação da superfície do solo com uma concentração de sais nas camadas superficiais. Verifica-se, também, para ambas as áreas, uma maior lixiviação dos sais da superfície durante o período chuvoso, havendo uma concentração máxima dos valores de CE entre as camadas de 4 a 4,5 m para o S2 ($0,85 \text{ dS m}^{-1}$), durante esse período. A maior concentração de sais presente no ponto S2, entre as camadas de 4 a 4,5 m de profundidade,

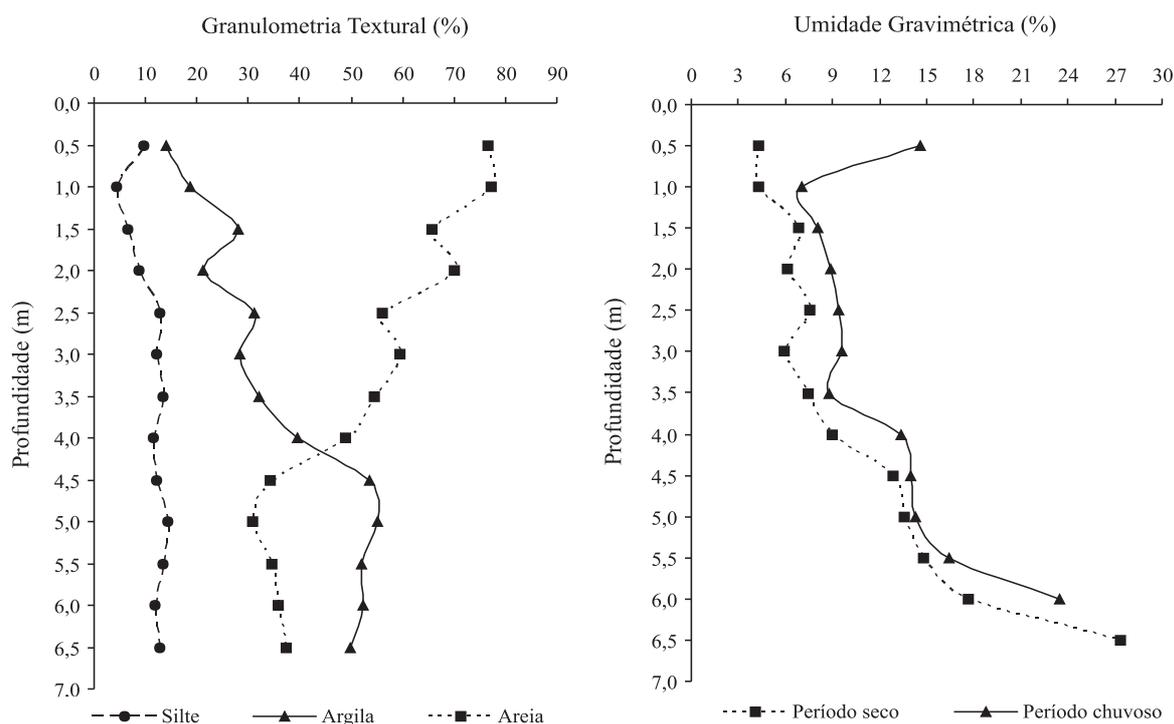


Figura 3- Granulometria textural (%)-A e umidade do solo (%)-B para o período seco (novembro de 2006) e chuvoso (maio de 2007) na área de sequeiro (S2).

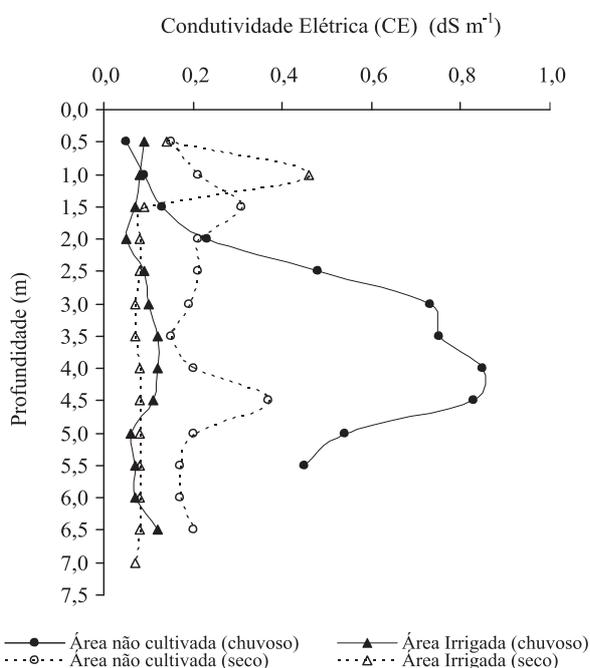


Figura 4- Variação da concentração dos sais totais (dS m^{-1}) no período de estiagem e chuvoso nos solos da área irrigada (S1) e sequeiro (S2)

pode ser explicada pela alteração nas proporções das partículas de argila e areia como apresentado na Figura 3A, a qual proporciona camadas mais adensadas, aumento da coesão do solo, retenção de água e restrição à lixiviação dos sais. Os valores das concentrações de sais nas camadas estudadas nos dois períodos diferiram entre si pelo teste Wilcoxon para ($P < 0,025$); observou-se, também, a lavagem dos sais das camadas superficiais pela precipitação pluvial e o acúmulo nas maiores profundidades. As menores concentrações de sais na superfície do solo de ambos os pontos, após a estação chuvosa, estão de acordo com os dados encontrados por Ayers e Westcot (1999) e Silva Filho et al. (2000).

As concentrações de sais totais no solo da área irrigada (S1) assumiram uma mesma tendência ao longo de todo o perfil em ambos os períodos estudados, não diferindo estatisticamente pelo teste Wilcoxon ao nível de 5% (Figura 4). Essa homogeneidade é decorrente da predominância de uma textura arenosa ao longo de todo o perfil do solo, podendo-se inferir que nessa área, a textura é fator determinante na lixiviação, variação da uniformidade de distribuição dos sais e redução da adsorção destes nas partículas de solo.

Observa-se também uma maior concentração de sais na superfície do solo durante o período de irrigação (Figura 4). Possivelmente essas maiores concentrações podem ser explicadas pelos sais presentes na água de irrigação e pelo uso de fertilizantes minerais associados ao processo de evapotranspiração, conforme observado por D'Almeida et al. (2005) e Andrade et al. (2004). Estudando a concentração iônica da solução do solo em áreas irrigadas na Chapada do Apodi no Estado do Ceará, Andrade et al. (2004) observaram que as maiores concentrações dos íons sódio ($24 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$) e cloreto ($40 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$) ocorrem na camada superior, 0 a 0,3 m, durante a estação de estiagem, comportamento atribuído a ascensão capilar decorrentes da perda de água por evaporação. Esse resultado está de acordo com os encontrados por Gonçalves et al. (2005) em estudos da dinâmica da água e da salinidade em um Aluvisso solo do Novo Perímetro de irrigação de Alqueva em Portugal.

Variação do risco de sodicidade

À semelhança do comportamento da CE, os maiores valores de RAS, aproximadamente $7 (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{0,5}$, para o solo da área S2 foram registradas entre profundidades de 4 a 4,5 m, durante o período chuvoso (Figura 5). Por outro lado, os menores valores foram encontrados nas camadas superficiais do solo ($< 2 \text{ m}$) em decorrência da lixiviação do sódio pelas águas das chuvas. Em consonância com os dados desta pesquisa, Andrade et al. (2004) observaram que durante a estação chuvosa, o íon sódio apresentou concentrações maiores na camada superficial, dada a elevada solubilidade deste íon e pelas altas taxas de evapotranspiração registradas nas regiões semi-áridas, com um conseqüente acúmulo de sais na superfície do solo. Desta maneira, a RAS no solo da área S2 durante o período chuvoso foi estatisticamente superior ($P < 0,025$) ao período seco pelo teste de Wilcoxon.

Na Figura 5 observa-se que, nas camadas superficiais ($< 1,5 \text{ m}$) a RAS apresentou valores superiores durante o período de estiagem, independentemente da área amostrada (S1 ou S2), e que os menores valores, nesse período, foram registrados na área irrigada para a camada superficial (0,5 m), cuja maior concentração foi de aproximadamente $0,8 (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{0,5}$. Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Andrade et al. (2004) e Chaves et al. (2006) em áreas irrigadas do semi-árido cearense.

O solo da área S1 apresentou a menor variabilidade espacial da RAS ao longo do perfil analisado, tanto no período chuvoso (exceção para o ponto a 4 m de profundidade) quanto no período seco; não diferindo estatisticamente pelo Teste de Wilcoxon ao nível de 5% ($P < 0,05$). Os valores registrados na área S1 estiveram, geralmente, abai-

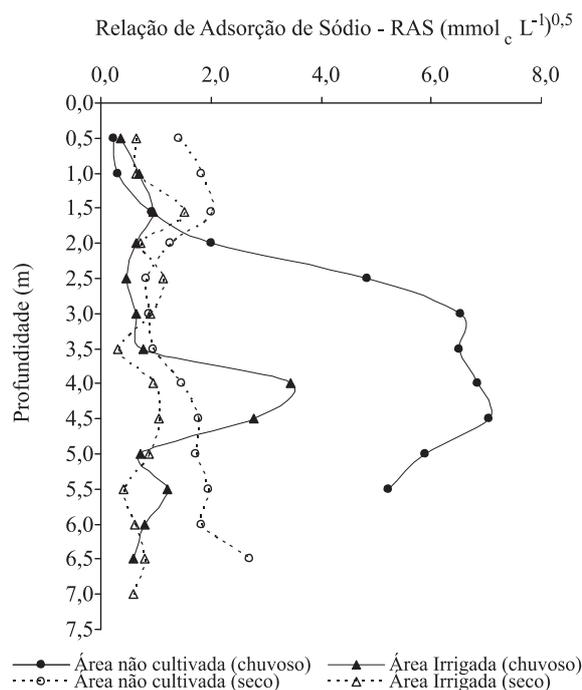


Figura 5 – Variação do risco de sodicidade no período de estiagem e chuvoso na área irrigada (S1) e sequeiro (S2)

xo dos encontrados na área de sequeiro (S2), evidenciando a lixiviação do elemento Na^+ na S1 em ambos os períodos estudados. Essa homogeneidade e os baixos valores de RAS da Figura 5 são decorrentes, mais uma vez, da predominância de textura arenosa ao longo de todo perfil do solo da área irrigada (Figuras 2A e 2B), determinando a lixiviação e a baixa adsorção de sódio nas partículas de solo. Como a RAS depende dos teores de Na^+ do solo, esta é influenciada diretamente pelos mecanismos que controlam a mobilidade deste elemento no extrato de saturação do solo. Raij (1991) cita que o Na^+ tem um comportamento no solo similar ao do potássio, sendo facilmente removido pela lixiviação.

Impacto na água subterrânea

A dinâmica do nível do lençol freático nos quatro poços rasos, sendo dois em áreas de campos irrigados (recebendo a influência direta da irrigação) e dois localizados em áreas sem influência da irrigação, pode ser vista na Figura 6. Tomou-se como indicativo dessa dinâmica a diferença (\pm) do nível do lençol em relação ao nível no mês de dezembro de 2003 (primeira observação). Com relação aos poços inseridos na área irrigada, o P1 apresentou incremento sempre positivo, enquanto o P2 apresentou incrementos quase sempre positivos. Ambos os poços apresentaram uma relação independente do regime

pluviométrico da região. Observa-se ainda que o nível do lençol freático monitorado através do P1 apresenta a pior condição, com uma ascensão do freático superior a 25% do nível da água em maio de 2007 com relação a dezembro de 2003, o que correspondeu a uma lâmina de 2,5 metros em um período inferior a três anos.

Ascensões elevadas no nível do freático e aumentos de resíduos de fertilizantes nas águas subterrâneas

vêm sendo identificadas por pesquisadores como Feng et al. (2005), no distrito da irrigação de Hetao na China bem como Ersahin e Karaman (2001) na Faculdade de Agricultura em Tokat na Turquia. Essa constatação comprova que grande parte da água aplicada via irrigação drena além do sistema radicular das culturas, expressando um manejo inadequado da irrigação (frequência e lâmina de água); havendo, portanto, a necessidade de um ajuste no calendário

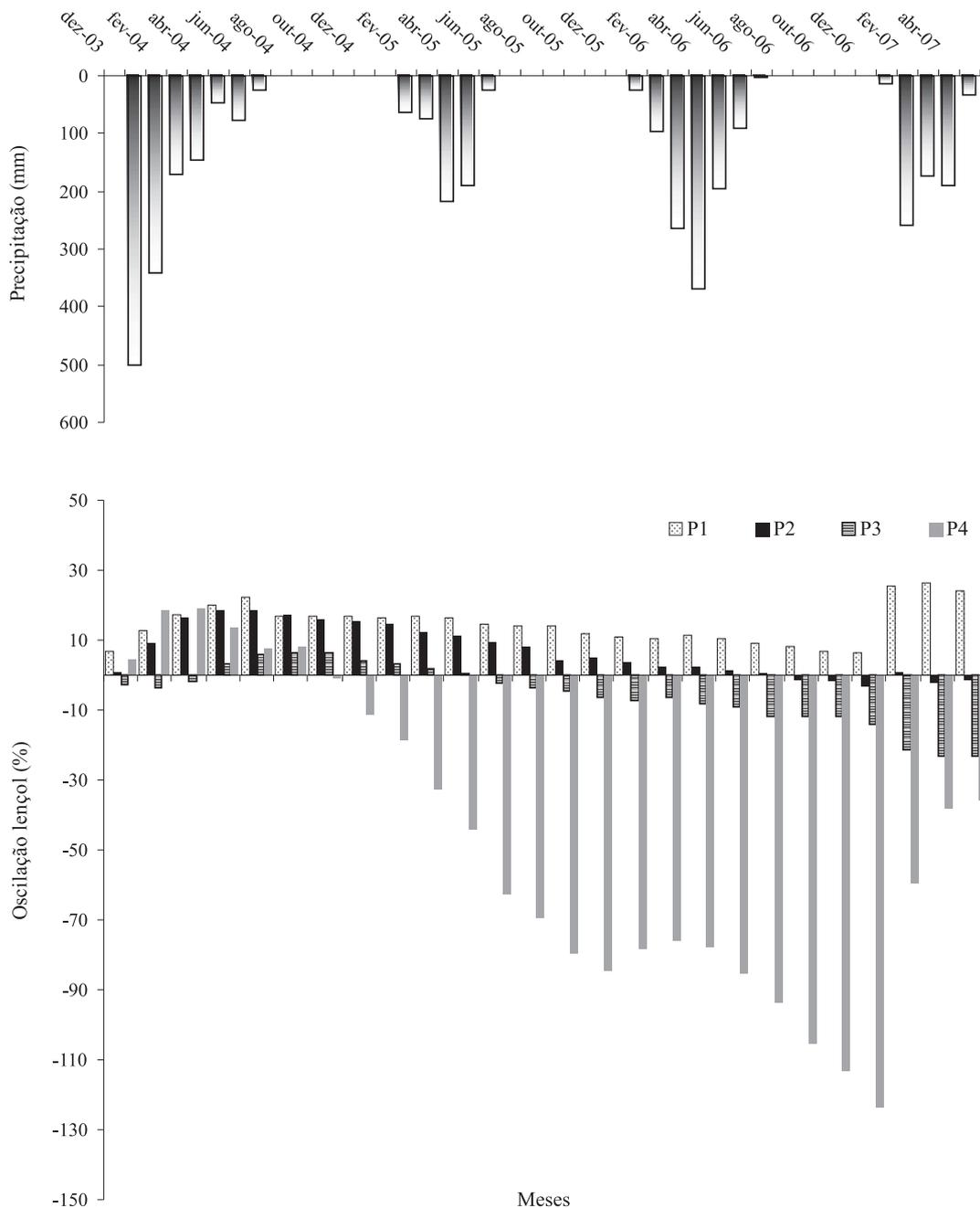


Figura 6 - Variação do nível freático (%) dos poços na área de sequeiro (P1) e da área irrigada (P2)

das práticas de irrigação onde seja considerada a capacidade de retenção de água pelo solo.

Já para nos poços inseridos na área sob sequeiro (P3 e P4), observou-se variações positivas nos níveis do lençol freático apenas durante as elevadas precipitações ocorridas na estação chuvosa de 2004 (Figura 6), em especial no mês de janeiro, quando o total precipitado foi 462% superior à média do referido mês. Para o restante do período estudado, nesses poços, o nível freático apresentou variações sempre negativas, chegando a reduções da lâmina de até 30% para P3 e 150% para P4. Essas variações correspondem a rebaixamentos de 3,7 e 5,2 m nos níveis do P3 e P4, respectivamente.

A recarga do lençol freático durante a estação chuvosa não foi suficiente para os poços atingirem os níveis registrados em dezembro de 2003, principalmente a partir de janeiro de 2005, onde se verificou uma tendência sempre crescente da redução dos níveis de água do P3 e P4. Esse fato evidencia que, durante o período estudado, a demanda hídrica subterrânea foi superior à capacidade de suporte do regime pluviométrico da região para reabastecimento do lençol freático, havendo, portanto, a necessidade urgente de um monitoramento das águas subterrâneas do Distrito de Irrigação do Baixo Acaraú.

Conclusões

1. A textura do solo foi o fator determinante para menores concentrações de sais totais e valores de RAS ao longo do perfil do solo da área irrigada quando comparada com a área de sequeiro;
2. As maiores concentrações de sais no solo da área irrigada ocorreram a 1m de profundidade durante a estação de estiagem (irrigação);
3. A irrigação tem afetado o nível freático no distrito, refletindo-se na depleção no nível do freático nos poços situado à parte da área irrigada, e no aumento do nível freático nos pontos localizados no interior do distrito;
4. É necessário um ajuste no calendário das práticas de irrigação onde se considere a capacidade de retenção de umidade do solo e que a dotação de água seja função da umidade do solo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e à CAPES pelo suporte financeiro dado a essa pesquisa.

Referências

- ANDRADE, E. M. et al. Evolução da concentração iônica da solução do solo em áreas irrigadas na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 35, n. 01, p. 9-16, 2004.
- AYRES, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem, 29).
- CHAVES, L. C. G. et al. Risco de degradação em solo irrigado do Distrito de Irrigação do Perímetro Araras Norte, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 03, p. 292-298, 2006.
- COSTA, S. G. D. Irrigação, a dualidade no semi-árido nordestino: desenvolvimento econômico x impactos sócio-ambientais. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA – Perspectivas para o cerrado no século XXI, 2., 2003, Uberlândia-MG. **Anais...** Uberlândia: Instituto de Geografia, 2003. 1 CD.
- D'ALMEIDA, D. M. B. A. et al. Importância relativa dos íons na salinidade de um cambissolo na chapada do Apodi, Ceará. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 03, p. 615-621, 2005.
- ERSAHIN, S., KARAMAN, M. R., Estimating potential nitrate leaching in nitrogen fertilized and irrigated tomato using the computer model NLEAP. **Agricultural Water Management**, v. 51, n. 01, p. 1-12, 2001.
- FENG, Z. Z.; WANG, X. K.; FENG, Z. W. Soil N and salinity leaching after the autumn irrigation and its impact on groundwater in Hetao Irrigation District, China. **Agricultural Water Management**, v. 7, n. 01, p. 131-143, 2005.
- GONÇALVES, M. C. et al. Modelação da dinâmica da água e dos sais num Aluviossolo do Alentejo. In: CONGRESSO NACIONAL DE REGA E DRENAGEM, 1., 2005, Beja-Portugal. **Anais...** Beja – Portugal: COTR, 2005. 1 CD.
- HALL, D. W. Effects of nutrient management on nitrate levels in ground water near ephrata, Pennsylvania. **Ground Water**, v. 30, n. 05, p. 720-730, 1992.
- MATIAS FILHO, J. et al. **Estudos e pesquisas para avaliação de riscos potenciais de drenagem e/ou salinidade na área prioritária do projeto de irrigação Baixo Acaraú**. Fortaleza: UFC, 2001. 27 p. (Relatório Técnico).
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 343 p.
- REICHARDT, K. **Água nos sistemas agrícolas**. Piracicaba: Manole, 1990. 187 p.
- RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. **USDA Agricultural Handbook**. Washington: U.S Department of Agriculture, 1954. v. 60, 160 p.
- SILVA FILHO, S. B. et al. Monitoramento da qualidade da água e acúmulo de sais no solo pela irrigação. **Irriga**, v. 5, n. 02, p. 112-125, 2000.
- WICHELNS, D.; CONE, D.; STUHR, G. Evaluating the impact of irrigation and drainage policies on agricultural sustainability. **Irrigation and Drainage Systems**, v. 16, n. 01, p. 1-14, 2002.