

## Comissão 2.4 - Química do solo

# EFEITO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM NEOSSOLO FLÚVICO DO MUNICÍPIO DE QUIXERÉ, CE - BRASIL<sup>(1)</sup>

Raimundo Nonato de Assis Júnior<sup>(2)</sup> & Edison Fernandes da Silva<sup>(3)</sup>

### RESUMO

A qualidade da água usada na irrigação é um fator decisivo para a produtividade dos cultivos e para a qualidade do solo no semiárido brasileiro. Foram avaliados os efeitos das concentrações salinas da água de duas fontes distintas (rio e poço raso) sobre os atributos físicos: argila dispersa em água, grau de floculação, densidade e porosidade do solo, estabilidade e diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água de um Neossolo Flúvico Ta eutrófico, cultivado com a bananeira *Musa* sp. cv. Pacovan, durante os anos 2000/2001. A densidade do solo, a argila dispersa em água e o grau de floculação mostraram-se sensíveis aos incrementos de sais no solo irrigado com água da fonte poço. Os movimentos de contração e expansão do solo estudado, muito provavelmente, influenciaram as variações observadas na macroporosidade e estabilidade de agregados, pois as concentrações salinas das águas das duas fontes não foram suficientemente altas para alterar esses atributos físicos. O curto espaço de tempo em que o solo foi submetido à ação de agentes salinizadores pode ter diminuído e, ou, mascarado os efeitos dos sais sobre os processos de floculação e dispersão.

**Termos de indexação:** estabilidade de agregados, porosidade do solo, água salina

---

<sup>(1)</sup> Extraído da dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal do Ceará - UFC. Recebido para publicação em 29 de agosto de 2011 e aprovado em 02 de outubro de 2012.

<sup>(2)</sup> Professor Associado do Departamento de Ciências do Solo, UFC. Avenida da Universidade, 2853, Benfica. CEP 60020-181 Fortaleza (CE). E-mail: assisjr@ufc.br

<sup>(3)</sup> Professor Assistente do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão, campus Chapadinha - UFMA. BR 222, km 04, s/n. Boa Vista. CEP 65500-000 Chapadinha (MA). E-mail edison@ufma.br

**SUMMARY: EFFECT OF THE WATER IRRIGATION QUALITY ON PHYSICAL PROPERTIES OF AN ENTISOL IN QUIXERÉ, CE - BRAZIL**

*The water quality used in irrigation is a decisive factor for crop productivity and soil quality in the Brazilian semiarid. The effects of the saline concentrations of two different water quality samples (river and shallow well resources) on the physical properties (clay dispersed in water, flocculation level, density, porosity, stability and mean weighted diameter of water-stable aggregates) were tested. The experiments were carried out in 2000/2001 on an Entisol under Musa sp. cv. Pacovan. The soil density, water-dispersed clay, and the flocculation level were sensitive to increments of salts in the well-irrigated treatment. The contraction and expansion of the studied soil possibly influenced the macroporosity and aggregate stability variations, since the saline concentrations from both sources were not high enough to alter these two physical properties. The effects of salts on the flocculation and dispersion processes may have been reduced or masked by the short time during which the soil was exposed to the salinization agents.*

*Index terms: aggregate stability, soil porosity, saline water.*

## INTRODUÇÃO

O semiárido nordestino é conhecidamente deficitário em fontes de água de boa qualidade, razão pela qual os agricultores da região irrigam suas culturas com água de rios intermitentes e poços rasos e, ou, profundos. As condições climáticas locais de intensa insolação e evapotranspiração comprometem a qualidade física e química dessas águas, enriquecendo-as com sais que são transportados para o sistema solo-planta via irrigação. A presença de sais no ambiente pedológico interfere na dinâmica de flocculação e dispersão das unidades estruturais do solo, comprometendo atributos físicos e químicos, além de influenciar as plantas cultivadas nesses *pedons*. Nos solos irrigados com fontes de água ricas em sais solúveis, especialmente nos Neossolos Flúvicos, o comprometimento dos atributos químicos e físicos é evidente, pois estes solos são naturalmente ricos em argilas expansivas, que facilitam a retenção de água e sais nos horizontes superficiais (Wiedenfeld, 2008); quando esses sais se constituem de soluções dispersantes à base de sódio, os processos dispersivos são potencializados (Corrêa et al., 2003). Contudo, os valores críticos da relação de adsorção de sódio (RAS) e de concentrações eletrolíticas, abaixo ou acima dos quais pode haver dispersão ou flocculação, não podem ser exatamente definidos, ficando à mercê de características mineralógicas, textura e densidade dos solos (Yousaf et al., 1987).

Os sais agem sobre a dupla camada difusa (DCD), alargando e, ou, estreitando-a de acordo com a natureza e concentração dos cátions salinizadores do solo (Gupta et al.; 1984; Amezketa & Aragues, 1994; Gheyi et al., 1997; Wienhold & Troien, 1998; Corrêa et al., 2003; Miranda et al., 2008). A ação dos sais é proeminente em solos com argilas montmoriloníticas (Gheyi et al., 1997), pois potencializa os eventos de dispersão, com efeitos na distribuição de poros e consequente adensamento do solo (Corrêa et al., 2003). Por outro lado, a prevalência de sais agregantes, de

matéria orgânica e de óxidos de ferro e alumínio assume ação antagônica, promovendo a estabilização de agregados (Bartoli et al., 1988). Esses elementos orgânicos e inorgânicos governam o comportamento da DCD (Coelho, 1981; Paula, 1981; Carter, 1984; Costa et al., 1991; Prado, 2003; Ruiz et al., 2006; Spera et al., 2008), provocando modificações no arranjo das partículas primárias e secundárias do solo, alterando, entre outros, a distribuição dos poros.

A prevalência de eletrólitos desagregantes na solução do solo dispersa os colóides, reduz o índice de agregação e compromete a macroporosidade do solo, estabelecendo uma relação estreita entre a arquitetura dos poros e a natureza e concentração da solução do solo (Costa et al., 1991; Miranda et al., 2011). No entanto, as concentrações da solução eletrolítica do solo devem atingir valores mínimos a partir dos quais se pode observar modificações nos atributos físicos de solo (Russo & Bresler, 1977; Silva et al., 2005). Soluções salinas desagregantes têm seus efeitos mais expressivos nas proporções de macro e microporos do que na porosidade total, principalmente no que diz respeito aos Neossolos Flúvicos de caráter expansivo (Lima et al., 1990; Lima & Grismer, 1992; Silva et al., 2005). Deve-se considerar também o efeito catalisador das modificações na porosidade do solo provocadas pelo rearranjo estrutural após ciclos de umedecimento e secagem (McGarry & Daniells, 1987; Lin et al., 1998; Oliveira et al., 1995; Bagarello et al., 2006). Os efeitos de soluções salinas dispersantes, a predominância de fração granulométrica mais fina e o caráter expansivo de muitos Neossolos Flúvicos elevam a frequência de microporos nestes solos, como mostram os dados obtidos por Saunders et al. (1980) em Pentecostes, CE. Por outro lado, Bagarello et al. (2006) e Almeida Neto et al. (2009) destacam que água com salinidade inferior a 0,5 dS m<sup>-1</sup> e particularmente abaixo de 0,2 dS m<sup>-1</sup> tende a lixiviar os sais solúveis, incluindo o Ca<sup>2+</sup>, comprometendo a estabilidade dos agregados e a estrutura do solo.

A desestruturação dos solos irrigados pode ocorrer pelo umedecimento com subsequente tráfego de

máquinas, causando compactação com efeitos deletérios na densidade do solo e na macroporosidade (Michelson et al., 2007), pela presença de sais dispersantes, que levam os colóides dispersos a ocupar os espaços vazios do solo, incrementando a densidade ou promovendo com mais intensidade, quando úmido, o adensamento e compactação dos solos (Wienhold & Trooien, 1998). Via de regra, a diluição e retirada desses sais do solo pode ser efetuada mediante a aplicação de lâminas de lixiviação, que muitas vezes podem diluir, juntamente com sais dispersantes, sais agregantes, comprometendo assim a estrutura do solo, com efeitos notórios na estabilidade de agregados, porosidade, densidade, entre outros atributos físicos do solo (Miranda et al., 2011). Por isso, a manutenção de sais de eletrovalência com força de agregação no solo assume papel relevante no alcance de medidas de densidade e outros atributos físicos condicionadores de ambientes físicos e químicos para o ótimo desenvolvimento e crescimento de sistemas radiculares; nesse sentido, Costa et al. (1991) observaram que a presença do cátion  $\text{Ca}^{2+}$  em concentrações crescentes na água de irrigação promove floculação e reduz significativamente a densidade do solo, principalmente na camada de 0-15 cm. Lima & Grismer (1992) verificaram que solos aluviais com ampla ocorrência de argilas montmorilonitas e irrigados com águas de RAS 4,8, 15,1 e 18,2 e CE 1,4, 2,1 e 6,4  $\text{dSm}^{-1}$  mostraram redução nos valores de densidade à medida que se aplicava água de maior dureza. Variações de 1,45 a 1,77  $\text{Mg m}^{-3}$  na densidade de Neossolos Flúvicos do perímetro irrigado de São Gonçalo-PB foram atribuídas por Millar & Gomes (1978) à alternância de camadas de solo de texturas areia-barrenta e barro-arenosa e altas concentrações de sódio. Densidade média de 1,57  $\text{Mg m}^{-3}$  foi observada por Saunders et al. (1980) em Neossolo Flúvico de textura franco-arenosa da região de Pentecostes, CE. Macêdo & Santos (1992) registraram valores de densidade entre 1,45 e 1,47  $\text{Mg m}^{-3}$  em Neossolos Flúvicos da Bacia Sucuru/Sumé, PB, irrigados com águas salinas. Assim, essas medidas de densidade mostram-se fortemente sensíveis às variações dos teores de sais na solução do solo, sobretudo quando esses íons são depositados com águas de irrigação e, ou, lâminas de lixiviação (Ruiz et al., 2006).

Este trabalho objetivou avaliar os efeitos de fontes de água (rio e poço raso), do tempo de irrigação, de lâminas d'água e das chuvas sobre os atributos físicos estabilidade de agregados, DMP (Diâmetro Médio Ponderado), floculação, dispersão, porosidade e densidade do solo de um Neossolo Flúvico Ta eutrófico do município de Quixeré, CE.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado numa área experimental de 5.000  $\text{m}^2$  cultivada com banana (*Musa*

sp.), no município de Quixeré, no Estado do Ceará, situado a 05° 06' 38" S e 37° 56' 05" N e a 23 m de altitude. O solo da área de estudo é um Neossolo Flúvico Ta eutrófico (Embrapa, 1999). Foram coletadas 10 amostras na camada de 0-20 cm, as quais foram secas ao ar, destorroadas e homogeneizadas para formar uma amostra composta, cuja caracterização física e química é mostrada no quadro 1.

Conduziu-se o experimento durante o período de estiagem (junho a dezembro de 2000) e o período chuvoso (janeiro a junho de 2001). Foram utilizadas águas das fontes: rio Jaguaribe e poço raso, mediante sistema de irrigação automatizado do tipo microaspersão, com um aspersor para cada três plantas e com três níveis de irrigação (L1, L2 e L3), correspondendo respectivamente a 75, 100 e 125 % da lâmina ideal para o desenvolvimento da bananeira *Musa* sp. cv. Pacovan. O solo foi irrigado com água das fontes durante todo o período de estiagem, enquanto no período chuvoso a principal fonte de água foi a precipitação pluvial do período (Quadro 2); contudo, à medida que ocorriam veranicos, a irrigação era retomada. Durante o período experimental, a qualidade química da água das fontes rio e poço foi monitorada e caracterizada (Quadro 3).

O delineamento experimental foi de blocos inteiramente casualizados, seguindo um esquema fatorial 2 x 2 x 3, com os fatores: dois ciclos estacionais, duas qualidades de água, três lâminas de irrigação e quatro repetições para cada lâmina. Amostras de solos foram coletadas na camada de 0-15 cm, no fim de cada ciclo estacional, procedendo-se à amostragem de 24 parcelas, representando as três lâminas de irrigação com quatro repetições cada e as duas fontes de água. Amostras com estrutura deformada foram coletadas com auxílio de enxadão, sendo utilizadas para análises granulométricas, argila dispersa em água, grau de floculação, estabilidade de agregados e análises químicas de rotina, conforme indicações de Embrapa (1997). As amostras com estrutura indeformada foram coletadas com amostrador de Uhland e utilizadas para análises de densidade do solo ( $D_s$ ) e porosidade. Na definição da  $D_s$ , amostras indeformadas foram submetidas à secagem a 105 °C e aplicou-se a fórmula:

$$D_s = \frac{M_s}{V}$$

em que  $D_s$  = densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ),  $M_s$  = massa do solo seco (Mg) e  $V$  = volume ( $\text{m}^3$ ).

Na determinação da porosidade total (PT) essas amostras foram saturadas por 72 h, com subsequente desidratação em estufa a 105 °C, sendo  $PT = \text{volume de água do solo na saturação}$ . A microporosidade (Micro) foi obtida aplicando-se tensão de 6 kPa sobre amostras de solo, expulsando a água correspondente aos macroporos até que restasse somente aquela retida nos microporos. A macroporosidade (Macro) foi obtida pela diferença entre PT e microporosidade. A definição e distribuição de poros por tamanho foram feitas a partir da equação:

**Quadro 1. Caracterização física e química de amostras coletadas na camada de 0-20 cm do Neossolo Flúvico Ta eutrófico estudado**

Granulometria								Classe textural	pH (H <sub>2</sub> O)		CE		
Areia			Silte	Argila	Complexo sortivo								
Grossa	Fina	Total					Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	H+Al	Al <sup>3+</sup>	SB
g kg <sup>-1</sup>								Franco-argilosa	7,5		dS m <sup>-1</sup>		
116	202	318	356	326									
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>								%		g kg <sup>-1</sup>			
14,8	0,9	1,4	0,59	0,33	0,0	17,6	18,0	98	3	7,7	0,8	13,3	10

CE = condutividade elétrica, S = soma de bases, T = capacidade de troca catiônica, V(%) = percentagem de bases trocáveis, PST = percentagem de sódio trocável, C = carbono orgânico, N = nitrogênio, C/N = relação carbono/nitrogênio e MO = matéria orgânica.

**Quadro 2. Dados de precipitação pluvial na área do experimento durante o período de junho de 2000 a julho de 2001**

Período	
2000	2001
	mm
Junho	30,7
Julho	31,3
Agosto	89,4
Setembro	0,00
Outubro	0,00
Novembro	0,00
Dezembro	0,00
	mm
Junho	41,62
Julho	11,21
Agosto	116,6
Setembro	187,1
Outubro	0,00
Novembro	0,00
Dezembro	0,00

$$\phi = \frac{0,3}{V_h}$$

em que  $\phi$  = diâmetro dos poros (mm) e h = tensão aplicada (kPa).

A composição granulométrica foi determinada utilizando-se agente dispersante NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>, agitação de alta rotação durante 15 min. Separaram-se as areias por tamisação em peneira de malha de 0,053 mm, sendo silte e argilas, residuais, separados por sedimentação, de acordo com a lei de Stokes. O grau de floculação foi obtido pela equação:

$$GF = \frac{\text{argila total} - \text{argila dispersa em água}}{\text{argila total}} \times 100$$

A determinação da argila dispersa em água seguiu o mesmo procedimento da análise granulométrica, porém abstraindo-se o agente dispersante NaOH. Nas análises de agregados adotou-se o método proposto por Kemper & Chepil (1965), com pré-umedecimento, agitação em oscilador elétrico composto por dois

conjuntos de peneiras com malhas de 2, 1, 0,5, e 0,25 mm, nas quais ficam retidos agregados estáveis em água. O percentual de agregados estáveis em água foi calculado a partir da equação:

$$\text{Ag classe (\%)} = \frac{\text{Massa do solo seco retido em cada peneira}}{\text{Massa seca total da amostra}} \times 100$$

O diâmetro médio ponderado foi obtido a partir da fórmula:

$$\sum x_i y_i$$

sendo  $x_i$  correspondente ao diâmetro médio de cada classe e  $y_i$  à fração decimal dos agregados estáveis.

As análises químicas foram realizadas em estratos de pasta de saturação 1:2 (40 g de TFSA e 80 mL de água destilada), como proposto por Richards (1954). O pH foi medido em água, usando-se eletrodo de vidro; os cátions solúveis Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, por absorção atômica; e Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>, por fotometria de chama. A RAS (Relação de Adsorção de Sódio) foi determinada a partir da fórmula:

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

A condutividade elétrica (CE) foi determinada usando-se condutivímetro com célula de medição tipo pipeta; e o carbono orgânico (CO), por oxidação via úmida, com dicromato de potássio 0,1667 mol L<sup>-1</sup> e titulação do excesso de dicromato em solução de sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L<sup>-1</sup> e difenilamina como indicador. A matéria orgânica foi estimada a partir do teor de carbono orgânico, multiplicado pelo fator 1,724.

Os efeitos dos dois ciclos estacionais, das duas fontes de água e das três lâminas de irrigação sobre os atributos físicos foram avaliados pelos métodos convencionais de análises de variância, usando-se o teste F para contrastar as variâncias. As diferenças

**Quadro 3. Teores de cátions e ânions solúveis, CE, RAS e pH das águas das fontes poço e rio Jaguaribe**

Característica	2000										2001					
	21/07		18/08		23/10		20/11		20/12		02/01		26/03		25/05	
	poço	rio	poço	rio	poço	rio	poço	rio	poço	rio	poço	rio	poço	rio	poço	rio
Ca <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	9,2	1,1	7,0	0,6	6,2	0,8	2,3	0,6	3,5	0,9	4,8	1,1	0,7	0,8	6,0	1,0
Mg <sup>2+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	4,6	1,3	6,0	1,1	2,9	0,7	2,3	1,0	2,0	1,1	2,3	1,0	0,9	0,6	4,5	1,2
Na <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	8,6	1,3	6,4	0,9	7,5	1,2	2,6	1,1	2,2	1,0	2,7	0,9	1,3	0,4	9,5	1,7
K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	5,7	2,3	14,8	1,9	4,5	2,1	3,1	1,9	3,9	2,0	4,3	2,2	1,8	1,1	4,8	1,9
Cl <sup>-</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	16,5	1,6	4,1	1,0	12,0	0,8	4,0	1,0	3,8	1,0	5,5	1,2	0,1	0,8	14,8	2,0
SO <sub>4</sub> <sup>+2</sup> (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,5	0,1	0,7	0,1	0,4	traços	0,3	traços	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,6	0,2
RAS (mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	3,75	1,20	2,51	1,00	3,53	1,33	1,71	1,37	1,34	1,00	1,44	0,88	1,43	0,53	4,12	1,62
CE (dS m <sup>-1</sup> )	2,27	0,39	1,91	0,29	1,75	0,29	0,74	0,28	0,80	0,32	1,02	0,34	0,29	0,19	2,06	0,41
pH	6,9	6,8	8,0	8,1	7,7	7,4	8,0	7,1	7,3	8,1	7,5	7,6	8,0	7,3	8,0	8,1

CE (Condutividade Elétrica), RAS (Relação de Adsorção de Sódio).

entre médias foram avaliadas pelo teste de Tukey a 5 e 1 %, utilizando-se o programa ESTAT (Banzatto & Kronka, 1999).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 4, observa-se que o grau de floculação médio diferiu, a 1%, entre as fontes de água rio e poço tanto no período seco quanto no chuvoso; os maiores graus de floculação foram observados nas parcelas que receberam água do rio, enquanto nas irrigadas com água do poço o grau de floculação decresceu significativamente, evidenciando os efeitos negativos da água rica em Na<sup>+</sup> sobre essa propriedade física. Entre lâminas não se observaram diferenças significativas. Nos solos irrigados com água rica em sais solúveis, especialmente os Neossolos Flúvicos, o comprometimento dos atributos químicos e físicos é mais evidente, pois estes solos são naturalmente ricos em argilas, que facilitam a retenção de água e sais nos horizontes superficiais (Wiedenfeld, 2008); quando esses sais se constituem de soluções dispersantes à base de Na<sup>+</sup>, os processos dispersivos são potencializados (Corrêa et al., 2003). Nesse sentido, as experimentações de Gavande (1972), Gupta et al. (1984), Amezketa & Aragues (1994), Ayers & Westcot (1999) e Corrêa et al. (2003) ratificam os resultados obtidos neste trabalho, confirmando os efeitos da interação negativa do Na<sup>+</sup> na aglutinação dos colóides do solo (Quadro 4). Contudo, as águas de irrigação transportam, também, cátions agregantes, como Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup>, com destaque para o Ca<sup>2+</sup>, que, na maioria das vezes, contrapõe os efeitos do Na<sup>+</sup> sobre as propriedades físicas dos solos, exercendo, juntamente com óxidos, sesquióxidos e matéria orgânica, o papel

**Quadro 4. Valores de argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF) de amostras de um Neossolo Flúvico Ta eutrófico do município de Quixeré, CE, coletadas nos períodos de estiagem e chuvoso, na camada de 0-15 cm**

Lâmina de água	ADA		GF	
	g kg <sup>-1</sup>		%	
	Rio			
	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
L1 <sup>(1)</sup>	219 a	204 a	28 a	33 a
L2	241 a	186 a	29 a	45 a
L3	263 a	221 a	28 a	41 a
Média <sup>(2)</sup>	241 A*	204 A*	28 A**	40 A**
	Poço			
L1 <sup>(1)</sup>	227 a	237 a	20 a	17 a
L2	282 a	256 a	15 a	24 a
L3	255 a	239 a	20 a	25 a
Média <sup>(2)</sup>	255 B*	244 B*	18 B**	22 B**
CV(%)	11,54	22,73	14,31	14,83

<sup>(1)</sup>Médias de lâmina de água dentro da mesma fonte seguidas de letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente. <sup>(2)</sup>Médias de fontes de água seguidas de letras maiúsculas iguais, na mesma coluna, não diferem estatisticamente. \* e \*\* diferenças significativas a 5 e 1 %, respectivamente.

de agente cimentante do solo. Todavia, os valores considerados críticos para que ocorram fenômenos de floculação ou dispersão não podem ser fixados em termos absolutos, pois esses processos dependem de outras variáveis, como fração textural e Ds (Yousaf et al., 1987), o que torna arbitraria a fixação de valores

que limitam as concentrações eletrolíticas ou de RAS a partir dos quais predominarão processos de floculação e, ou, dispersão.

A argila dispersa em água (ADA) não diferiu entre as lâminas, mas apresentou diferenças a 5 % entre poço e rio. Os menores percentuais médios de ADA foram registrados no solo que recebeu águas pobres em sais de  $\text{Na}^+$  (fonte rio), ao passo que o uso de água mais concentrada em  $\text{Na}^+$  promoveu maior dispersão das argilas, como evidenciado no quadro 4. Segundo Prado (2003), à medida que o  $\text{Na}^+$  é substituído pelo  $\text{Ca}^{2+}$  e outros cátions de maior valência por meio da reação de troca catiônica, eleva-se a concentração eletrolítica da solução, diminuindo a espessura da dupla camada e elevando o grau de floculação. Em solos salino-sódicos, Ruiz et al. (2006) verificaram também os efeitos atenuadores de soluções à base de  $\text{Ca}^{2+}$  na redução da dispersão de argilas. Portanto, a dispersão de argila do solo pode ser provocada pela qualidade da água aplicada, seja de fonte pluvial ou via irrigação com ou sem fertilizantes (Almeida Neto et al., 2009). A entrada de sais no sistema solo interfere nos processos de floculação e dispersão, modificando o estado físico e químico dos solos. Entretanto, em solos que possuem caráter vértico o comportamento expansivo das argilas pode ofuscar os efeitos dos sais, especialmente quando as soluções do solo contêm concentrações moderadas de íons salinos, provocando incertezas acerca dos reais efeitos dos sais sobre os estados físico e químico do solo, sobretudo na porosidade, Ds e estabilidade dos agregados.

Os índices de agregação do solo apresentados no quadro 5 mostram que não houve diferenças entre as

três lâminas de irrigação quando foi usada água do rio e do poço. Com relação à irrigação realizada com água do rio e do poço, observaram-se diferenças nas amostras de solos irrigados com água de poço, com predominância dos agregados das classes de 0,5 e 0,25 mm. Os efeitos adversos das duas fontes de água sobre a estabilidade dos agregados podem não ter relação direta com as quantidades de íons agregantes ou desagregantes, porque nas concentrações em que se encontram não influenciariam esse atributo físico do solo. Nesse sentido, Bagarello et al. (2006) e Almeida Neto et al. (2009) destacam que água com salinidade inferior a  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$  e particularmente abaixo de  $0,2 \text{ dS m}^{-1}$  tende a lixiviar os sais e minerais solúveis, incluindo os de  $\text{Ca}^{2+}$ , reduzindo sua influência positiva sobre a estabilidade dos agregados e a estrutura do solo. Por outro lado, Costa et al. (1991) constataram que os efeitos do  $\text{N}^+$  sobre a estabilidade dos agregados somente se fizeram significativos a partir de RAS igual a 9, ressaltando que valores menores não tiveram efeitos significativos; e Paula (1981) e Coelho (1981) confirmam a necessidade de valores mínimos a partir dos quais os efeitos das soluções salinas passem a modificar a estrutura do solo, quando observaram efeitos de RAS superiores a 10, desestabilizando a estrutura de Neossolos Flúvicos. Semelhantemente, Gavande (1972) afirma que a individualização das argilas ocorrerá quando o percentual de  $\text{Na}^+$  for  $> 15$  e a condutividade elétrica  $< 4 \text{ dS m}^{-1}$ ; já Ayers & Westcot (1999) afirmam que se encontram efeitos do  $\text{Na}^+$  sobre a estrutura do solo em níveis de PST  $< 15$ , sendo mais prudente considerar como sódicos solos com PST  $> 7$ . Amezketa & Aragues (1994) ressaltam que a DCD (Dupla Camada

**Quadro 5. Valores médios de agregados estáveis em água (AEA) e diâmetro médio ponderado (DMP) de amostras de um Neossolo Flúvico Ta eutrófico do município de Quixeré, CE, coletadas nos períodos de estiagem e chuvoso, na camada de 0-15 cm**

Lâmina de água	Estiagem				DMP	Chuvoso				DMP
	AEA, g kg <sup>-1</sup>					AEA, g kg <sup>-1</sup>				
	2,0	1,0	0,5	0,25		2,0	1,0	0,5	0,25	
mm										
Rio										
L1 <sup>(3)</sup>	190 a	110 a	86 a	76 a	0,90 a	150 a	142 a	116 a	76 a	0,83 a
L2	325 a	137 a	91 a	71 a	1,40 a	140 a	164 a	122 a	80 a	0,84 a
L3	208 a	180 a	99 a	64 a	1,26 a	251 a	171 a	101 a	63 a	1,20 a
Média <sup>(4)</sup>	241 A	142 A	92 A**	70 A**	1,19 A	180 A	159 A	113 A**	73 A	0,96 A
Poço										
L1	168 a	162 a	156 a	131 a	0,98 a	122 a	144 a	126 a	91 a	0,75 a
L2	131 a	179 a	161 a	112 a	0,88 a	165 a	184 a	138 a	90 a	0,97 a
L3	126 a	175 a	158 a	117 a	0,85 a	149 a	119 a	127 a	95 a	0,88 a
Média	142 A	172 A	158 B**	120 B**	0,90 A	145 A	149 A	130 B**	92 A	0,87 A
CV (%)	24,42	19,56	22,73	25,98	32,62	2,02	34,52	16,42	27,17	28,52

(1) Médias de lâminas de água dentro da mesma fonte, seguidas de letras minúsculas iguais, não diferem estatisticamente.

(2) Médias de fontes de água seguidas de letras maiúsculas iguais, na mesma coluna, não diferem estatisticamente. \*e\*\* diferenças significativas a 5 e 1 %, respectivamente.

Difusa) será um tanto quanto mais curta quanto menor for a concentração do  $\text{Na}^+$  e mais larga se este íon estiver em maior concentração. Este mesmo autor estabelece correlações negativas entre o comprimento da DCD e o grau de agregação do solo, pois, além de outros fatores, a flocculação e estruturação do solo são dependentes da atividade iônica que ocorre na DCD.

Contudo, a dimensão espacial da DCD e a manifestação do potencial de agregação de um solo pode assumir determinado grau de plasticidade à medida que sofrem os efeitos contínuos da ação lixiviante e solubilizadora de sais agregantes via águas pluviais. Considerando esse aspecto, os resultados apresentados no quadro 5 mostram que não houve diferenças, para período seco e chuvoso, entre os valores médios do diâmetro médio ponderado. Isso evidencia que, em médio e longo prazos, as águas pluviais podem causar modificações significativas na estrutura do solo estudado, concordando com Ayers & Westcot (1999), que citam os efeitos de águas de chuva, catalisando os fenômenos de dispersão e comprometendo a estabilidade de agregados, notadamente em solos com predominância de argilas expansivas. Não obstante, vale ressaltar que no solo em estudo predomina a fração textural argilo-siltosa, que, combinada com baixos teores de matéria orgânica do solo (Quadro 1), cria condições favoráveis à predominância de agregados das classes de tamanho menores, pois, segundo Boix-Fayos et al. (2001), os agregados de diâmetros maiores são fortemente dependentes do teor de matéria orgânica, enquanto as classes de menor tamanho sofrem efeitos diretos da fração textural mais fina.

O quadro 6 e a figura 1 mostram que nos solos estudados o volume de microporos foi significativamente

superior ao percentual de macroporos durante os períodos seco e chuvoso, respectivamente. A maior porosidade capilar desses solos está relacionada à predominância da fração textural mais fina (argila, silte e areia fina), como mostra o quadro 1, concordando com as observações de Saunders et al. (1980), que observaram microporosidade três vezes superior ao volume de macroporos em aluviões franco-arenosos de Pentecostes - CE. Da mesma forma, Leite et al. (2007) destacam as limitações físicas de solos sob condições salinas e, ou, de salinização, ressaltando os elevados percentuais de microporosidade nesses solos - contrapondo-se a Kiehl (1979), que considera solo ideal aquele em que a macro e microporosidade ocupam, respectivamente, 1/3 e 2/3 da PT, garantindo aeração, condução e retenção de água (Silva et al., 2005).

A influência das fontes de água sobre a porosidade fez-se marcante somente no período de estiagem, com percentuais de macroporos menores para o solo irrigado com água de rio, enquanto o solo irrigado com água de poço acumulou os maiores valores (Quadro 6). Os percentuais de agregados estáveis das classes de 0,25 e 0,5 mm, nas áreas irrigadas com água do rio e do poço, validam essas diferenças, tornando-se condizente com Kiehl (1979) quando este autor ressalta a existência de proporcionalidade direta entre agregados estáveis e volume de poros do solo. Além dos efeitos dos agregados, há de se considerar as implicações do influxo de águas pluviais no sistema (Quadro 2), solubilizando os dispersantes acumulados no período de estiagem, elevando os percentuais de argila dispersa em água (Quadro 5), provocando variação nas proporções de macro e microporos (Quadro 6) e

**Quadro 6. Valores médios de porosidade (total - PT, microporosidade e macroporosidade) e densidade do solo (Ds) de amostras de um Neossolo Flúvico Ta eutrófico, do município de Quixeré - CE, coletadas nos períodos de estiagem e chuvoso, na camada de 0-15 cm**

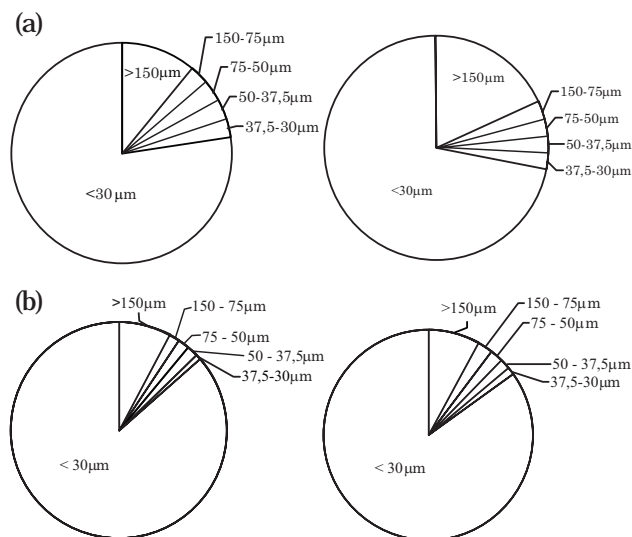
Lâmina de água	Estiagem				Chuvoso			
	PT	Micro	Macro	Ds	PT	Micro	Macro	Ds
	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			Mg m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			Mg m <sup>-3</sup>
	Rio							
L1 <sup>(3)</sup>	0,53 a	0,41 a	0,12 a	1,50 a	0,52 a	0,47 a	0,5 a	1,47 a
L2	0,53 a	0,44 a	0,9 a	1,42 a	0,53 a	0,46 a	0,7 a	1,50 a
L3	0,53 a	0,45 a	0,8 a	13,7 a	0,52 a	0,47 a	0,5 a	1,49 a
Média <sup>(4)</sup>	0,53 A	0,43 A	0,10 B*	1,43 A**	0,52 A	0,47 A	0,6 A	1,49 A**
	Poço							
L1	0,53 a	0,38 a	0,15 a	1,59 a	0,52 a	0,46 a	0,6 a	1,54 a
L2	0,54 a	0,43 a	0,11 a	1,47 a	0,53 a	0,48 a	0,5 a	1,49 a
L3	0,55 a	0,38 a	0,17 a	1,55 a	0,54 a	0,48 a	0,6 a	1,54 a
Média	0,54 A	0,40 A	0,14 A*	1,54 B**	0,53 A	0,47 A	0,6 A	1,52 B**
CV(%)	6,43	9,92	16,63	5	4,59	8,17	24,62	5,50

<sup>(1)</sup> Médias de lâminas de água dentro da mesma fonte, seguidas de letras minúsculas iguais, não diferem estatisticamente;

<sup>(2)</sup> Médias de fontes de água seguidas de letras maiúsculas iguais, na mesma coluna, não diferem estatisticamente. \* e \*\* diferenças significativas a 5 e 1 %, respectivamente.

mantendo estável a porosidade total. Além disso, o caráter vértico desses solos quando submetidos a ciclos de secagem e umedecimento podem alterar também a distribuição de poros por tamanho, mascarando os efeitos de soluções dispersantes e favorecendo a porosidade capilar, semelhantemente ao que observaram McGarry & Daniells (1987), Moutier et al. (1998), Wienhold & Trooien (1998) e Lin et al. (1998).

Discutindo os efeitos da matéria orgânica sobre a Ds e outros atributos físicos, Tejada & Gonzalez (2005) destacam as implicações antagônicas da matéria orgânica, ora estruturando o solo e maximizando o espaço poroso, ora carreando íons salinos para a solução do solo, afetando negativamente a distribuição de poros e Ds. Desse modo, espera-se que os impactos do uso de águas salinas na massa do solo sejam negativos, pois o efeito dispersivo dos sais tende a provocar migração das frações mais finas em curta distância, preenchendo poros, que, catalisados pela contração e expansão desses solos, promoveram maior adensamento (Corrêa et al., 2003). Assim, os valores de Ds entre 1,37 e 1,55 Mg m<sup>-3</sup> (Quadro 6) são característicos de solos sob efeito de sais, concordando com os dados de Macêdo & Santos (1992), quando registraram Ds variando entre 1,45 e 1,47 Mg m<sup>-3</sup> em solos aluviais irrigados com água salina, e com as observações de Saunders et al. (1982), que observaram para a mesma classe de solos Ds média de 1,57 Mg m<sup>-3</sup>. Hartemink (1998) confirma essa hipótese pela observação de valores de Ds inferiores a 1,30 Mg m<sup>-3</sup> em Neossolos Flúvicos de Nova Guiné cultivados durante 17 anos com cana-de-açúcar não irrigada, incrementando os efeitos de águas salinas no aumento da Ds.



**Figura 1. Distribuição de poros por tamanho de amostras de solos com estrutura indeformada coletadas na camada de 0-15 cm nos solos irrigados, com águas do rio e do poço, respectivamente, no período de estiagem (a) e no período chuvoso (b).**

## CONCLUSÕES

1. O uso de água com maior concentração de sais (fonte poço) alterou os atributos físicos densidade do solo, argila dispersa em água e grau de floculação.
2. A porosidade e estabilidade de agregados foram, provavelmente, modificadas pelos movimentos de contração e expansão características do solo estudado.
3. O curto espaço de tempo em que o solo foi submetido às diferentes qualidades de água pode ter diminuído e, ou, mascarado os efeitos dos agentes químicos sobre os atributos físicos avaliados, em ambos os períodos.

## LITERATURA CITADA

- ALMEIDA NETO, O.B.; MATOS, A.T.; ABRAHÃO, W.A.P.; COSTA, L.M. & DUARTE, A. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de Latossolos. R. Bras. Ci. Solo, 33:1571-1581, 2009.
- AMEZKETA, E. & ARAGUES, R. Estabilidad estructural de suelos afectados por sales: Revisión bibliográfica. Madrid, 1994. 181p.
- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. A qualidade de água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB, FAO, 1999, 153p. (Estudos Irrigação e Drenagem, 29 revisado).
- BAGARELLO, V.; IOVINO, M.; PALAZZOLO, E.; PANNO, M. & REYNOLDS, W.D. Field and laboratory approaches for determining sodicity effects on saturated soil hydraulic conductivity. Geoderma, 130:1-13, 2006.
- BANZATTO, D.A. & KRONKA, S.N. Experimentação agrícola. 3.ed. Jaboticabal, Funep, 1995. 247p.
- BARTOLI, F.; PHILIPPY, R. & BURTIN, G. Aggregation in soils with small amounts of swelling clays. I. Aggregate stability. J. Soil Sci., 39:593-616, 1988.
- BOIX-FAYOS, C.; CALVO-CASES, A.; IMESON, A.C. & SORIANO-SOTO, M.D. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. Catena, 44:47-67, 2001.
- CARTER, M.R. Effect of soil management on some chemical, physical, and biological properties of a solonetzic soil. Soil Sci., 138:411-416, 1984.
- COELHO, M.A. Variabilidade de características físicas e químicas em solo salino-sódico. Ci. Agron., 12:37-43, 1981.
- CORRÊA, M.M., KER, J.C. & MENDONÇA, E.S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das várzeas de Sousa (PB). R. Bras. Ci. Solo, 27:311-324, 2003.
- COSTA, J.L.; PRUNTY, L.; MONTGOMERY, B.R.; RICHARDSON, J.L. & ALESSI, R.S. Water quality effects on soils and alfafa: II. Soil physical and chemical properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:203-209, 1991.



- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p (Embrapa - CNPS, 2).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço de Produção de Informação – SPI. Sistema brasileiro de classificação de solo. Brasília, 1999. 412p.
- GAVANDE, S.A. Física de suelos: Principios y aplicaciones. México: Limusa-Wiley, 1972. 351p.
- GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E. & MEDEIROS, J.F. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. In: Simpósio "Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada". CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., Campina Grande, 1997. Anais...Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1997. 383p.
- GUPTA, R.K.; BHUMBLA, D.K. & ABROL, L.P. Effect of sodicity, pH, organic matter, and calcium carbonate on the dispersion behavior of soils. *Soil Sci.*, 137:245-251, 1984.
- HARTEMINK, A.E. Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea. *Geoderma*, 85:283-306, 1998.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK et al., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Part. 1. p.499-510.
- KIEHL, E.J. Manual de edafologia. Piracicaba, Ceres, 1979. 262p.
- LEITE, E.M.; CAVALCANTE, L.F.; DINIZ, A.A.; SANTOS, R.V.; ALVES, G.S. & CAVALCANTE, I.H.L. Correção da sodicidade em solos irrigados em resposta à aplicação de gesso agrícola. *Irriga*, 12:168-176, 2007.
- LIMA, L.A.; GRISMER, M.E. & NIELSEN, D.R. Salinity effect on Yolo loam hydraulic properties. *Soil Sci.*, 150:451-458, 1990.
- LIMA, L.A. & GRISMER, M.E. Soil crack morphology and soil salinity. *Soil Sci.*, 153:149-153, 1992.
- LIN, H.S.; McINNES, K.J.; WILDING, L.P. & HALLMARK, C.T. Macroporosity and initial moisture effects on infiltration rates in vertisols and vertic intergrades. *Soil Sci.*, 163:2-8, 1998.
- MACÊDO, L.S. & SANTOS, J.B. Efeito da aplicação de água salina sobre os solos irrigados na Bacia Sucuru/Sumé, PB. *Pesq. Agropec. Bras.*, 27:915-922, 1992.
- McGARRY, D. & DANIELLS, I.G. Shrinkage curve indices to quantify cultivation effects on soil structure of a vertisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:1575-1580, 1987.
- MICHELON, C.J.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; DAVID, G. & SANTA, C.D. Qualidade física de solos irrigados do Estado do Rio Grande do Sul. *Ci. Rural*, 37:1308-1315, 2007.
- MILLAR, A.A. & GOMES, P.C.F. Determinação das propriedades hidráulicas de solos aluviais através da descarga de drenos subterrâneos. *R. Bras. Ci. Solo*, 2:90-94, 1978.
- MIRANDA, M.A.; OLIVEIRA, E.E.M.; SANTOS, K.C.F.; FREIRE, M.B.G.S. & ALMEIDA, B.G. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 15:484-490, 2011.
- MIRANDA, M.F.A.; PESSOA, L.G.M., FREIRE, M.B.G.S. & FREIRE, F.J. Correção de solo salino-sódico com soluções de cloreto de cálcio cultivado com sorgo sudanense. *Caatinga*, 21:18-25, 2008.
- MOUTIER, M.; SHAINBERG, I. & LEVY, G.J. Hydraulic gradient, aging, and water quality effects on hydraulic conductivity of a vertisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62:1488-1496, 1998.
- OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L. M.; FIGUEIREDO, M. S. & REGAZZI, A.J. Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre a distribuição de poros em classes de diâmetro de quatro latossolos brasileiros. *Agrotropica*, 7:15-23, 1995.
- PAULA, J.L. Estabilidade de agregados em solos salinos e sódicos do Estado do Ceará. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 1981. 66p. (Tese de Mestrado).
- PRADO, R.M. A calagem e as propriedades físicas de solos tropicais: Revisão de literatura. *R. Bioci.*, 9:7-16, 2003.
- RICHARDS, L.A., ed. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington, DC, United States Salinity Laboratory Staff, 1954. 160p. (USDA Agriculture Handbook, 60).
- RUIZ, H.A.; SAMPAIO, R.A.; OLIVEIRA, M. & FERREIRA, P.A. Características físicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. *R. Ci. Suelo Nutr. Veg.*, 6:1-12, 2006.
- RUSSO, D. & BRESLER, E. Effect of mixed Na<sup>+</sup>-Ca<sup>2+</sup> solutions on the hydraulic properties of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:713-717, 1977.
- SAUNDERS, L.C.U.; BARBOSA, C.E.; PAIVA, F.L. & ROCHA, V.M.L. Condutividade hidráulica de um aluvião fluvial sob condições de campo. *Ci. Agron.*, 11:27-34, 1980.
- SILVA, F.E.; ASSIS JÚNIOR, R.N. & GONÇALVES, J.I. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre atributos hídricos de um Neossolo. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:389-396, 2005.
- SPERA, S.T.; DENARDIN, J.E.; ESCOSTEGUY, P.A.V.; SANTOS, H.P. & FIGUEROA, E.A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2613-2620, 2008.
- TEJADA, M. & GONZALEZ, J.L. Beet vinasse applied to wheat under dryland conditions affects soil properties and yield. *Em. J. Agron.*, 23:336-347, 2005.
- WIENHOLD, B.J. & TROOIJEN, T.P. Irrigation water effects on infiltration rate in the northern great plains. *Soil Sci.*, 163:852-858, 1998.
- WIEDENFELD, B. Effects of irrigation water salinity and electrostatic water treatment for sugarcane production. *Agric. Water Manage.*, 95:85-88, 2008.
- YOUSAF, M.; ALI, O.M. & RHOADES, J.D. Clay dispersion and hydraulic conductivity of some salt-affected arid land soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:905-907, 1987.