



## Alterações físicas e químicas de um Argissolo amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo<sup>1</sup>

Apolino J. N. da Silva<sup>2</sup>, Mário S. V. Cabeda<sup>3</sup>, Fabíola G. de Carvalho<sup>4</sup> & José F. W. F. Lima<sup>5</sup>

### RESUMO

As alterações nas condições químicas do solo em virtude de diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar podem causar modificações na dispersão de argila e no estado de agregação do solo. Estudaram-se os efeitos de diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar nas propriedades físicas e químicas de um Argissolo Amarelo Coeso, selecionando-se quatro sistemas de uso e manejo, constituídos de uma área não irrigada, uma área irrigada, uma com aplicação de vinhaça e uma sob floresta nativa como condição original. Foram retiradas amostras de cada área a 0-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,8 m de profundidade, para determinação das alterações nas propriedades físicas e químicas do solo. Os sistemas de manejo com cana-de-açúcar afetaram as propriedades químicas do solo, ocorrendo redução da capacidade de troca de cátions e aumento da condutividade elétrica, pH em água e concentração crítica de floculação. Essas alterações químicas resultaram numa dispersão maior de argila nos solos cultivados com cana-de-açúcar, reduzindo a estabilidade dos agregados em água.

**Palavras-chave:** concentração crítica de floculação, dispersão de argila, agregação do solo, matéria seca de raízes

## Physical and chemical alterations of a Yellow Argisol under different use and management systems

### ABSTRACT

Alterations in the chemical conditions of the soil due to different soil management systems with sugarcane can cause modifications in clay dispersion and in the state of aggregation of the soil. The effects of different soil management systems with sugarcane on the physical and chemical properties of a cohesive Yellow Argisol were studied, being selected four different use and management systems, constituted of a site with irrigated cultivation, a site with not irrigated cultivation, a site with vinasse application and a site under native forest as original condition. Samples of each site were collected at 0-0,2, 0,2-0,4 and 0,4-0,8 m depths to determine the alterations in the chemical and physical properties of soil. The management systems with sugarcane affected the chemical properties of the soil, resulting in reduction of cation exchange capacity and increase of the electrical conductivity, pH in water and critical flocculation concentration. These chemical alterations resulted in larger clay dispersion in the soil cultivated with sugarcane, reducing the stability of the aggregates in water.

**Key words:** critical flocculation concentration, clay dispersion, soil aggregation, root dry matter

<sup>1</sup> Parte de Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

<sup>2</sup> UFRN/EAJ. CP 07, CEP 59280-000, Macaíba, RN. E-mail: [ajndas@ufrnet.br](mailto:ajndas@ufrnet.br) (Foto)

<sup>3</sup> UFRGS/DS. CP 776, CEP 90001-970, Porto Alegre, RS. E-mail: [miscabeda@uol.com.br](mailto:miscabeda@uol.com.br)

<sup>4</sup> UFRN/DEQ. Campus Universitário, CEP 59072-970, Natal, RN. E-mail: [fgcarvalho@zipmail.com.br](mailto:fgcarvalho@zipmail.com.br)

<sup>5</sup> UFRPE/DEPA. Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife, PE

## INTRODUÇÃO

As alterações nas condições químicas de solos cultivados, tais como concentração e tipo de íons na solução do solo (Rengasamy, 1983), variações do pH do solo e da concentração crítica de floculação das partículas, podem causar modificações na dispersão da fração argila, degradando a estrutura original do solo (Benites & Mendonça, 1998). Rengasamy (1983) verificou menor dispersão de argila em solos com maiores teores de cálcio e magnésio, enfatizando que cátions polivalentes formam pontes de cátions com partículas carregadas negativamente, aumentando a agregação do solo.

A aplicação da água de irrigação ao solo também tem promovido alterações nas suas propriedades químicas (Peireira & Siqueira, 1979; Abo-Ghobar, 1993). Quando o íon dominante presente na água para irrigação é o sódio, esta pode provocar a degradação na estrutura do solo. O íon sódio, por ser monovalente, aumenta a espessura da dupla camada difusa na superfície das argilas, reduzindo as forças de atração entre elas, com conseqüente aumento da dispersão das partículas (Sposito, 1989). O efeito do íon sódio na estrutura do solo foi verificado por Frenkel et al. (1978), que constataram aumento na dispersão de argila com o aumento dos teores de sódio em solos caulíníficos. Os autores enfatizaram que a dispersão de argila promoveu o adensamento do solo como conseqüência do bloqueio dos poros por argila dispersa.

A conseqüência do aumento da dispersão de argila também é constatada pela redução da estabilidade dos agregados do solo, ficando a fração argila em condições de ser facilmente transportada, sob condições de chuva ou irrigação, para horizontes subsuperficiais do solo (Nielsen et al., 1972; Silva, 2003).

O aproveitamento de resíduos orgânicos gerados na produção agroindustrial e usados como fertilizantes, é cada vez mais comum na agricultura atual (Sengik et al., 1988; Cerri et al., 1988). Entre os resíduos produzidos nas indústrias de açúcar e álcool, a vinhaça é o mais utilizado como fertilizante (Camargo et al., 1984; Nunes et al., 1981). As mudanças nas propriedades químicas do solo promovidas pela aplicação da vinhaça podem alterar as propriedades físicas, como estabilidade de agregados e dispersão de argila do solo. Apesar do aumento temporário do pH devido à aplicação deste resíduo ao solo (Leal et al., 1983), alguns trabalhos mostram que a sua aplicação no solo por longo tempo, melhora a estrutura, por seus efeitos na agregação do solo. Camargo et al. (1988) verificaram redução do teor de argila dispersa e aumento no diâmetro médio ponderado dos agregados em um Latossolo Vermelho Escuro que recebeu vinhaça ( $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) por três anos, em relação ao solo testemunha. Segundo os autores, esses resultados estão relacionados à maior atividade microbiana no solo com vinhaça, com conseqüente maior produção de mucilagens, que atuam como agentes ligantes para formação e estabilização dos agregados do solo.

Poucos trabalhos têm estudado o desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar (Sampaio et al., 1987; Cerri

et al., 1991). Esses estudos são importantes pois as raízes estão diretamente relacionadas com a absorção de água e nutrientes para as plantas, refletindo também a qualidade do solo (Tisdall & Oades, 1979). Os diferentes sistemas de manejo com a cultura da cana-de-açúcar podem afetar o desenvolvimento do sistema radicular desta cultura e causar efeitos negativos à sua produtividade.

Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos dos sistemas de manejo com cana-de-açúcar nas características químicas do solo, dispersão de argila, agregação do solo e matéria seca de raízes.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Usina Triunfo Agroindustrial, localizada no município de Boca da Mata, no Estado de Alagoas. O solo estudado foi classificado como um Argissolo Amarelo Coeso latossólico textura média/argilosa (PROSPED, 1992) e provém do grupo Barreiras, formado por sedimentos areno-argilosos, constituídos principalmente por quartzo na fração areia e na fração argila predomina a caulinita, com baixos teores de óxidos de ferro, principalmente goetita (Jacomine et al., 1975). A área tem clima tropical chuvoso com verão seco, segundo a classificação de Köppen. A precipitação média anual fica em torno de 1200 mm (Nimer, 1989) e a temperatura média anual ao redor de 29 °C (Jacomine et al., 1975). O relevo predominante é plano e suave ondulado, característico da região de Tabuleiros Costeiros.

Três diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) foram selecionados, sendo um sob cultivo de sequeiro, outro sob cultivo irrigado e uma área cultivada com aplicação de vinhaça. Esses manejos foram comparados entre si e em relação a uma testemunha absoluta, representada por solo virgem, sob floresta subperenifólia. Todos os tratamentos estão situados numa mesma posição topográfica, em topo plano de platô costeiro.

No plantio da cana planta ou a cada 5-6 anos, quando da renovação do canavial, o preparo consiste em subsolagem realizada com subsolador marca Civemasa modelo STA 9P de 7 hastes, espaçadas 45 cm uma da outra e com ponteiras de 7 cm de largura, trabalhando a uma profundidade de 35 cm. Após a subsolagem são realizadas duas gradagens pesadas com grade de 18 discos de 30", trabalhando a uma profundidade de 25 cm, com o objetivo de destruir a soqueira da cana. A abertura dos sulcos é feita com sulcador de 3 linhas a 25 cm de profundidade. No plantio, as canas são distribuídas manualmente no sulco e, na colheita, elas são cortadas manualmente e carregadas para caminhão MBB 2635, com carregadeira convencional Ford 5630. Em todas as áreas cultivadas a cana-de-açúcar é queimada antes da colheita. Este preparo do solo é aplicado nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob os sistemas sequeiro, irrigado e com vinhaça.

No sistema de manejo com vinhaça são aplicados anualmente  $500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinhaça diluída por ciclo da cultura, sendo a aplicação feita por aspersor com vazão de  $150 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ .

**Tabela 1.** Composição química média da vinhaça utilizada

pH	CE*	C	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Fe <sup>2+</sup>	
dS m <sup>-1</sup>		g L <sup>-1</sup>					mg L <sup>-1</sup>			
5,71	3,60	9,3	0,56	0,19	0,96	0,28	0,13	3,11	1,14	

\*CE - Condutividade elétrica

Também são administrados 20 Mg ha<sup>-1</sup> de torta de filtro na renovação do canal. Este manejo é adotado na área, há 25 anos consecutivos. A composição química média da vinhaça é apresentada na Tabela 1.

Na área com sistema de manejo irrigado é aplicada uma lâmina de 120 mm de água por ciclo da cultura, através de aspersor com vazão de 100 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, sendo este tratamento adotado há 25 anos, consecutivamente. A água utilizada provém de açudes próximos à área cultivada e a sua composição química é mostrada na Tabela 2. A adubação da cana planta é feita de acordo com análise do solo, sendo geralmente aplicados 60, 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O respectivamente, na cana planta, e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de torta de filtro, e na cana soca são aplicados 60 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente.

A área com regime de sequeiro é cultivada há 30 anos com este sistema de cultivo e nunca foi irrigada nem recebeu vinhaça.

A amostragem foi realizada ao acaso, nas áreas com os diferentes sistemas de uso e manejo, sendo coletadas amostras nas camadas de 0-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,8 m. Nas áreas estudadas com cana-de-açúcar, as amostras foram retiradas num ponto situado a 40 cm da linha de plantio da cana-de-açúcar. Com exceção das análises em que se utilizaram amostras indeformadas, todas as outras amostras foram pré-tratadas, secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com abertura de 2 mm.

Os cátions trocáveis foram determinados conforme Tedesco et al. (1995). O sódio e potássio foram determinados por fotometria de chama, o cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica e o alumínio e hidrogênio determinados por volumetria. O pH em H<sub>2</sub>O, a condutividade elétrica do solo e a capacidade de troca de cátions efetiva, foram determinados segundo EMBRAPA (1997).

A concentração crítica de floculação foi determinada com suspensões de solo (20 g L<sup>-1</sup>), usando-se soluções de CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O em concentrações variando de 1 a 4 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>. As amostras foram agitadas por 12 h e posteriormente ficaram em repouso 24 h. A floculação foi inspecionada visualmente e a concentração crítica de floculação foi determinada pela média de dois valores, correspondentes à menor concentração eletrolítica de CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O, suficiente para pro-

mover a floculação das partículas e a maior concentração, que não promoveu a floculação (Sposito, 1989).

A argila dispersa em água foi determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), sem emprego do dispersante químico.

Para determinação das classes de agregados via seca e úmida, as amostras foram coletadas ao acaso nas áreas estudadas, sendo retirados blocos indeformados de solo, com auxílio de enxadão e pá de corte, nas camadas de 0-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,8 m. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e em caixas com espuma, para serem transportadas até o laboratório. Na separação de agregados via seca e úmida, seguiu-se o procedimento descrito por Kemper & Chepil (1965), com a modificação proposta por Tisdall & Oades (1979), utilizando-se toda a massa de solo que passou na peneira de 9,51 mm de diâmetro de malha. Os agregados maiores que 250 μm foram considerados macroagregados (Tisdall & Oades, 1982).

Para determinação da matéria seca de raízes foram sorteadas três linhas de sulco de cana-de-açúcar em cada tratamento, coletando-se as raízes numa área de 0,48 m<sup>2</sup>, correspondendo a 0,4 m de comprimento em cada sulco, e 0,6 m perpendicularmente à linha do sulco. Todo o solo desta área foi retirado até 0,80 m de profundidade, passado em peneira de 1 mm de malha e catado manualmente, recolhendo-se as raízes encontradas, as quais foram lavadas com água, secadas em estufa a 60 °C e pesadas para se obter a massa de matéria seca. As amostras foram coletadas aos seis meses após o primeiro corte da cana-de-açúcar.

Os dados foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias realizada pelo teste de Tukey, a nível de significância de 5%, usando-se o software Sanest. As análises de correlação foram feitas com o software SigmaStat 2.03.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> trocáveis decresceram significativamente nas três áreas cultivadas com cana-de-açúcar em relação ao solo sob mata nativa na camada de 0-0,2 m (Tabela 3). O solo com vinhaça, no entanto, além de ter sofrido a menor redução nos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> trocáveis, apresentou um aumento significativo do teor de K<sup>+</sup> trocável em relação aos outros tratamentos em todas as camadas estudadas, possivelmente devido aos teores elevados deste elemento na composição da vinhaça (Tabela 3). Esse aumento no teor de K<sup>+</sup> trocável do solo relativo à aplicação da vinhaça, tem sido observado por outros autores (Orlando Filho et al., 1983; Ribeiro & Sengik, 1983).

**Tabela 2.** Composição química média da água utilizada na irrigação

pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fe <sup>2+</sup>	C.E.*	R.A.S.*
mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup>								ppm	dS m <sup>-1</sup>	(mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>
7,1	0,15	0,23	1,76	0,17	1,74	0,03	0,64	0,66	0,26	4,04

\*CE - Condutividade elétrica; R.A.S. - Razão de adsorção de sódio

O solo sob o sistema irrigado apresentou valores significativamente superiores de saturação por  $\text{Na}^+$  em relação aos outros tratamentos nas três camadas estudadas devido, provavelmente, aos teores de sódio na composição da água de irrigação aplicada, a qual apresenta uma razão de adsorção de sódio (RAS) igual a  $4,04 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$  e uma condutividade elétrica de  $0,26 \text{ dS m}^{-1}$  (Tabela 2). Segundo Holanda & Amorim (1997), esta água é classificada como do tipo  $\text{C}_1\text{S}_2$ , ou seja, de baixo risco à salinidade e risco moderado à sodicidade do solo. Apesar dos valores de saturação por  $\text{Na}^+$  estarem abaixo do nível determinado por EMBRAPA (1997) para o caráter sódico ao solo ( $\% \text{Na}^+ < 15\%$ ), o teor mais elevado de  $\text{Na}^+$  no complexo coloidal do solo irrigado pode promover a dispersão de argila do solo (Russo & Bresler, 1977). A maior redução dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis nos solos sob os sistemas sequeiro e irrigado, pode prejudicar a estabilidade dos agregados desses solos, já que os referidos cátions, juntamente com o  $\text{Al}^{3+}$ , têm importante papel na agregação do solo fazendo pontes entre a superfície da argila e compostos orgânicos (Munner & Oades, 1989; Roth et al., 1991).

As diferenças nos teores de cátions trocáveis refletiram na capacidade de troca de cátions efetiva dos solos nos tratamentos estudados (Tabela 4), havendo decréscimo nas três áreas cultivadas em relação ao solo da mata. O sistema de manejo com aplicação de vinhaça, no entanto, proporcionou a menor redução na capacidade de troca de cátions entre os solos cultivados com cana-de-açúcar. A manutenção dos cátions trocáveis decorrentes da adição da vinhaça ao solo,

**Tabela 3.** Cátions trocáveis e saturação por sódio em função dos sistemas de manejo e profundidades estudados

Camada (m)	Mata	Sistema de Uso e Manejo		
		Sequeiro	Irrigado	Vinhaça
<b><math>\text{Ca}^{2+}</math> (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>				
0,0 - 0,2	2,91 Aa	1,93 Ca	1,88 Ca	2,59 Ba
0,2 - 0,4	1,34 Ab	0,84 Cb	1,14 Bb	1,29 Ab
0,4 - 0,8	0,80 Bc	0,57 Cc	0,78 Bc	0,91 Ac
<b><math>\text{Mg}^{2+}</math> (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>				
0,0 - 0,2	2,79 Aa	1,69 Da	1,78 Ca	2,26 Ba
0,2 - 0,4	1,71 Ab	1,03 Cb	1,19 Bb	1,69 Ab
0,4 - 0,8	0,62 Bc	0,61 Bc	0,79 Ac	0,81 Ac
<b><math>\text{K}^+</math> (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>				
0,0 - 0,2	0,12 Ca	0,19 Ba	0,10 Da	0,76 Aa
0,2 - 0,4	0,10 Bb	0,03 Cb	0,09 Ba	0,35 Ab
0,4 - 0,8	0,02 Cc	0,01 Cc	0,07 Bb	0,25 Ac
<b><math>\text{Al}^{3+}</math> (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>				
0,0 - 0,2	0,43 Ac	0,37 Ac	0,38 Ab	0,35 Ab
0,2 - 0,4	0,48 Ab	0,50 Ab	0,41 Ab	0,43 Ab
0,4 - 0,8	1,32 Ba	1,44 Aa	1,43 Aa	1,33 Ba
<b>Saturação por <math>\text{Na}^+</math> (%)</b>				
0,0 - 0,2	0,39 Ca	0,77 Ba	2,19 Aa	0,30 Ca
0,2 - 0,4	0,11 Bb	0,40 Bb	2,32 Aa	0,14 Bb
0,4 - 0,8	0,14 Bb	0,16 Bc	2,26 Aa	0,13 Bb

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%)

associado a uma futura eliminação da queima da cana por ocasião da colheita, que promoverá um retorno orgânico melhor ao solo com restos culturais, provavelmente contribuirá para a manutenção da qualidade do solo em prol do bom desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar.

Os valores de condutividade elétrica na área com vinhaça foram significativamente mais elevados em relação aos outros tratamentos nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m. Apesar da vinhaça aplicada apresentar condutividade elétrica de  $3,6 \text{ dS m}^{-1}$  (Tabela 1), os níveis encontrados no solo com aplicação deste resíduo no presente estudo não são prejudiciais à cana-de-açúcar nem para a maioria das plantas cultivadas (Lima, 1997), estando bem abaixo do limite considerado pela EMBRAPA (1997) para caracterizar o caráter salino ao solo ( $\text{CE} > 4 \text{ dS m}^{-1}$ ). Benke (1998) estudando a influência da aplicação de vinhaça em solos caulíníficos, também verificou que os efeitos da aplicação deste resíduo na condutividade elétrica do solo, com dosagens semelhantes ao presente estudo, se restringiram às camadas superficiais do solo. No presente estudo, a média geral de condutividade elétrica na camada de 0-0,2 m foi de  $0,27 \text{ dS m}^{-1}$ . Os valores de pH do solo foram maiores nos solos cultivados em relação ao solo da mata (Tabela 4), o que pode ser resultado dos efeitos residuais da calagem administrada ao longo dos anos. O aumento do pH pode resultar em aumento da dispersão de argila em solos de carga variável, devido à geração de cargas negativas nas partículas do solo (Sparks, 1995).

Os solos sob os sistemas sequeiro e irrigado apresentaram os maiores valores de concentração crítica de floculação nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m (Tabela 4), indicando que as partículas do solo nesses dois sistemas de manejo são mais dispersíveis, o que pode estar refletindo os

**Tabela 4.** Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efetiva), condutividade elétrica (CE), pH em água e concentração crítica de floculação (CCF) do solo nos tratamentos estudados

Camada (m)	Mata	Sistema de Uso e Manejo		
		Sequeiro	Irrigado	Vinhaça
<b>CTC efetiva (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)</b>				
0,0 - 0,2	12,84 Aa	7,70 Ca	8,21 Ca	10,92 Ba
0,2 - 0,4	8,73 Ab	5,06 Cb	5,22 Cb	7,05 Bb
0,4 - 0,8	6,90 Ac	4,87 Cb	5,09 Cb	5,49 Bc
<b>CE (dS m<sup>-1</sup>)</b>				
0,0 - 0,2	0,20 Ca	0,23 Ba	0,24 Ba	0,42 Aa
0,2 - 0,4	0,16 Bb	0,17 Bb	0,18 Bb	0,24 Ab
0,4 - 0,8	0,13 Ab	0,15 Ab	0,16 Ab	0,14 Ac
<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>				
0,0 - 0,2	4,8 Cb	5,2 ABa	5,3 Aa	5,1 Ba
0,2 - 0,4	4,9 Bb	5,2 Aa	5,2 Aa	5,1 Aa
0,4 - 0,8	5,3 Aa	5,3 Aa	5,2 Aa	5,2 Aa
<b>CCF (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>				
0,0 - 0,2	1,7 Cb	2,2 Ba	2,6 Aa	1,5 Cb
0,2 - 0,4	1,8 Bb	2,2 Aa	2,3 Ab	1,9 Ba
0,4 - 0,8	2,0 Aa	2,1 Aa	2,2 Ab	2,1 Aa

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%)

menores valores de cálcio e magnésio e a maior saturação por sódio. A menor concentração crítica de floculação do solo com vinhaça, provavelmente reflete a maior condutividade elétrica deste solo nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m, onde os sais presentes contribuem para floculação das partículas do solo.

Foi significativo o efeito dos sistemas de manejo nos valores de matéria seca de raízes da cana-de-açúcar, com o solo que recebeu vinhaça apresentando os maiores valores nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m, em relação aos solos sob os sistemas sequeiro e irrigado (Tabela 5). Visto que as condições de preparo do solo e de tráfego de máquinas agrícolas são as mesmas nas três áreas cultivadas no presente estudo, o maior desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar no solo com vinhaça reflete, sem dúvida, a melhor condição química deste solo, promovida pela aplicação da vinhaça, em relação aos solos sob os sistemas sequeiro e irrigado. A matéria seca de raízes correlacionou-se positivamente com os atributos químicos  $\text{Ca}^{2+}$  ( $R = 0,95^*$ ),  $\text{Mg}^{2+}$  ( $R = 0,88^{**}$ ) e  $\text{K}^+$  ( $R = 0,61^*$ ).

Os baixos valores de matéria seca de raízes na camada de 0,4-0,8 m estão de acordo com os encontrados na literatura (Lima Júnior, 1982; Cerri et al., 1991). Cerri et al. (1991) encontraram 99% da matéria seca de raízes de cana-de-açúcar nos primeiros 0,4 m de profundidade em um Latossolo de textura argilosa. Paranhos (1987), no entanto, enfatiza que a profundidade do sistema radicular da cana-de-açúcar pode atingir profundidades maiores, dependendo das condições físicas e químicas do solo.

No presente estudo, em média 98% da matéria seca de raízes da cana-de-açúcar estão nos primeiros 0,4 m de profundidade. Os maiores valores de alumínio trocável na camada de 0,4-0,8 m (Tabela 3), contribuíram para o menor crescimento do sistema radicular nesta camada. A matéria seca de raízes correlacionou-se negativamente com o teor de  $\text{Al}^{3+}$  ( $R = -0,61^*$ ). Esses resultados corroboram com os encontrados por Silva et al. (2000) que verificaram correlação negativa entre a densidade de raízes de milho com o teor de alumínio trocável em um Podzólico Vermelho Amarelo de textura franca, enfatizando que os maiores teores de alumínio em profundidade contribuíram para menor crescimento

**Tabela 5.** Argila dispersa em água e matéria seca de raízes de cana-de-açúcar em função dos sistemas de uso e manejo nas profundidades estudadas

Camada (m)	Sistema de Uso e Manejo			
	Mata	Sequeiro	Irrigado	Vinhaça
	Argila dispersa em água (g kg <sup>-1</sup> )			
0,0 - 0,2	96 Ba	112 ABa	131 Ac	108 Ba
0,2 - 0,4	104 Ca	121 Ba	164 Aa	116 Ba
0,4 - 0,8	93 Ca	123 Ba	149 Ab	111 Ba
	Matéria seca de raízes (Mg ha <sup>-1</sup> )			
0,0 - 0,2	-	3,21 Ca	4,08 Ba	4,91 Aa
0,2 - 0,4	-	0,21 Bb	0,11 Bb	0,98 Ab
0,4 - 0,8	-	0,06 Ab	0,04 Ab	0,08 Ac

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%)

do sistema radicular nas camadas subsuperficiais do solo.

A coesão natural nas camadas subsuperficiais dos solos de tabuleiros também pode restringir o crescimento radicular da cana-de-açúcar. De acordo com Souza (1996) a presença de horizontes coesos em subsuperfície nos solos de tabuleiros costeiros, restringe o desenvolvimento do sistema radicular de diversas culturas, causando prejuízos à produtividade.

Verifica-se aumento nos valores da argila dispersa em água nos solos cultivados em relação ao solo sob mata nativa, nas três camadas estudadas (Tabela 5). O solo irrigado apresentou os maiores valores de argila dispersa em água, em todas as camadas estudadas o que, possivelmente, está ligado à maior saturação por sódio neste solo (Tabela 3). O íon sódio promove aumento da espessura da dupla camada difusa na solução do solo, diminuindo a atração entre as partículas, o que resulta numa dispersão maior (Sposito, 1989). Ucha & Ribeiro (1995) também verificaram maiores valores de argila dispersa de solos irrigados em relação a solos sob sequeiro e mata nativa, devido à composição da água de irrigação, que tinha teores de sódio semelhantes aos do presente estudo.

Entre os solos cultivados, o solo com vinhaça apresentou os menores valores de argila dispersa em água (Tabela 5), o que provavelmente está relacionado aos maiores teores de cátions considerados floculantes, como cálcio e magnésio, nesses solos. Camargo et al. (1988) verificaram redução nos teores de argila dispersa em solos que receberam vinhaça, comentando que o aumento da concentração salina no solo promovida pela vinhaça, reduz a dupla camada difusa, com conseqüente aproximação das partículas do solo. A maior atividade microbiológica em solos que recebem vinhaça, como verificado por Lopes et al. (1986), pode também ter influência na redução da dispersão de argila, devido à produção de mucilagem, que favorece a agregação do solo.

Os resultados de argila dispersa em água corroboram os resultados de concentração crítica de floculação (Tabela 4), que evidenciaram maior tendência à dispersão dos solos sob os sistemas sequeiro e irrigado em relação aos outros tratamentos.

A maior dispersão de argila nos solos cultivados e a movimentação das camadas superficiais do solo no seu preparo para o cultivo, contribuíram para um rearranjo de partículas no solo, podendo promover a eluviação da fração argila para camadas subsuperficiais (Nielsen et al., 1972) principalmente sob condições de chuva ou irrigação (Helalia et al., 1988) e promover um adensamento dessas camadas (Silva et al., 1998).

A distribuição de agregados obtida por peneiragem via seca, mostra pouca diferença entre os sistemas de manejo dentro de cada classe de agregados, com mais de 57% dos agregados sendo da classe > 2 mm nos quatro sistemas de manejo estudados (Tabela 6). Na distribuição de agregados obtida por peneiragem via úmida, no entanto, observa-se redução dos valores dos agregados de maior diâmetro (> 2 mm e 2-1 mm) nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m, nas três áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

A menor estabilidade em água dos agregados de solos

**Tabela 6.** Distribuição percentual de classes de agregados do solo, obtidos por peneiragem via seca e por via úmida nos sistemas de manejo e profundidades estudados

Diâmetro da classe mm	Sistema de uso e manejo							
	Mata	Sequeiro	Irrigado	Vinhaça	Mata	Sequeiro	Irrigado	Vinhaça
	Seco				Úmido			
%								
<b>camada 0-0,2 m</b>								
>2	60,5	57,3	58,0	58,0	45,8	26,4	31,5	37,7
2 - 1	16,7	17,1	16,4	18,7	16,0	11,5	11,3	16,4
1 - 0,25	14,2	17,2	17,0	15,2	18,0	29,6	28,5	21,8
0,25 - 0,10	2,6	3,6	2,6	3,1	8,3	11,4	10,7	12,3
0,10 - 0,053	3,1	2,9	3,4	2,7	7,5	10,8	11,6	7,7
<0,053	2,8	2,0	2,6	2,2	4,4	10,4	6,5	4,1
<b>camada 0,2-0,4 m</b>								
>2	59,7	57,3	57,0	57,5	34,8	19,7	23,9	30,8
2 - 1	17,1	16,0	15,6	16,3	16,3	14,2	11,9	15,5
1 - 0,25	14,9	17,8	18,9	18,5	17,2	29,9	29,1	21,4
0,25 - 0,10	2,8	3,5	2,3	3,2	9,3	16,8	14,1	10,8
0,10 - 0,053	2,3	3,7	4,3	2,6	9,2	15,0	12,1	10,9
<0,053	3,2	1,7	1,9	1,8	13,2	4,4	8,8	10,5
<b>camada 0,4-0,8 m</b>								
>2	56,1	56,2	56,6	57,4	25,1	23,9	23,7	26,3
2 - 1	15,6	14,1	14,6	14,2	16,4	16,2	18,7	17,0
1 - 0,25	20,8	22,2	21,8	21,0	24,0	24,7	23,8	21,2
0,25 - 0,10	1,7	2,1	2,3	1,8	11,7	12,8	14,9	13,8
0,10 - 0,053	1,5	2,3	2,4	2,3	13,6	14,2	12,4	12,9
<0,053	4,4	3,0	2,4	3,3	9,2	8,1	6,5	8,7

submetidos às atividades de cultivo também foi verificada por outros autores (Roth et al., 1991; Silva, 1993). De acordo com Tisdall & Oades (1982) o acúmulo de agregados de menor diâmetro é resultado da maior resistência desses agregados às práticas do manejo, pois os agentes ligantes que estabilizam esses agregados menores são persistentes, formados por substâncias húmicas associadas aos óxidos de ferro e alumínio, enquanto os macroagregados (> 250 mm) são mais afetados pelas práticas do manejo, visto que são ligados por agentes temporários, como hifas de fungo e raízes de plantas.

Os macroagregados obtidos por peneiragem via seca são bastante elevados, com os solos sob os três sistemas de manejo com cana-de-açúcar apresentando valores semelhantes aos do solo da mata (Tabela 7), chegando a mais de 91% em todos os tratamentos. A distribuição dos macroagregados obtidos por peneiragem via úmida, no entanto, mostra diferenciação entre os tratamentos, havendo redução dos macroagregados nos sistemas sequeiro, irrigado e vinhaça em relação ao solo da mata, nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m. Entre as áreas cultivadas, o sistema de manejo com vinhaça proporcionou os maiores valores de macroagregação ao solo, mostrando que, sob condições químicas favoráveis, o sistema radicular da cana-de-açúcar contribui para a agregação do solo. Silva & Mielniczuk (1997) enfatizam que as raízes de gramíneas perenes exercem grande

poder de estruturação e estabilização dos agregados do solo. No presente estudo, os macroagregados se correlacionaram positivamente com a matéria seca de raízes ( $R = 0,89^*$ ) e

**Tabela 7.** Macroagregados (> 250 mm) obtidos por peneiragem via úmida (Macro Úmido) e por via seca (Macro Seco), e relação Macro Úmido/Macro Seco em função dos sistemas de uso e manejo, nas profundidades estudadas

Camada	Sistema de uso e manejo			
	Mata	Sequeiro	Irrigado	Vinhaça
<b>Macro Seco (%)</b>				
0,0 - 0,2	91,5 Aa	91,6 Aa	91,4 Aa	92,0 Aa
0,2 - 0,4	91,7 Aa	91,1 Aa	91,4 Aa	92,3 A
0,4 - 0,8	92,5 Aa	92,6 Aa	92,9 Aa	92,6 Aa
<b>Macro Úmido (%)</b>				
0,0 - 0,2	79,8 Aa	67,4 Da	71,3 Ca	75,9 Ba
0,2 - 0,4	70,1 Ab	63,8 Cb	65,2 BCb	67,0 Bb
0,4 - 0,8	65,4 Ac	64,9 Ab	66,2 Ab	64,5 Ac
<b>Índice Macro Úmido/Macro Seco</b>				
0,0 - 0,2	0,87Aa	0,74 Da	0,78 Ca	0,83 Ba
0,2 - 0,4	0,76 Ab	0,70 Bb	0,71 Bb	0,73 Bb
0,4 - 0,8	0,71 Ac	0,70 Ab	0,71 Ab	0,70 Ac

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (5%)

negativamente com argila dispersa em água ( $R = -0,39^*$ ), mostrando o efeito desses atributos na agregação do solo.

A relação Macro Úmido/Macro Seco representa um índice de estabilidade em água das unidades estruturais do solo. Quanto maior esta relação, maior a estabilidade em água dos agregados do solo. Os valores da relação Macro Úmido/Macro Seco mostram redução da estabilidade dos agregados na camada de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m dos solos cultivados com cana-de-açúcar, em relação ao solo da mata (Tabela 7). O solo que recebeu vinhaça apresentou a melhor estabilidade dos agregados entre os solos cultivados com cana-de-açúcar, refletindo os efeitos positivos do manejo com vinhaça para a manutenção da estabilidade das unidades estruturais do solo.

### CONCLUSÕES

1. Os solos sob os sistemas sequeiro e irrigado sofreram maior degradação das propriedades químicas do solo, ocasionando redução nos teores de cálcio, magnésio e capacidade de troca de cátions efetiva, além de aumento da saturação por sódio e concentração crítica de floculação, em relação ao solo da mata.

2. Os sistemas de manejo com cana-de-açúcar influenciaram as propriedades físicas do solo, ocorrendo aumento da argila dispersa em água e redução da estabilidade dos agregados em água dos solos cultivados, em relação ao solo da mata.

3. As melhores condições químicas do solo no sistema de manejo com aplicação de vinhaça promoveu maior desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar, em relação aos sistemas sequeiro e irrigado.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Usina Triunfo Agroindustrial, pelo uso de suas terras nesta pesquisa e pelo apoio logístico nas atividades de campo; ao Engenheiro Agrônomo Arnaldo Jugurta (Usina Triunfo) e aos Laboratoristas Anacleto (UFRPE) e Adão (UFRGS).

### LITERATURA CITADA

- Abo-Ghobar, H. M. Influence of irrigation water quality on soil infiltration. *Irrigation Science*, New York, v.11, n.1, p.13-19, 1993.
- Benites, V. M.; Mendonça, E. S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, n.2, p.215-221, 1998.
- Benke, M. B. Characterization and interaction of sugarcane agro-industry residue with soil, kaolinite and Fe-oxyhydroxides. Saskatoon: University of Saskatchewan, 1998. 139p. Thesis PhD.

- Camargo, O. A.; Berton, R. S.; Geraldi, R. N.; Valadares, J. M. A. S. Alterações de características químicas de um Latossolo Roxo Distrófico incubado com resíduos da indústria álcool-açucareira. *Bragantia*, Campinas, v.43, n.1, p.125-139, 1984.
- Camargo, O. A.; Valadares, J. M. A. S.; Berton, R. S.; Teófilo Sobrinho, J. Características físicas de solo que recebeu vinhaça. *Boletim Científico do Instituto Agrônomo*, Campinas, v.14, n.1, 12p. 1988.
- Cerri, C. C.; Feller, C.; Chauvel, A. Evolução das principais propriedades de um latossolo vermelho escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar. *Cahiers Orstom, série Pédologie*, Bondy, v.26, n.1, p.37-50, 1991.
- Cerri, C. C.; Polo, A.; Andreux, F.; Lobo, M. C.; Eduardo, B. P. Resíduos orgânicos da agroindústria canaveira: 1. Características físicas e químicas. *STAB: açúcar, álcool e subprodutos*, Piracicaba, v.6, n.1, p.34-37, 1988.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises do solo. Rio de Janeiro: SNCLS, 1997. 212p.
- Frenkel, H.; Goertzen, J. O.; Rhoades, J. D. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. *Soil Science Society America Journal*, Madison, v.42, n.1, p.32-39, 1978.
- Helalia, A. M.; Letey, J.; Graham, R. C. Crust formation and clay migration effects on infiltration rate. *Soil Science Society America Journal*, Madison, v.52, n.1, p.251-255, 1988.
- Holanda, J. S.; Amorim, J. R. A. Qualidade da água para irrigação. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26, 1997, Campina Grande. Resumos... Campina Grande: SBEA, 1997. p.137-169.
- Jacomine, P. K. T.; Cavalcanti, A. C.; Pessoa, S. C. P.; Silveira, C. O. Levantamento exploratório, reconhecimento de solos de Estado de Alagoas. Recife: EMBRAPA/Centro de Pesquisas Pedológicas: SUDENE-DRN, 1975. 531p. *Boletim Técnico*, 35
- Kemper, W. D.; Chepil, W. S. Size Distribution of Aggregates. In: *Methods of soil analysis. Part I: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.498-519.
- Leal, J. R.; Amaral Sobrinho, N. M. R.; Velloso, A. C. X.; Rossiello, R. O. P. Potencial redox e pH: variações em um solo tratado com vinhaça. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.7, n.3, p.257-261, 1983.
- Lima Júnior, M. A. Nitrogen nutrition of sugarcane in NE of Brazil. Saskatoon: University of Saskatchewan, 1982. 172p. Thesis PhD
- Lima, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26, 1997, Campina Grande. Resumos... Campina Grande: SBEA, 1997. p.113-136.
- Lopes, E. S.; Peron, S. C.; Portugal, E. P.; Camargo, O. A.; Freitas, S. S. Atividade respiratória de solo tratado com vinhaça e herbicida. *Bragantia*, Campinas, v.45, n.2, p.205-210, 1986.
- Munner, M.; Oades, J. M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. III. Mechanisms and models. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, v.29, n.2, p.411-423, 1989.

- Nielsen, D. R.; Jackson, R. D.; Cary, J. W.; Evans, D. D. Soil water. Madison: American Society of Agronomy, 1972. 175p.
- Nimer, E. Climatologia do Brasil. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE-DERNA, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 422p.
- Nunes, M. R.; Velloso, A. C. X.; Leal, J. R. Efeito da vinhaça nos cátions trocáveis e outros elementos químicos do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.16, n.1, p.171-176, 1981.
- Orlando Filho, J.; Zambello Jr., E.; Agujaro, R.; Rossetto, A. J. Efeito da aplicação prolongada da vinhaça nas propriedades químicas dos solos com cana-de-açúcar: estudo exploratório. STAB: açúcar, álcool e subprodutos, Piracicaba, v.1, n.1, p.28-33, 1983.
- Paranhos, S. B. Cana-de-açúcar. Cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.II. 432p.
- Pereira, J. R.; Siqueira, F. B. Alterações nas características químicas de um oxissolo sob irrigação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.14, n.1, p.189-195, 1979.
- PROSPED. Levantamento detalhado dos solos da Usina Triunfo na escala de 1:10.000. Boca da Mata, AL, 1992. Relatório Geral
- Rengasamy, P. Clay dispersion in relation to changes in the electrolyte composition of dialysed red-brown earths. Journal of Soil Science, Oxford, v.34, n.3, p.723-732, 1983.
- Ribeiro, A. C.; Sengik, E. Efeitos da aplicação de vinhaça nas propriedades físicas e químicas de duas amostras de Latossolos. Revista Ceres, Campinas, v.30, n.1, p.25-31, 1983.
- Roth, C. H.; Castro Filho, C.; Medeiros, G. B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo Distrófico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.15, n.3, p.241-248, 1991.
- Russo, D.; Bresler, E. Effect of mixed Na/Ca solutions on the hydraulic properties of unsaturated soils. Soil Science Society American Journal, Madison, v.41, n.3, p.713-717, 1977.
- Sampaio, E. V. S. B.; Salcedo, I. H.; Cavalcanti, F. J. A. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. III conteúdo de nutrientes e distribuição radicular no solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.22, n.2, p.425-431, 1987
- Sengik, E.; Ribeiro, A. C.; Conde, A. R. Efeito da vinhaça em algumas propriedades, amostras de dois solos de Viçosa, MG. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.12, n.1, p.11-12, 1988.
- Silva, A. J. N. Alterações físicas e químicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar. Porto Alegre: UFRS, 2003. 120p. Tese Doutorado
- Silva, A. J. N.; Ribeiro, M. R.; Mermut, A. R.; Benke, M. B. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em Latossolos Amarelos coesos do Estado de Alagoas: propriedades micro-morfológicas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, n.3, p.515-525, 1998.
- Silva, I. de F.; Mielniczuk, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.21, n.2, p.313-319, 1997.
- Silva, I. de F. Formação, estabilidade e qualidade de agregados do solo afetados pelo uso agrícola. Porto Alegre: UFRS, 1993. 126p. Tese Doutorado
- Silva, V. R.; Reinert, D. J.; Reichert, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.24, n.1, p.191-199, 2000.
- Souza, L. S. Uso e manejo dos solos coesos dos tabuleiros costeiros In: Reunião Técnica sobre Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros: Pesquisa & Desenvolvimento para os tabuleiros costeiros, 1996, Cruz das Almas. Anais... Cruz das Almas: EMBRAPA/CPATC/CNPMF/IGUFBA, 1996. p.36-74.
- Sparks, D. L. Environmental soil chemistry. New York: Academic Press, 1995. 267p.
- Sposito, G. The chemistry of soils. New York: Oxford University Press, 1989. 277p.
- Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C. A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: DS/UFRGS, 1995. 188p. Boletim Técnico de Solos, 5
- Tisdall, J. M.; Oades, J. M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. Australian Journal of Soil Research, Melbourne, v.17, n.2, p.429-441, 1979.
- Tisdall, J. M.; Oades, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Science, Oxford, v.33, n.1, p.141-163, 1982.
- Ucha, J. M.; Ribeiro, L. P. Comportamento de um solo do cerrado baiano sob uso agrícola em regime de sequeiro e irrigado. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25, 1995, Goiânia. Resumos... Goiânia: SBCS, 1995. p.423.