



Compactação de um Argissolo Amarelo distrocoeso submetido a diferentes manejos¹

Veronildo S. Oliveira², Mário M. Rolim², Romero F. B. Vasconcelos², Yuri D. J. Costa³ & Elvira M. R. Pedrosa²

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi de avaliar a susceptibilidade a influência do manejo da cana-de-açúcar sobre a compactação de um Argissolo Amarelo distrocoeso, através da densidade máxima (D_{smax}) e umidade crítica (U_c) pelo ensaio de Proctor normal, e o grau de compactação em diferentes manejos e uso. O estudo foi realizado na Usina Triunfo Agroindustrial, Alagoas, em região composta de quatro subáreas, sendo: Área de mata (MA), Área de sequeiro (MSI), Área irrigada (MCI) e Área com vinhaça (MCV). Para a realização dos ensaios foram coletadas amostras indeformadas para densidade do solo e deformadas para matéria orgânica e ensaio de Proctor normal para obtenção da D_{smax} e U_c e determinação do grau de compactação (GC) nos locais sorteados, 50×50 m, nas quatro áreas de manejo, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os valores das D_{smax} do solo obedeceram à seguinte ordem crescente: $MSI > MCI > MCV > MA$, enquanto a U_c acompanhou a mesma ordem, porém decrescente. Portanto, os manejos MSI e MCI podem provocar degradação do solo, mesmo a U_c s mais baixas. Apenas o manejo MCI apresentou GC superior a 4,3%, valor crítico de referência, na profundidade de 0-20 cm.

Palavras-chave: grau de compactação, Proctor normal, vinhaça

Compaction of a Ultisol submitted to different managements

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the susceptibility to compaction of an ultisol under different soil managements and use. Evaluations were based on both maximum density (MD) and critical humidity (CH) through Standard Proctor compaction tests, and the degree of compaction in different soil managements and use. The study was carried out at the Triunfo Mill, State of Alagoas in Brazil. The testing area consisted of four distinct sub-areas: a preserved forest (MA), an area without irrigation (MSI), an irrigated area (MCI), and an area with vinasse (MCV). Undeformed soil samples were collected for soil density and the deformed ones for organic matter and Standard Proctor tests in order to obtain MD, CH and the compaction grade (CG). Plots (50×50 m) were randomized within the four areas at depths of 0-20, 20-40 and 40-60 cm, with three replications. Data were submitted to variance analyses, and means compared through the Tukey test at 5% of probability. MD data followed the grade $MSI > MCI > MCV > MA$, in contrast to CH which presented the inverse sequence. Therefore MSI and MCI can cause soil degradation, even at lower CH. Only MCI presented CG higher than 4.3%, the critical value reference, at 0-20 cm.

Key words: compaction degree, normal Proctor, vinasse

¹ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, UFRPE

² DTR/UFRPE. Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife, PE. Fone: (81) 3320-6276. E-mail: verofat@dtr.ufrpe.br; rolim@dtr.ufrpe.br; romerofalcao@hotmail.com, elvira.pedrosa@dtr.ufrpe.br

³ DEC/UFRN. Campus Universitário, Lagoa Nova, CEP 59072-970, Natal, RN. Fone: (84) 3342-2496. E-mail: ydjcosta@ct.ufrn.br

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar ainda é a cultura de maior expressão econômica do Nordeste, sendo produzida em maior escala nos Estados de Pernambuco, Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte. Atualmente, o Estado de Alagoas vem se destacando como o maior produtor da região, superando Pernambuco. Esse aumento da produção de cana-de-açúcar se deve, entre outros fatores, sobretudo ao relevo que, apresenta áreas planas denominadas tabuleiros costeiros. O conhecimento do comportamento dos solos dos tabuleiros costeiros é muito importante para o Nordeste, pois apresentam grande potencialidade para o cultivo da cana-de-açúcar (Jacomine, 1996).

Segundo Jacomine (1996), em Alagoas, áreas de tabuleiros costeiros podem apresentar solos com horizontes subsuperficiais que apresentam consistência dura ou extremamente dura, quando secos, denominados solos coesos que, para Ribeiro (2001), se caracterizam por apresentar horizontes formados por adensamento pedogenético da camada subsuperficial, podendo variar entre 0,3 e 0,7 m de profundidade.

Maia & Ribeiro (2004) encontraram valores de microporosidade e densidade do solo superiores aos de mata nativa, causando o desenvolvimento de compactação nos horizontes Ap e AB, correspondentes às camadas de 0 a 18 e 18 a 34 cm, em um Argissolo Amarelo distrocoeso abrupto fragipânico em Alagoas, com 30 anos de cultivo contínuo de cana-de-açúcar. Verificaram, também, que nas camadas inferiores a 35 cm, o maior valor da densidade do solo foi no perfil mata nativa, demonstrando que se trata de adensamento pedogenético, característico dos Latossolos e Argissolos dos tabuleiros costeiros de Alagoas. A densidade dos horizontes coesos varia de 1,5 a 1,8 kg m⁻³, enquanto nos horizontes superficiais de 1,2 a 1,4 kg m⁻³, em condições sem cultivo (Araújo Filho et al., 2001).

A compactação do solo é um processo de densificação que leva ao aumento da resistência do solo à penetração, redução da porosidade, pela descontinuidade de poros, diminuição da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água. Esse processo afeta o crescimento e o desenvolvimento radicular, aumenta a densidade do solo, as perdas de nitrogênio por desnitrificação, o consumo de combustível das máquinas no preparo dos solos e a erosão do solo, pela menor infiltração de água (Soane & Ouwerkerk, 1994).

Assim, um dos principais indicadores da ocorrência do processo de compactação é a redução do tamanho dos poros, haja vista que a macroporosidade se forma pela união de agregados de maior diâmetro por forças eletrostáticas, pela atividade microbiana e crescimento de raízes. A estrutura do solo é modificada em função do manejo realizado, sendo que os macroagregados são destruídos e o solo apresenta uma estrutura maciça (Tavares Filho et al., 1999). Essa estrutura maciça pode impedir o crescimento de raízes e diminuir o volume de solo explorado pelo sistema radicular.

Para Hillel (1980), as atividades agrícolas só devem ser realizadas quando o solo apresentar a condição friável, que corresponde à faixa de umidade entre os limites de contração e plasticidade. Quando diminui a umidade no solo, o

efeito lubrificante da água entre as partículas cessa e, com isso, aumenta a pressão a ser exercida para expansão radicular, até a ocorrência de situações consideradas limitantes ao crescimento.

Para De'Fossez et al. (2003), a intensidade da compactação do solo é controlada por fatores como: conteúdo de água no preparo do solo, características dos rodados e cargas por eixo, sendo que o teor de água do solo é a variável que controla o momento ideal de preparo.

Por outro lado, a susceptibilidade à compactação depende de fatores externos e internos do solo. Os externos se relacionam com o tipo, intensidade, frequência e tempo de aplicação de uma carga. Os internos, com as classes granulométricas, tipo do mineral-argila, conteúdo de matéria orgânica, densidade do solo, agregação, conteúdo de água no solo, estabilidade estrutural e propriedades mecânicas (Soane et al., 1982; Horn, 1988; Dexter, 2004).

Diversos trabalhos têm mostrado que a umidade do solo é um dos fatores determinantes da susceptibilidade à compactação (Dias Júnior & Pierce, 1996; Silva et al., 2000) e que a adição de resíduos culturais pode diminuir a compactabilidade do solo (Gupta & Alemaras, 1987; Zhang et al., 1997); entretanto, poucas são as pesquisas utilizando resíduos líquidos como a vinhaça, como fonte de matéria orgânica para minimizar os efeitos da compactação (Silva, 2003).

Uma alternativa para avaliar a susceptibilidade à compactação de um solo é a utilização de ensaio de Proctor normal, para determinar a densidade máxima para uma umidade ótima ou umidade crítica (Vargas, 1977). O interesse sobre sua aplicação na Engenharia Agrícola tem sido recente (Barzegar et al., 2000; Dias Júnior & Miranda, 2000; Weirich Neto et al., 2002; Silva, 2003; Nhandumbo & Cambule et al., 2006; Mentges et al., 2007).

O grau de compactação ou compactação relativa é o resultado da razão entre a densidade do solo e a densidade máxima do solo, obtido após a compactação, e tem sido utilizado para representar o grau de consolidação dos constituintes do solo (Vargas, 1977). Esses parâmetros têm sido usados como indicadores de susceptibilidade à compactação do solo.

Objetivou-se, com o presente estudo, avaliar a susceptibilidade de um Argissolo Distrocoeso à compactação, através da densidade máxima e umidade crítica pelo ensaio de Proctor normal, e o grau de compactação relativa em diferentes manejos e uso de um solo cultivado com cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O solo estudado foi classificado como Argissolo Amarelo distrocoeso latossólico (EMBRAPA, 2006), textura média/argilosa, relevo plano, localizado na área da Usina Triunfo Agroindustrial, no município da Boca da Mata, Estado de Alagoas. A área em estudo está a 132 m de altitude e coordenadas geográficas de 09° 38' 27,6" de latitude sul e 36° 13' 12,0" de longitude oeste. O clima, segundo Köppen, é tropical com estação seca no verão (As). Os solos coesos se caracterizam por apresentarem horizontes formados por

adensamento pedogenético da camada subsuperficial, podendo variar entre 0,3 e 0,7 m de profundidade. O material de origem é constituído por sedimentos detríticos do Grupo Barreiras, que favorecem a formação dos horizontes coesos, fragipãs e duripãs (Jacomine, 1996). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica do Solo e Aproveitamento de Resíduos da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

A área estudada é composta de quatro subáreas, sendo a primeira – Área de mata (MA) – constituída de floresta subperenifólia, que engloba espécies vegetais de grande porte, 20 a 30 m de altura, com alta densidade vegetal. A segunda, manejada – Área de sequeiro, sem irrigação (MSI) – utilizada com cana-de-açúcar há mais de 30 anos. A terceira – Área irrigada (MCI) – sendo manejada há mais de 25 anos consecutivos mediante irrigação com aplicação de lâmina de 120 mm, em duas parcelas, durante o ciclo da cultura de cana-de-açúcar, além, da aplicação de 20 Mg ha⁻¹ de torta de filtro, por ocasião da renovação do canavial. A quarta manejada – Área de vinhaça (MCV) – sendo anualmente fertirrigada com 500 m³ ha⁻¹ de vinhaça diluída por ciclo de cultura há mais de 25 anos consecutivos.

Em todas as áreas manejadas, exceto a de mata, utilizou-se implementos de preparo convencional: grade pesada, seguida de grade leve, com posterior sulcagem a 25 cm de profundidade, sendo o plantio realizado manualmente. As três áreas estavam cultivadas com cana-de-açúcar, que se encontravam na mesma idade, e cada parcela (50 × 50 m) corresponde a um tipo de manejo. Em cada parcela foram sorteados (4) pontos de amostragem, sempre nas entrelinhas da cultura da cana-de-açúcar.

Para a realização dos ensaios foram coletadas amostras de solo nos locais sorteados nas quatro áreas de manejo em estudo, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, com quatro repetições, inclusive para os ensaios de Proctor. As amostras de solo deformadas pesaram entre 5 e 6 kg e foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 4,76 mm.

Realizou-se a análise granulométrica através do método do densímetro de Boyoucos, para determinação das frações areia e argila total, sendo o silte obtido por diferença, de acordo com EMBRAPA (1997).

A densidade de partículas (D_p) foi determinada pelo método do balão volumétrico. Para a determinação da densidade do solo inicial (D_{si}) foram utilizadas amostras indeformadas, retiradas por meio de anel, posteriormente secas em estufa a 105 °C, para a obtenção do peso seco que, dividido pelo volume do anel, determinou a densidade do solo. Os teores de carbono orgânico das amostras foram determinados utilizando-se fracionamento químico e procedendo-se com a oxidação via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, seguida da titulação com sulfato ferroso amoniacal. Os dados foram multiplicados pelo fator 1,724 para a obtenção da matéria orgânica (MO), segundo EMBRAPA (1997).

O ensaio de Proctor normal consistiu em compactar uma amostra deformada previamente preparada, de acordo com a metodologia preconizada pela norma ABNT (1986). Atra-

Tabela 1. Análise granulométrica do Argissolo Amarelo distrocoeso, em diferentes sistemas de manejo e profundidades sob cultivo de cana-de-açúcar

Profundidade (cm)	Granulometria		
	Areia	Silte	Argila
g kg ⁻¹			
Mata nativa (MA)			
0 - 20	717,4	56,0	226,6
20 - 40	663,7	62,8	273,5
40 - 60	552,8	36,2	411,0
Manejo sem irrigação (MSI)			
0 - 20	677,5	80,3	242,2
20 - 40	581,2	47,8	371,0
40 - 60	553,7	42,8	403,5
Manejo com irrigação (MCI)			
0 - 20	701,4	53,9	244,7
20 - 40	668,6	67,2	264,2
40 - 60	606,2	40,3	353,5
Manejo com vinhaça (MCV)			
0 - 20	722,5	64,3	213,2
20 - 40	715,2	18,8	266,0
40 - 60	674,2	20,3	305,5

vés do ensaio determina-se a densidade máxima (D_{smax}) de compactação do solo, em função da umidade crítica (U_c) que, segundo Mentges et al. (2007), é a umidade em que não se deve trafejar com máquinas agrícolas. O grau de compactação do solo (GC) foi determinado pela relação entre a densidade do solo e a densidade máxima de compactação, obtida nos 48 ensaio de Proctor normal.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, no esquema fatorial, com quatro tratamentos, três profundidades e quatro repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as diferenças entre médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o programa SAEG (2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se que o solo apresenta baixos teores da fração argila e elevados teores da fração areia (Tabela 1). Entretanto, os teores de argila tendem a aumentar com a profundidade e o inverso acontece com a areia. Este comportamento pode ser atribuído principalmente à translocação de argila do horizonte A e sua acumulação no horizonte B, corroborando com os achados de Carvalho et al. (1999).

Com relação à variável matéria orgânica (Tabela 2), o tratamento mata (MA) apresentou os maiores teores em todas as profundidades estudadas, diferindo estatisticamente dos demais manejos. Enquanto o tratamento MCV foi o que mais se aproximou da condição de MA, mesmo sendo estatisticamente diferente, seguidos dos tratamentos MSI e MCI. A vinhaça e a torta de filtro, aplicadas durante os 25 anos consecutivos, provavelmente contribuíram para a manutenção dos teores de matéria orgânica, principalmente nos primeiros 20 cm de profundidade do solo.

Perin et al. (2003), trabalhando com dois Latossolos Ver-

melhos distróficos de textura argilosa e um outro de textura média, constataram declínio no teor de matéria orgânica com o tempo de uso agrícola, principalmente no horizonte A. Originalmente, o solo apresentava 30 g kg⁻¹ de MO no horizonte A (0 a 15 cm de profundidade), entretanto nos perfis com mais de 33 anos de uso agrícola, o teor foi reduzido para 23 g kg⁻¹. Carvalho et al. (1999), trabalhando em um Argissolo sob diferentes sistemas de manejo, concluíram que o preparo do solo com grade pesada acarreta compactação superficial e redução dos teores de matéria orgânica na camada de 0-15 cm, dados estes que corroboram com os achados do presente estudo. Para a profundidade entre 20 e 40 cm houve diferença significativa entre os três manejos e a condição MA, sem, contudo, diferirem entre si. Entre 40 e 60 cm, só houve diferença em relação a MA para os manejos MSI e MCI. Segundo Silva et al. (2006), a dificuldade na manutenção de níveis elevados de matéria orgânica nos solos da regiões tropicais é devido as elevadas temperaturas, umidade e revolvimento do solo, que estimulam sua decomposição pela atividade microbiana.

Tabela 2. Matéria orgânica de um Argissolo Amarelo distrocoeso, em diferentes sistemas de manejo e profundidades sob cultivo de cana-de-açúcar

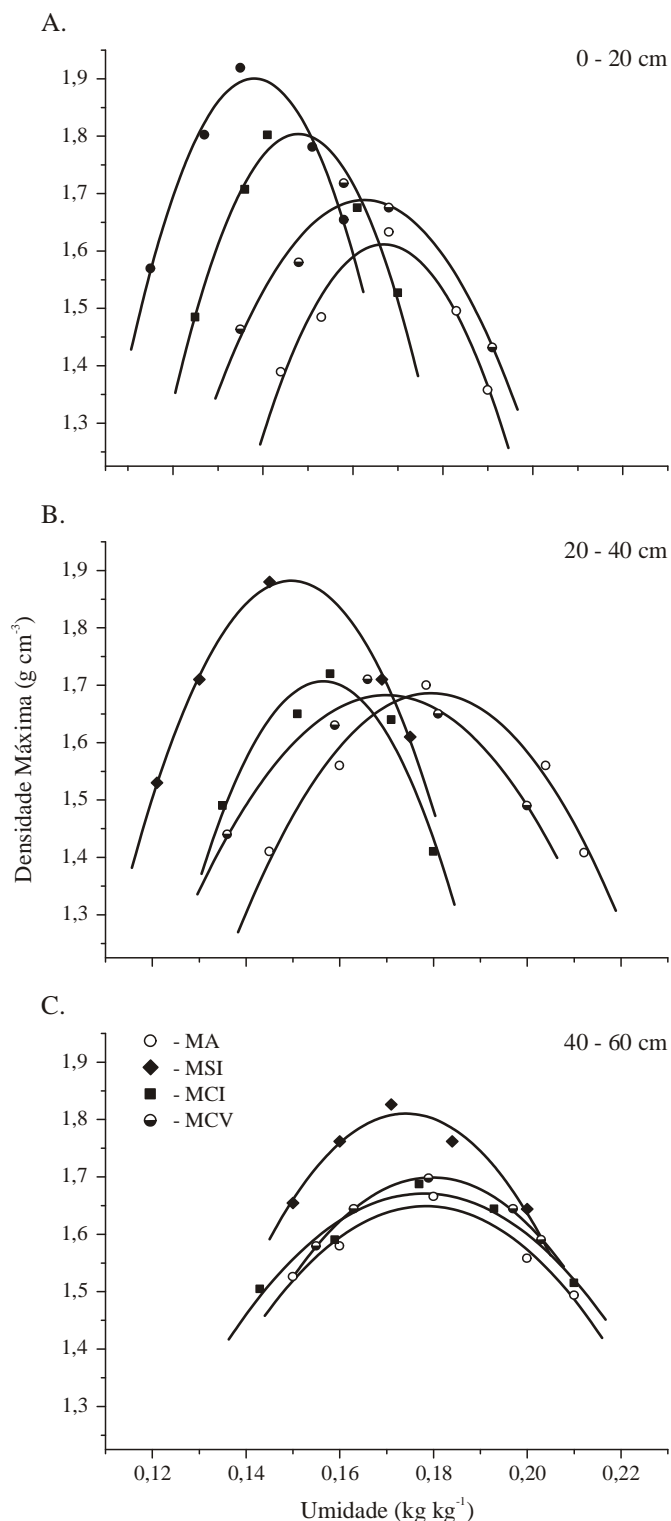
Profundidade (cm)	MO (g kg ⁻¹)			
	MA	MSI	MCI	MCV
0 - 20	33 Aa	15 Da	19 Ca	26 Ba
20 - 40	28 Ab	10 Cb	13 BCb	17 BCb
40 - 60	19 Ac	8 BCb	10 BCb	15 Ab

Letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna comparam diferenças entre os tratamentos para cada profundidade de manejo, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Média de quatro repetições. Manejos: MA – Mata nativa; MSI – Manejo sem irrigação; MCI – Manejo com irrigação; MCV – Manejo com vinhaça

Na Figura 1 estão dispostas as curvas de compactação do Argissolo Amarelo distrocoeso para os diferentes manejos e profundidades, bem como os coeficientes da equação $Y = ax^2 + bx + c$ e o seu R² (Tabela 3). O tratamento MA apresentou menor valor para a densidade máxima de compactação (Dsmax) e maior valor para a umidade crítica (Uc), quando comparado aos demais manejos. Esses dados são concordantes com os resultados encontrados por Dias Júnior & Miranda (2000), Assis (2002), Silva (2003) e Braida et al. (2006), que observaram também redução da Dsmax e aumento da Uc de compactação do solo, trabalhando com manejos.

O tratamento MSI apresentou a maior Dsmax, em relação à condição MA. Houve um aumento na Dsmax de 14,11% para o MSI e de 8,59% para o MCI, na profundidade de 0-20 cm (Figura 1A). Entretanto, a condição MA e a manejadas com vinhaça apresentaram menores valores de Dsmax de compactação, provavelmente devido à maior presença de matéria orgânica, principalmente na camada superficial entre 0-20 cm.

A influência da matéria orgânica na curva de compactação é muito importante, devido ao seu poder de absorção de água, o que dificulta a compactação do solo (Dias Júnior, 2000). Braida et al. (2006), utilizando ensaio de Proctor, verificaram ser menor a susceptibilidade à compactação de um solo, à



MA – Mata nativa; MSI – Manejo sem irrigação; MCI – Manejo com irrigação; MCV – Manejo com vinhaça

Figura 1. Curvas de compactação do solo (Dsmax × Uc) das diversas áreas manejadas nas profundidades de 0-20 (A), 20-40 (B) e 40-60 cm (C)

medida que cresce a quantidade de material orgânico existente no solo. Em geral, observa-se que, para um mesmo nível de energia, quanto maior o teor de matéria orgânica do solo, menor é o valor de densidade máxima de compactação obtida e maior é o teor de água necessário para atingí-lo.

Tabela 3. Coeficientes da equação $Y = ax^2 + bx + c$, para o cálculo de D_{smax} e U_c de um Argissolo Amarelo Distrocóeso, nos diferentes sistemas de manejo, nas profundidades de 0-20, 20-40 40-60 cm

Sistema de Manejo	Coeficiente ($Y = ax^2 + bx + c$)			R^2
	a	b	c	
0 - 20 cm				
MA	-435,77	145,44	-10,54	0,95
MSI	-596,90	164,79	-9,51	0,98
MCI	-564,82	167,13	-10,57	0,99
MCV	-297,20	96,638	-6,19	0,95
20 - 40 cm				
MA	-244,69	87,87	-6,20	0,96
MSI	-432,29	129,35	-7,79	0,99
MCI	-496,40	155,36	-10,45	0,94
MCV	-212,32	72,50	-4,48	0,97
40 - 60 cm				
MA	-150,68	53,74	-3,14	0,95
MSI	-240,78	83,83	-5,50	0,96
MCI	-136,20	48,47	-2,65	0,95
MCV	-183,04	65,79	-4,22	0,99

MA – Mata nativa; MSI – Manejo sem irrigação; MCI – Manejo com irrigação; MCV – Manejo com vinhaça

Analisando os dados de umidade crítica entre os sistemas de manejo, observa-se o efeito da matéria orgânica no acréscimo de umidade apenas no MCV, que apresentou valores próximos aos de MA, não diferindo estatisticamente. Entretanto, os MSI e MCI diferiram significativamente em relação aos manejos que apresentaram maiores teores de matéria orgânica. Para Camargo & Alleoni (1997), a grande capacidade de retenção de água da matéria orgânica reduz a quantidade de água retida pela matriz do solo, sendo necessário uma maior quantidade para que a densidade máxima de compactação seja atingida.

O comportamento quanto à susceptibilidade do solo nos manejos estudados obedeceu a seguinte ordem: MSI (sequeiro) < MCI (irrigado) < MCV (vinhaça) < MA (mata), tendo em vista que a umidade crítica de compactação acompanhou a ordem decrescente MSI (sequeiro) < MCI (irrigado) < MCV (vinhaça) < MA (mata). Assim, com base nos resultados, pode-se esperar que o manejo na condição de MSI (sequeiro) apresente maior susceptibilidade à compactação a umidades mais baixas do que os demais manejos.

Observaram-se efeitos significativos dos tratamentos nos sistemas de manejo: MA, MSI, MCI, MCV com a profundidade sobre a densidade do solo, não sendo contudo, significativo para o grau de compactação (Tabela 4).

Com relação ao manejo, houve um aumento significativo nos valores de densidade do solo nos três sistemas de manejos cultivados durante 25 anos com cana-de-açúcar, na profundidade de 0-20 cm, em relação ao solo da mata nativa (Tabela 4 e Figura 2). Esse aumento está relacionado à utilização intensiva de máquinas agrícolas nas operações de preparo, cultivo e colheita nas áreas cultivadas, muitas vezes realizadas em condições inadequadas de umidade. Trabalho realizado por Silva (2003) também evidenciou aumento de densidade do solo.

Com relação à profundidade, os valores de densidade do solo inicial foram menores, com diferença estatisticamente

Tabela 4. Valores de densidade do solo inicial e o grau de compactação para os diferentes sistemas de manejos e profundidades

Prof.	Sistema de manejo				
	MA	MSI	MCI	MCV	Média
Densidade do solo inicial ($g\ cm^{-3}$)					
0 - 20	1,27 Bb	1,61 Aa	1,59 Aa	1,42 Ba	-
20 - 40	1,42 Ba	1,62 Aa	1,63 Aa	1,54 Aa	-
40 - 60	1,48 Ba	1,49 Ba	1,61 Aa	1,50 Ba	-
Grau de compactação (%)					
0 - 20	78,08	85,49	89,75	81,17	83,63 b
20 - 40	83,94	85,53	95,76	89,24	88,62 a
40 - 60	89,39	81,80	95,91	87,96	88,77 a
Média	83,80 B	84,27 B	93,81 A	86,90 B	-

Letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna comparam diferenças entre os tratamentos para cada profundidade de manejo, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Média de quatro repetições. Manejos: MA – Mata nativa; MSI – Manejo sem irrigação; MCI – Manejo com irrigação; MCV – Manejo com vinhaça

significativa, na profundidade de 0-20 cm, em relação a 20-40 cm, para o tratamento MA; nos demais manejos não houve diferença estatística. Com exceção da mata, todos os manejos aumentaram a D_{si} entre as profundidades de 20-40 e 40-60 cm. Este comportamento é devido à menor presença de matéria orgânica nessas profundidades, que diminui a densidade do solo e favorece a estruturação do solo.

Na profundidade de 20-40 cm, embora tenha havido aumento nos valores absolutos entre os sistemas de manejo, não houve diferença estatística. Este comportamento pode ser explicado por já existir, nesta profundidade, o caráter coeso, característico deste solo. Vale salientar que o aumento dos valores absolutos da densidade do solo em relação à condição natural se deve não somente ao caráter coeso, presente na profundidade entre 0,3 e 0,7 m, mas à compactação do solo, tanto pelo preparo do solo, como pela colheita realizada, muitas vezes, em condições inadequadas de umidade do solo.

Para a profundidade de 40 a 60 cm o caráter coeso ficou evidenciado, principalmente para os manejos MA, MSI e MCV, que não apresentaram diferença significativa entre si.

As áreas com os sistemas MSI e MCI foram as que apre-

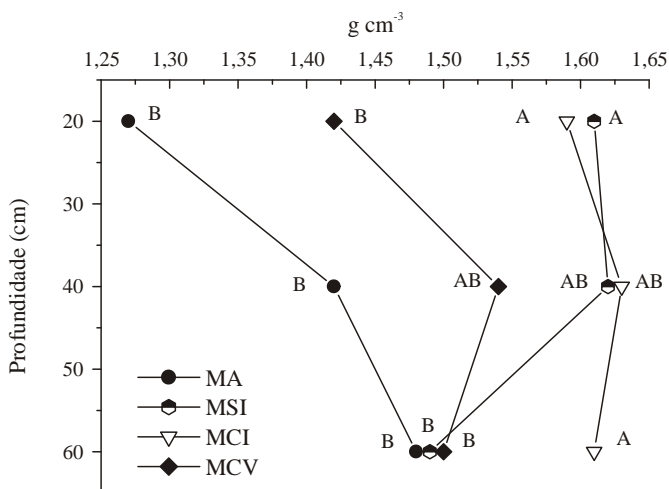


Figura 2. Efeitos dos sistemas de manejos de solos: MA – Mata nativa; MSI – Manejo sem irrigação; MCI – Manejo com irrigação; MCV – Manejo com vinhaça, sobre a densidade do solo (D_{si}). Letras em cada profundidade indicam diferenças significativas (Tukey, $P < 0,05$)

sentaram maiores valores de densidade do solo, com diferença estatisticamente significativa, na profundidade de 0-20 cm em relação à mata nativa, comprovando o efeito do tráfego de máquinas nas áreas cultivadas, por ocasião das operações de cultivo da cana-de-açúcar.

O grau de compactação do solo (GC) (Tabela 4), nos diferentes tratamentos variou de 78,08 a 95,91%. O sistema de manejo e o tráfego influenciaram decisivamente o comportamento das áreas em estudo. O manejo que apresentou a maior média foi o irrigado, variando na profundidade de 0-20 cm, 14,94% em relação à mata. Este fato pode ser explicado pela presença de maior teor de água, devido à irrigação nos períodos das operações de cultivo, o que propiciou um maior incremento na densidade do solo, contribuindo assim para o aumento do grau de compactação do mesmo.

Os limites do grau de compactação foram estabelecidos por Linstrom & Voorhess (1994), que consideraram elevados os valores acima de 86%, sendo prejudiciais ao desenvolvimento e rendimento das culturas. Observa-se que apenas no manejo MCI – irrigado o valor foi superior em 4,3% do valor crítico de referência, na profundidade de 0-20 cm, (Tabela 4), enquanto nos manejos de sequeiro, vinhaça e na condição de mata natural os valores ficaram abaixo do limite considerado crítico. Segundo Linstrom & Voorhess (1994), valores superiores ao limite crítico podem afetar negativamente a produtividade de certas culturas, devido ao aumento do número de macroporos. Segundo Assis (2002), o grau de compactação não é suficiente para diagnosticar o efeito dos atributos físicos no solo sobre a planta, entretanto pode ser considerado como um indicador de prováveis limitações ao desenvolvimento das culturas.

CONCLUSÕES

1. Os valores das densidades máximas do solo obedeceram a seguinte ordem crescente quanto à susceptibilidade dos manejos à compactação do solo: Manejo sem irrigação (MSI) > Manejo com irrigação (MCI) > Manejo com vinhaça (MCV) > Mata nativa (MA), enquanto a umidade crítica de compactação acompanhou a mesma ordem, porém de forma decrescente.

2. Os solos onde se encontram as condições manejo sem irrigação (MSI) e manejo com irrigação (MCI) podem sofrer degradação através da compactação, mesmo com teores de umidade mais baixos, necessitando de maiores cuidados quanto ao preparo do solo e a colheita da cana-de-açúcar.

3. Apenas no manejo com irrigação (MCI) o valor do grau de compactação foi superior, em 4,3%, ao valor crítico de referência, na profundidade de 0-20 cm. Entretanto, apenas a utilização do valor do grau de compactação não é suficiente para caracterizar a compactação do solo.

LITERATURA CITADA

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182: Solo. Ensaio de compactação NBR 3. Rio de Janeiro, ABNT. 1986. 11p.

- Araújo Filho, J. C.; Carvalho, J.; Silva, F. B. R. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos dos tabuleiros do Nordeste do Brasil. In: Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 2001. Anais... Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.123-142.
- Assis, R. L. Avaliação dos atributos físicos e da compressibilidade de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. Botucatu: UNESP, 2002. 141p. Tese Doutorado
- Barzegar, A. R.; Asoodarb, M. A.; Ansaria, M. Effectiveness of sugarcane residue incorporation at different water contents and the Proctor compaction loads in reducing soil compactibility. *Soil & Tillage Research*, v.57, n.3, p.167-172, 2000.
- Braida, J. A.; Reichert, J. M.; Veiga, M.; Reinert, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.605-614, 2006.
- Camargo, O. A.; Alleoni, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.
- Carvalho, E. J. M.; Figueiredo, M. S.; Costa, L. M. Comportamento físico-hidro de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.257-65, 1999.
- De'Fossez, P.; Richard, G.; Boizard, H.; O'Sullivan, M. F. Modeling change in soil compaction due to agricultural traffic as function of soil water content. *Geoderma*, v.116, n.1-2, p.89-105, 2003.
- Dexter, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, v.120, n.3-4, p.201-214, 2004.
- Dias Júnior, M. S. Compactação do solo. In: Novais, R. F.; Alvarez V. V. H., Schaefer, C. E. G. R. Trópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.55-94.
- Dias Junior, M. S.; Miranda, E. E. V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG). *Ciência Agrotecnologia*, v.24, n.2, p.337-346, 2000.
- Dias Junior, M. S.; Pierce, F. J. O. Processo de compactação do solo e sua modelagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.20, p.175-182, 1996.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 2.ed. 212p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 2.ed. 306p.
- Gupta, S. C.; Allmaras, R. R. Models to the susceptibility of soils to excessive compaction. *Advances in Soil Science*, v.6, p.5-10, 1987.
- Hillel, D. Fundamentals of soil physics. New York: Academic Press, 1980. 413p.
- Horn, R. Compressibility of arable lands. In: Drescher, J.; Horn, R.; De Boodt, M. (ed.). Impact of water and external forces on soil structure. Cremligen-Destedt, Catena, 1988. p.53-71. Suplemento 11
- Jacomine, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação de solos 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/CNPMPF/IGUFBA, 1996. p.13-24.

- Linstron, M. J.; Voorhees, W. B. Responses of temperate crops in North America to soil compaction. In: Soane, B. D., van Ouwerkerk, C. Soil compaction in crop production. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.265-86. Developments in agricultural engineering, 2.
- Maia, J. L. T.; Ribeiro, M. R. Propriedades de um Argissolo Amarelo fragipânico de Alagoas sob cultivo contínuo da cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, p.79-87, 2004.
- Mentges, M. I.; Fontanela, E.; Reichert, J. M.; Reinert, D. J.; Suzuki, L. E. A. S. Densidade máxima pelo ensaio de Proctor normal para seis solos em diferentes manejos e sua relação com o teste de compressão axial. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31, 2007, Gramado. Resumos... Gramado: SBCS, 2007. CD-Rom
- Nhantumbo, A. B. J. C.; Cambule, A. H. Bulk density by proctor test as a function of texture for agricultural soils in Maputo province of Mozambique. Soil & Tillage Research, v.87, n.2, p.231-239, 2006.
- Perin, E.; Ceretta, C. A.; Klamt, E. Tempo de uso agrícola e propriedades químicas de dois Latossolos do planalto médio do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.665-674, 2003.
- Ribeiro, M. R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos de tabuleiros costeiros. In: Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros, 2001, Aracaju. Anais... Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.161-190.
- SAEG – Sistema para análises estatísticas, versão 9,0. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 2005.
- Silva, A. J. N. Alterações físicas e químicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 120p. Tese Doutorado
- Silva, A. J. N.; Cabeda, M. S. V.; Carvalho, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistema de manejo com cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.3, p.579-585, 2006.
- Silva, V. R.; Reinert, D. J.; Reichert, J. M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho Escuro e de um Podzólico Vermelho Amarelo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, n.2, p.239-349, 2000.
- Soane, B. D.; Dickson, J. W.; Campbell, D. J. Compaction by agricultural vehicles: A review. III – Incidence and control of compaction in crop production. Soil & Tillage Research, v.2, n.2, p.3-36, 1982.
- Soane, B. D.; Ouwerkerk, C. van. Soil compaction problems in world agriculture. In: Soil compaction in crop production. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.1-21.
- Tavares Filho, J.; Ralisch, R.; Guimarães, M. F.; Medina, C. C.; Balbino, L. C.; Neves, C. S. V. J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, n.2, p.393-399, 1999.
- Vargas, M. Introdução à mecânica dos solos. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil, 1977. 509p.
- Weirich Neto, P. H. W.; Da Rosa, A. L. T.da.; Gomes, J. A. Suscetibilidade de dois solos à compactação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, p.349-352, 2002.
- Zhang, H.; Hartge, K. H.; Ringe, H. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactibility. Soil Science Society America Journal, v.61, p.239-245, 1997.