Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Sistema de preparo de solo em área de reforma de canavial e as alterações físicas do solo

Tillage system in sugarcane fields retirement area and the physical changes of the soil

Monyke Caceres Martins Cabral[1], Laércio Alves Carvalho[1], Elaine Novak[1], Cristiane Davis Silva Schicarelli[1]

[1]Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cidade Universitária de Dourados, Rod. Dourados-Itahum, Km 12 - C.P. 351, CEP: 79804-970, Dourados, MS. E-mail: monykemartins@gmail.com

Recebido em: 07/07/2014 Aceito em: 17/04/2015

Rresumo. O alto tráfego de máquinas da cultura de cana-de-açúcar pode levar a compactação do solo. Tendo em vista isso, o presente estudo, teve como objetivo avaliar os atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico órtico do Cerrado Sul-mato-grossense após preparo para reforma de canavial e sua relação com a produtividade. Os cinco tratamentos do solo foram: 1-subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; 2-aração com arado aiveca + gradagem niveladora; 3-subsolagem em área total + gradagem niveladora; 4-subsolagem em área total; e 5-gradagem intermediária. Para determinação dos atributos físicos do solo, amostras deformadas e indeformadas de solo foram coletadas 20 meses após o preparo do solo nas camadas de 0,15-0,25 m e 0,25-0,35 m. Avaliou-se a textura do solo, densidade de partícula, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, resistência do solo à penetração e densidade relativa. Para a obtenção dos resultados, realizou-se comparação de médias a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, através do delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas e cinco repetições. A avaliação das amostras de preparo do solo com combinações entre subsolagem na linha de plantio + grade niveladora; arado de aiveca + grade niveladora ou subsolagem em área total + grade niveladora proporcionaram melhor composição da estrutura física do solo, verificando um melhor desempenho na produtividade da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: compactação do solo, física do solo, preparo do solo, *Saccharum* spp.

Abastract. The high mechanized cultivation of sugar cane may lead to compaction of the soil. In view of this, the present study aims to evaluate the physical properties of a Typic Orthic Quartzarenic the Cerrado of Mato Grosso do Sul after mechanical preparation for reform of sugar cane and its relationship with productivity. The five soil treatments were: 1-subsoiling at planting + leveling harrow line; 2-moldboard plowing plow plowing + leveling , 3-subsoiling in full harrow + leveling area; 4-subsoiling in total area, intermediate and 5-harrowing. To determine the physical attributes of the soil, disturbed and undisturbed soil samples were collected 20 months after tillage layers of 0.15-0.25 0.25-0.35 m me . We evaluated the soil texture, particle density, bulk density, total porosity, macro and micro, soil penetration resistance and relative density. To obtain these results, we performed comparison of means at 5% probability by Tukey test, using the completely randomized split plot with five replications. The evaluation of samples of soil tillage with combinations of subsoiling in planting harrowing + line; moldboard plowing + harrowing and subsoiling in total area + grade graders showed improved physical composition of the soil structure, verifying a better performance on the productivity of cane sugar.

Keywords: physical soil, *Saccharum* spp., soil compaction, soil preparation

Introdução

A consagração agroindustrial vinda com a crise do petróleo em 1973 proporcionou a criação do Proálcool, em 1975, visando diminuir a dependência de importação de combustíveis derivados de petróleo, que oneravam a balança comercial do Brasil (Natal & Netto, 2007), prestando grande contribuição ao desenvolvimento tecnológico do setor sucroalcooleiro no país.

A expansão da agroindústria canavieira, relacionada às favoráveis perspectivas do mercado internacional do álcool como fonte renovável de energia, suas vantagens quando comparado ao petróleo e, ainda, as boas condições da

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

comercialização do açúcar na indústria alimentícia, despertou o interesse de investimentos internacionais nesse setor no território brasileiro, bem como sua expansibilidade (Novaes, 2007).

No Estado de Mato Grosso do Sul estão sendo estruturadas normas e acordos nos municípios para a proibição da prática da queima nos canaviais, o que vem resultando na adoção de novas metodologias pelas indústrias sucroalcooleiras para a retirada da cana-de-açúcar do solo com uso intensivo da mecanização nos canaviais. Em consequência, pode resultar em modificação das propriedades físicas do solo, contribuindo, assim, para possível compactação do mesmo (Souza et al., 2012).

Entre as operações para eliminar possíveis problemas de compactação destaca-se o preparo de solo, que rompe as camadas compactadas, favorecendo o desenvolvimento inicial da cultura e criando condições ideais para o desenvolvimento das raízes, visando longevidade das culturas (Tavarez et al., 2010). A subsolagem é uma das operações utilizadas no preparo do solo, tanto para o plantio quanto para o cultivo de soqueiras, que visa o rompimento de camadas compactadas em subsuperfície.

Para Carvalho et al. (2011) o preparo de solo para implantação do canavial representa uma etapa crucial na longevidade da cultura, em que o solo será novamente revolvido após o quinto ou sexto corte de cana-de-açúcar dependendo da variedade e/ou produtividade. Vieira & Klein (2007) afirmam que dentre os componentes de manejo, o preparo do solo é a atividade que mais influencia nos atributos físicos, por alterar sua estrutura e podendo modificar variáveis relacionadas (Vieira, 1985). Dessa forma, a realização de um bom preparo inicial do solo pode interferir de forma positiva ou negativa, dependendo da forma de manejo.

A fim de reduzir a compactação ocasionada pelas operações de corte, carregamento e transporte, na colheita mecanizada deve ser feito planejamento para a escolha do sistema de preparo de solo em cada ambiente de produção. Diante do exposto o trabalho teve o objetivo avaliar o comportamento do solo e da cana-de-açúcar em cinco diferentes sistemas de preparo, numa área de reforma de canavial em um Neossolo Quartzarênico órtico.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no município de Rio Brilhante, MS, Brasil (21º50'S, 53º57'W) em um Neossolo Quartzarênico órtico (Embrapa, 2006). O clima foi classificado como Aw conforme *Köppen-Geiger*, com precipitação média anual variando de 1.500 a 1.700 mm (Figura 1).

O preparo do solo foi realizado em outubro de 2010, em área anteriormente explorada com cana-de-açúcar sob o sistema de colheita mecanizada com seis cortes sucessivos. Pela necessidade de reforma do canavial, foram instalados os tratamentos com cinco sistemas de preparo do solo no momento em que a usina realizou esta operação para em seguida realizar o plantio da cultura da cana-de-açúcar, após a dessecação com herbicida da soqueira: SlG – subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; AG – aração com arado aiveca + gradagem niveladora; StG – subsolagem em área total + gradagem niveladora; ST – subsolagem em área total; e GI – gradagem intermediária. O plantio da variedade RB855156, a qual se destaca pela ótima capacidade de brotação e alta precocidade, foi realizado com espaçamento de 1,5 m entrelinhas. A correção química do solo foi realizada durante a realização do preparo do solo, de acordo com a necessidade do solo, obtida em análise química. Todas as operações de preparo de solo foram realizadas ao mesmo dia, estando o solo próximo à faixa de friabilidade.

A coleta de amostras foi realizada 20 meses após o preparo do solo. Na avaliação dos atributos físicos do solo, cada ponto foi coletado em uma área nos respectivos tratamentos com locações distantes 20 m entre si e em uma subárea útil demarcada de 200 m^2 nas camadas de 0,15-0,25 m e 0,25 a 0,35 m de profundidade. Para as amostragens, utilizou-se da entrelinha, distanciado 0,30 m da linha de cultivo e em todas as áreas observou-se um relevo plano. As amostras com estrutura deformada foram coletadas em cada sistema de preparo em cinco pontos distintos para análise granulométrica, densidade de partícula e a densidade do solo relativa por meio da densidade do solo máxima obtida pelo ensaio de *Proctor* normal. Foram utilizados 25 kg de solo de uma amostra composta em cinco pontos de amostragem por meio da abertura de trincheiras com dimensões de 0,50m (L) x 0,50m (C) x 0,50m (P). Foram utilizadas amostras indeformadas com objetivo da avaliação da densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, coletadas com auxílio de amostrador de Uhland e anéis de aço (Kopecky) de bordas cortantes e volume interno de 100 cm^3.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

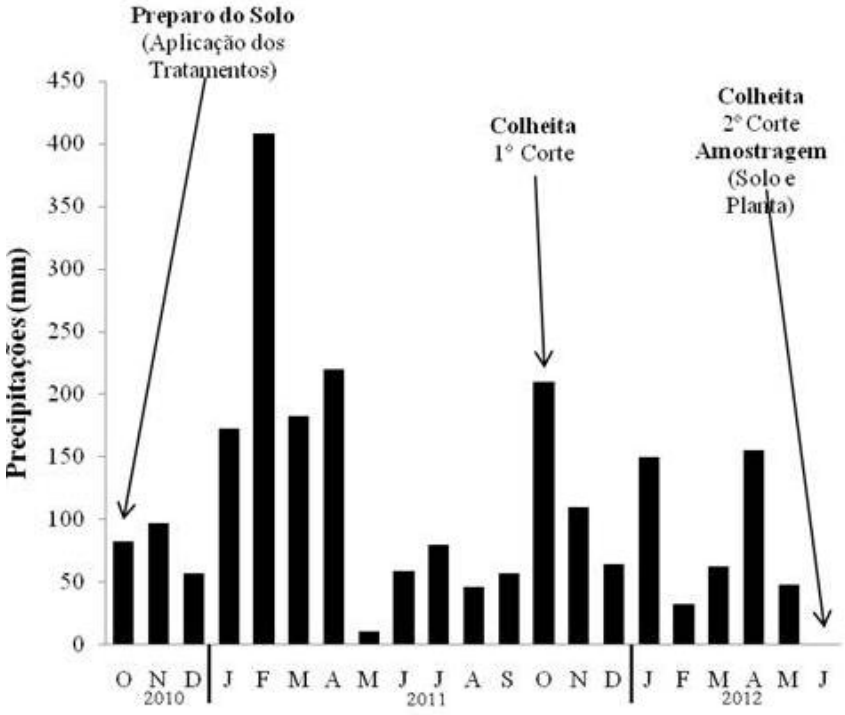

Figura 1. Valores médios mensais de precipitação pluvial na área do experimento. As letras iniciais representam cada mês, de jan. até dez.

Calculou-se a porosidade (total, macro e microporosidade) como o conteúdo de água em solo submetido à saturação por capilaridade com imersão de aproximadamente ¾ dos cilindros em bandejas de plástico com água. O tempo de preenchimento dos poros foi de 48 horas, onde as amostras foram submetidas à tensão de -0,006 MPa para determinação da microporosidade (poros < 50 µm Ø) e capacidade de campo do solo (Oliveira et al., 2003) utilizando uma mesa de tensão adaptada de Kiehl (1979).

A resistência do solo à penetração foi avaliada em duas situações e com dois aparelhos. Utilizando as amostras indeformadas foram aferidas as medidas com a umidade na capacidade de campo (Rp_{cc}) com penetrômetro eletrônico de bancada, modelo MA933, dotado de variador eletrônico de velocidade e sistema de registro de dados (Tormena et al., 2007), com três mensurações na superfície do solo de cada anel. A resistência do solo à penetração também foi medida nas condições de campo, com o controle da umidade na amostragem (Rp), utilizando o método gravimétrico de determinação. Para isso foi utilizado um penetrômetro eletrônico Falker, modelo penetrolog PLG1020.

O ensaio de *Proctor* normal foi realizado com aparelho da marca Soiltest modelo CN4230, sendo a amostra compactada em anel metálico de 0,001 m^3, por meio de um soquete com massa de 2,5 kg, com aplicação de 25 golpes por corpo de prova, em uma altura de queda livre de 0,305 m, semelhante ao que é preconizado na Norma Técnica ABNT/NBR 7182/86 (ABNT, 1986).

O resultado da produção agrícola foi expresso em toneladas de colmos por hectare (TCH) por meio do corte manual da estrutura da parte aérea na área útil da parcela. Os atributos tecnológicos, açúcares totais recuperáveis (ATR), pureza do caldo (PZA), açúcares polarizáveis da cana (PC), açúcares polarizáveis (POL) e a porcentagem de fibra foram determinados em laboratório de análise Tecnológica da Usina.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, ANOVA, seguindo delineamento fatorial, no qual a parcela principal foi constituída pelos preparos de solo e as subparcelas, pelas profundidades analisadas. Os resultados foram submetidos à análise de variância com 5% de probabilidade, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

Resultados e Discussão

O solo da área de estudo apresentou textura franco-arenoso, mesmo ocorrendo variação nos

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

conteúdos de argila, silte e areia nas áreas de cada sistema de preparo (Tabela 1). Quando o resultado no teor de argila foi menor, houve tendência à classe textural franco-arenoso.

Tabela 1. Características granulométricas, densidade de partícula (Dp), densidade do solo máxima (Dsmáx) e umidade ótima de compactação (Ugót) médios observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferentes sistemas de preparo.

Sistema de Preparo[(1)]	Argila	Silte (g kg^{-1})	Areia	Dp	Ds_{Max} (Mg m^{-3})	$Ug_{ót}$ (kg kg^{-1})
SlG	153abA[(2)]	51aA[(2)]	795aA[(2)]	2,62	1,79	0,12
AG	133 abB	62 aA	803 aA	2,62	1,97	0,11
StG	119 bA	75 aA	805 aA	2,73	1,92	0,11
ST	167 aA	79 aA	752 bA	2,69	1,92	0,11
GI	133 bB	64 aA	801 aA	2,70	1,92	0,11
SlG	151abA[(2)]	56 aA	792 abA	2,64	1,88	0,12
AG	158 abA	68 aA	773 bcB	2,73	1,92	0,12
StG	132 bA	61 aA	806 aA	2,65	1,99	0,11
ST	170 aA	74 aA	754 cA	2,71	1,90	0,10
GI	181 aA	53 aA	764 bcB	2,68	1,90	0,11
F [(preparo)]	6,70**	2,29^{ns}	12,79**	1,20^{ns}	-	-
F [(camada)]	11,84**	0,86^{ns}	9,52**	0,22^{ns}	-	-
DMS [(preparo)]	34,03	31,39	29,41	0,13	-	-
DMS [(camada)]	23,80	21,18	20,17	0,09	-	-
CV [(preparo)]	13,05	28,57	2,19	2,87	-	-
CV [(camada)]	12,01	24,73	1,95	2,72	-	-

^{ns}, * e **, não significativo, significativo a 1 e 5%, respectivamente. [(1)] SlG: subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; AG: arado aiveca + gradagem niveladora; StG: subsolagem em área total + gradagem niveladora; ST: subsolagem em área total, e; GI: gradagem intermediária. [(2)] Letras minúsculas referem-se à comparação de tratamentos numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento pelo teste de Tukey (P<0,05).DMS: diferença mínima significativa. CV: coeficiente de variação.

Pelo tamanho das áreas, é possível que apresente algumas variações em termos de granulometria, comprovado pelas diferenças significativas nos conteúdos de argila e areia. No entanto, os valores superiores de argila em camada subsuperficial devem ser atribuídos principalmente à translocação de argila do horizonte A e à sua acumulação no horizonte B (Oliveira et al., 2010). Os valores médios da densidade de partícula pouco variaram, indicando homogeneidade das áreas nessa característica do solo. As pequenas variações ocorridas podem estar relacionadas ao teor de carbono orgânico no solo (Viana et al., 2011).

Pelas derivadas das equações (R^2>0,71) foram obtidas a densidade máxima do solo ($Ds_{máx}$) e a umidade gravimétrica ótima ($Ug_{ót}$), observando-se um distanciamento das curvas de compactação do solo na $Ds_{máx}$ sob as diferentes condições de preparo do solo, ainda que com a ocorrência da mesma classe textural para todas as áreas estudadas (Tabela 2). Brady (2002) relata que a redução da densidade do solo e da $Ds_{máx}$ ocorre com o aumento do teor de matéria orgânica, sendo que também pode aumentar a $Ug_{ót}$. Nas condições do trabalho, a $Ug_{ót}$ permaneceu com pouca alteração nos valores (0,10 a 0,12 kg kg^{-1}). Assim, foi verificado que para todos os sistemas de preparo, a densidade do solo máxima ocorrerá quando houver tráfego de maquinários com as condições de umidade elevada.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Tabela 2. Coeficientes de ajuste de um polinômio de 2° grau (Ds = a U2 + b U + c) observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferentes sistemas de preparo.

Sistema de Preparo [1]	a [2]	B	c	R^2	Ds_{Max} (Mg m^{-3})	$Ug_{ót}$ (kg kg^{-1})
	Camada (0,15 – 0,25 m)					
SlG	-28,08	6,91	1,36	0,89	1,79	0,12
AG	-136,23	29,79	0,34	0,94	1,97	0,11
StG	-59,24	13,42	1,16	0,86	1,92	0,11
ST	-164,87	39,16	-0,40	0,92	1,92	0,11
GI	-95,45	21,06	0,73	0,92	1,92	0,11
	Camada (0,25 – 0,35 m)					
SlG	-64,00	15,41	0,95	0,88	1,88	0,12
AG	-77,25	18,36	0,83	0,81	1,92	0,12
StG	-124,62	27,25	0,50	0,90	1,99	0,11
ST	-38,09	7,41	1,53	0,79	1,90	0,10
GI	-99,00	22,16	0,66	0,94	1,90	0,11

[1] SlG: subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; AG: arado aiveca + gradagem niveladora; StG: subsolagem em área total + gradagem niveladora; ST: subsolagem em área total, e; GI: gradagem intermediária. [2] Coeficiente de ajuste (a, b, c) da equação de segundo grau.

Não foi observada diferença entre as médias de densidade do solo sob os sistemas de preparo e entre as camadas avaliadas (Tabela 3). Na camada de 0,15-0,25 m, o menor e maior valor de densidade do solo foi encontrado no sistema de preparo ST e GI, com valores iguais a 1,74 e 1,80 Mg m^{-3}, respectivamente. O uso do preparo envolvendo duas operações (StG) apresentou valor médio de 1,79 Mg m^{-3}. Já o preparo envolvendo apenas uma operação (GI), sem preparo secundário, se mostrou mais sensível aos valores elevados de densidade do solo. SlG e AG ficaram com valores médios a intermediários, quando comparados aos maiores e menores valores encontrados. Os menores valores podem estar relacionados com a eficiência de rompimento da compactação na subsolagem em área total (ST) sem o intenso revolvimento do solo. Para a AG eram esperados valores de intermediários a inferiores, pois o revolvimento do solo promovido pelo uso da aração e grade niveladora pode causar uma intensa pulverização do solo, próximo à superfície (Souza et al., 2005).

Na camada de 0,25-0,35 m foram encontrados os menores valores da densidade do solo (Ds) em AG e StG, com 1,74 e 1,73 Mg m^{-3}, respectivamente. O maior valor de Ds foi observado em SlG, com valor médio de 1,79 Mg m^{-3}.

Em relação à densidade relativa do solo (Dr) (relação entre a Ds e a $Ds_{máx}$), o sistema de preparo SlG apresentou os maiores valores nas duas camadas avaliadas (Tabela 3). Observando todos os tratamentos na camada de 0,15-0,25 m, os valores variaram de 90 a 98%. Já na camada de 0,25-0,35m os valores variaram de 86 a 95% na camada subsequente. A densidade relativa do solo diminuiu conforme o aumento da profundidade. Viana et al. (2011) encontraram valores de densidade relativa de 82% em solo cultivado com cana-de-açúcar e preparado com aração e gradagem em porcentagem similar de argila e maiores concentrações de areia. A $Ds_{máx}$ e $Ug_{ót}$ obtida pelos mesmos autores foram de 2,03 Mg m^{-3} e 0,13 kg kg^{-1}, enquanto que a densidade do solo foi de 1,70 Mg m^{-3}. Segundo Lindstron & Voorhees (1994), valores de densidade relativa do solo acima de 86% são considerados elevados e prejudiciais ao desenvolvimento das culturas e valores inferiores a 80% podem reduzir muito a capacidade de armazenamento de água, causada pelo aumento excessivo da macroporosidade em relação à de microporosidade.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Tabela 3. Densidade do solo (Ds), densidade do solo relativa (Dsrel), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) médios observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferente sistemas de preparo.

Sistema de Preparo [1]	Ds (Mg m^{-3})	Ds_{rel} (%)	Ma (%)	Mi (%)	P_t (%)	Relação Mi/Ma
			Camada (0,15 – 0,25 m)			
SlG	1,76	98,32	7,14 abA[2]	22,34 aA[2]	28,19	3,13:1
AG	1,76	89,34	7,73 abA	21,06 abcA	26,88	2,72:1
StG	1,79	93,22	4,99 bA	21,90 abA	27,05	4,39:1
ST	1,74	90,62	8,98 aA	19,37 bcA	28,35	2,16:1
GI	1,80	93,75	9,32 aA	18,93 cA	28,05	2,03:1
			Camada (0,25 – 0,35 m)			
SlG	1,79	95,21	3,68 bA	23,61 aA	26,01	6,41:1
AG	1,74	90,62	7,64 aA	22,41 aA	30,05	2,93:1
StG	1,73	86,93	7,01 abA	21,66 abA	27,98	3,08:1
ST	1,76	92,63	8,18 aA	19,45 bA	27,64	2,37:1
GI	1,76	92,63	8,93 aA	20,77 abA	29,71	2,32:1
F (preparo)			$9,61^{**}$	$8,28^{**}$	$0,88^{ns}$	-
F (camada)			$0,90^{ns}$	$3,84^{ns}$	$0,58^{ns}$	-
DMS (preparo)	0,09		3,33	2,87	4,56	-
DMS (camada)	0,07		2,66	2,04	3,49	-
CV (preparo)	2,78		22,31	7,69	8,55	-
CV (camada)	3,18		27,47	7,34	9,47	-

^{ns}, * e **: não significativo,significativo a 1 e 5%, respectivamente. [1] SlG: subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; AG: arado aiveca + gradagem niveladora; StG: subsolagem em área total + gradagem niveladora; ST: subsolagem em área total, e; GI: gradagem intermediária. [2] Letras minúsculas referem-se à comparação de tratamentos numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento pelo teste de Tukey (P<0,05). DMS: diferença mínima significativa. CV: coeficiente de variação.

Os valores de macroporosidade (Tabela 3) foram baixos em todos os sistemas de preparo, e também nas duas camadas descritas, inferiores a 10%, o que é considerado limitante segundo Erickson (1982), Ros et al. (1997), Tormena et al. (2004) e Lanzanova et al. (2007).

As comparações de médias mostram que a utilização do subsolador em área total + a grade niveladora (StG) na camada de 0,15-0,25 m afetou drasticamente a macroporosidade, com valor médio de 4,99%. Por outro lado, compreende-se que nas áreas menos perturbadas pelas hastes do subsolador, ocorreu a mobilização parcial do solo. Com a utilização da subsolagem somente na linha de plantio, associado à grade niveladora (SlG), os valores da macroporosidade foram de 7,14%. Os valores foram superiores nas operações de preparo onde houve menor número de passagem de equipamentos, associado à utilização da ST e GI isolados, com valores de 8,98% e 9,32% e, respectivamente, sem preparo secundário.

Na camada 0,25-0,35 m, SlG apresentou valor médio de macroporosidade muito reduzida, com apenas 3,68% de aeração. Estes resultados mostram que houve comprometimento da qualidade física do solo em determinado sistema de preparo, o qual pode ser observado pelo aumento da densidade do solo e diminuição do volume de macroporos. Contudo, neste trabalho, os valores encontrados estão abaixo dos que já são considerados críticos.

A microporosidade foi menor em ST e GI nas duas camadas avaliadas, conforme observado pelo volume de macroporos. Para Silva & Ribeiro (1992), a microporosidade permaneceu sem alteração, porém houve aumento da densidade do solo e diminuição da macroporosidade.

A relação micro/macroporosidade obtida no presente estudo variou entre 2,03:1 a 6,41:1 em todos os preparos de solo. Em condições adequadas para o bom desenvolvimento das culturas é citado a relação de 2:1 (Baver, 1972, Kiehl, 1979, Lal, 1999, Brady & Weil 2002). A baixa macroporosidade e alta relação micro/macroporosidade indicam falta de aeração no solo.

A porosidade total (Tabela 3) não apresentou diferença significativa nos sistemas de preparo,

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

corroborando com Silva Junior et al. (2010), que ao trabalharem com diversos preparos convencionais e cultivo mínimo, encontraram porosidade total variando de 46 a 51%, em solo argiloso, superiores ao valor encontrado neste estudo, que foi de 27 a 30%, porém destacando o fato de se tratar de um solo arenoso.

As modalidades de preparo de solo não influenciaram significativamente a resistência do solo à penetração (Rp e Rp_{cc}), porém diferiram entre camadas (Tabela 4). Em termos gerais, os valores mensurados com o controle da umidade (Rp_{cc}) foram menos sensíveis às variações do que a resistência do solo à penetração sem o controle da umidade (Rp) com medidas a campo. Isso pode ser comprovado pelos valores do coeficiente de variação para a Rp_{cc} (22,69%) e Rp (39,68%). As maiores magnitudes ocorridas nos dados sem o controle da umidade ésão naturais em condições de campo, pois as grandezas do solo variam em maior proporção nessas condições.

Tabela 4. Resistência do solo à penetração com controle de umidade (RPcc) e sem o controle de umidade (Rp) médios observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferente sistemas de preparo.

Sistema de Preparo [1]	Rp_{cc} (MPa)	Rp (MPa)
Camada (0,15 -0,25 m)		
SlG	2,58 aA[2]	2,83 aB[2]
AG	3,12 aA	3,39 aA
StG	3,12 aA	2,25 aB
ST	2,53 aA	2,56 aB
GI	3,35 aA	3,23 aA
Camada (0,25 -0,35 m)		
SlG	2,50 aA	3,54 aA
AG	2,66 aA	3,41 aA
StG	1,96 aB	3,27 aA
ST	2,79 aA	3,80 aA
GI	2,99 aA	3,29 aA
F (preparo)	$1,85^{ns}$	$0,35^{ns}$
F (camada)	$2,70^{ns}$	$21,07^{**}$
DMS (preparo)	1,25	39,68
DMS (camada)	0,99	14,83
CV (preparo)	22,69	39,68
CV (camada)	27,30	14,83

^{ns}, * e **: não significativo, significativo a 1 e 5%, respectivamente [1] SlG: subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; AG: arado aiveca + gradagem niveladora; StG: subsolagem em área total + gradagem niveladora; ST: subsolagem em área total, e; GI: gradagem intermediária. [2] Letras minúsculas referem-se à comparação de tratamentos numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento pelo teste de Tukey (P<0,05). DMS: diferença mínima significativa. CV: coeficiente de variação.

Os valores de Rp_{cc} oscilaram entre 2,53 e 3,35 MPa, sendo menos e mais afetados pela ST e GI, respectivamente, na camada de 0,15-0,25 m. AG e StG resultaram em uma Rp_{cc} de 3,12 MPa e o uso da SlG apresentou valores de 2,58 MPa. Na camada de 0,25-0,35 m, os valores de Rp_{cc} foram de 1,96 a 2,99 MPa, representado pelos preparos com utilização da StG e GI, concomitantemente. A SlG, AG e ST

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

ficaram com os valores intermediários de 2,50, 2,66 e 2,79 MPa, respectivamente.

As médias de Rp (Tabela 4) foram estatisticamente diferentes nas camadas avaliadas no preparo com SlG, StG e ST, com valores inferiores na camada de 0,15-0,25 m. Nessa camada, os preparos obedeceram a seguinte ordem decrescente: AG > GI > SlG > ST > StG, com os valores de 3,39, 3,23, 2,83, 2,56 e 2,25 MPa, respectivamente. Na camada subsequente, a ordem decrescente foi: ST > SlG > AG > GI > StG, com os valores de 3,80, 3,54, 3,41, 3,29 e 3,27 MPa, respectivamente.

Trabalho realizado por Dias et al. (2001), testando diferentes sistemas de preparo de solo, não verificou diferenças nas propriedades físicas do solo, embora tenha observado maior resistência a penetração nas áreas onde o solo não foi revolvido.

A relação de limites restritivos estabelecidos por Silva et al. (2010) de 2,0 MPa e os estabelecidos por Beutler et al. (2004), de 2,38 MPa para solos de textura média está abaixo do que foi apresentado pela Rp_{cc} e Rp, com exceção apenas para StG pelo penetrômetro de bancada na camada de 0,25-0,35 m. Estes valores considerados restritivos têm sido muito questionados, assim como a quantificação do indicador físico mais adequado, pois existe uma série de variáveis que afetam o crescimento e desenvolvimento das culturas.

A Rp_{cc} teve uma ótima relação com os valores de densidade do solo, o que mostra assiduidade dos dados na quantificação dos atributos físicos do solo (Figura 2).

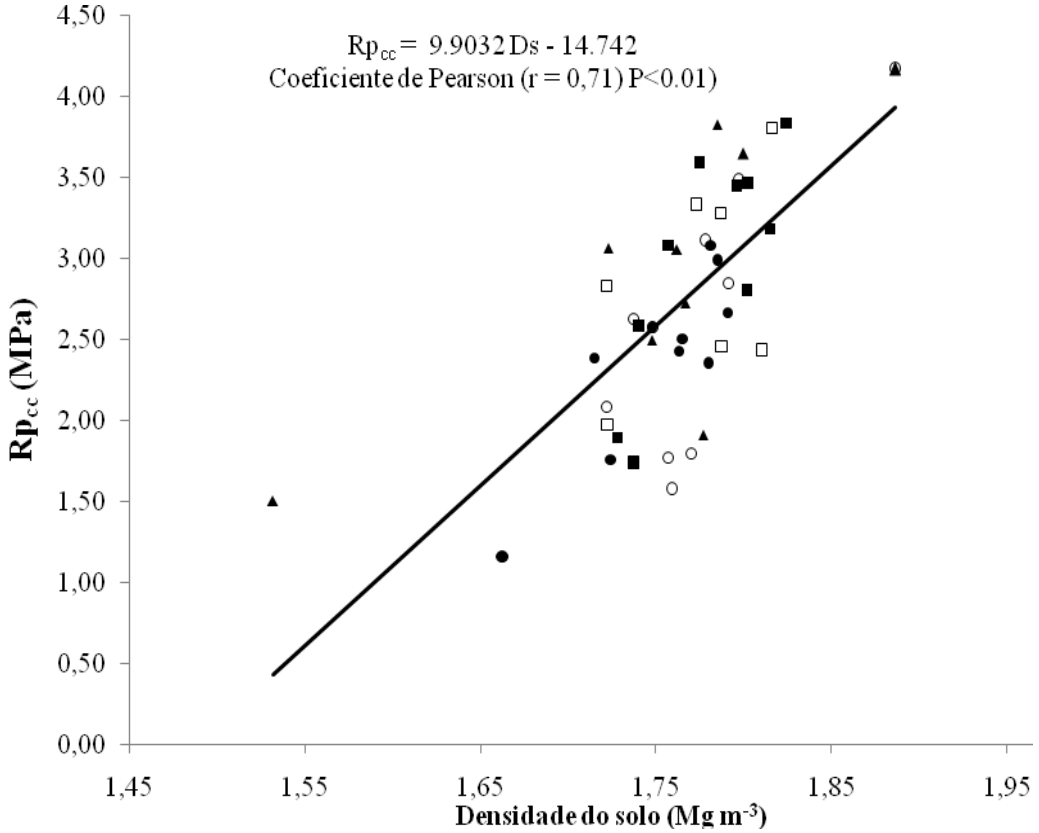

Figura 2. Relação entre resistência do solo à penetração (RPcc) e a densidade do solo até a profundidade de 0,35 m, considerando todos os sistemas de preparo.

O desempenho da produção agrícola (TCH) e industrial (TSH) foi significativamente influenciado pelos sistemas de preparo (Tabela 5). Os maiores benefícios para o TCH, ocorreram com uso da StG e SlG com respectivos 83,84 e 83,73 Mg ha^{-1}. O preparo de solo que mostrou a maior limitação na produção foi a GI. Foi observado assim, um decréscimo de 38,92 Mg ha^{-1} de colmos e 6,02 Mg ha^{-1} de açúcar em comparação ao melhor sistema de preparo. Estes resultados contrariam os estudos de Paulino et al. (2004), por não terem verificado diferença na produtividade.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Tabela 5. Desempenho agrícola e industrial médios observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferente sistemas de preparo.

Sistema de Preparo [1]	TCH (Mg ha^{-1})	TSH (Mg ha^{-1})	TCH Relativo (%)	Custo [3] (Reais ha^{-1})
Sl+Gn	83,73 a[2]	13,03 a[2]	99,8	4.005,0
A+Gn	76,45 ab	12,35 ab	91,1	4.035,0
St+Gn	83,84 a	12,86 a	100,0	4.028,0
St	61,32 b	9,72 b	73,1	3.971,0
Gi	44,92 c	7,01 c	53,5	3.903,0
F	19,41**	14,43**	-	-
DMS	16,11	2,86	-	-
CV	12,05	13,68	-	-

^{ns}, * e **: não significativo, significativo a 1 e 5%, respectivamente [1] SlG: subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; AG: arado aiveca + gradagem niveladora; StG: subsolagem em área total + gradagem niveladora; ST: subsolagem em área total, e; GI: gradagem intermediária. [2] Letras minúsculas referem-se à comparação de tratamentos numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento pelo teste de Tukey (P<0,05). [3] Em todos os sistemas estão incluídas as operações de dessecação, calagem, gessagem, fosfatagem e pré plantio incorporado (PPI). DMS: diferença mínima significativa. CV: coeficiente de variação.

Com relação aos atributos tecnológicos (Tabela 6), os valores não diferiram quanto à utilização dos preparos de solo. Kumar et al. (2012) desenvolveram estudo com subsolagem em solos indianos e observaram que houve melhoria significativa na produtividade de cana-de-açúcar e na qualidade da matéria prima. Os mesmos autores também concluíram que a prática é benéfica para reduzir a compactação do solo, além de onerar menores custos em relação a outros sistemas de preparo. Neste trabalho não houve efeito significativo para os atributos tecnológicos açúcares totais recuperáveis (ATR), sacarose aparente (pol), pureza do caldo (PZA) e porcentagem de fibra.

Tabela 6. Atributos tecnológicos médios observados em Neossolo Quartzarênico órtico submetido a diferentes sistemas de preparo.

Sistema de Preparo [1]	POL	PZA	PC	Fibra (%)	ATR (kg Mg^{-1})
Sl+Gn	18,41	91,89	15,76	11,36	155,71
A+Gn	19,13	92,42	16,38	11,35	161,48
St+Gn	18,02	91,03	15,48	11,18	153,23
St	19,28	91,89	16,49	11,43	162,48
Gi	18,36	91,57	15,74	11,30	155,53
F	4,24^{ns}	1,82^{ns}	4,39^{ns}	2,78^{ns}	4,07^{ns}
DMS	1,49	3,16	1,32	0,59	12,13
CV	4,24	1,82	4,39	2,78	4,07

[1] SlG: subsolagem na linha de plantio + gradagem niveladora; AG: arado aiveca + gradagem niveladora; StG: subsolagem em área total + gradagem niveladora; ST: subsolagem em área total, e; GI: gradagem intermediária. [3] DMS: diferença mínima significativa. CV: coeficiente de variação.

Conclusões

As combinações entre subsolagem na linha de plantio + grade niveladora; arado de aiveca + grade niveladora e subsolagem em área total + grade niveladora, mostraram os melhores resultados de TCH e TSH.

As operações isoladas de grade ou subsolagem em área total, não apresentaram resultados adequados, que possibilitassem melhoria

no que se refere à produtividade e também na qualidade física do solo.

Por se tratar de uma cultura de destaque em vários aspectos é importante também a necessidade de novos estudos que complementem a atual pesquisa, analisando aspectos que não foram aqui considerados. Estudos com diferentes tipos de tratamentos, insumos, variedade da cana-de-açúcar, classificações de solos, entre outros, visando o aperfeiçoamento, rentabilidade e precisão desta cultura.

Agradecimentos

A FUNDECT, a UEMS e a Petrobrás, pela concessão de recursos destinados ao projeto e concessão da bolsa.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT**. NBR 7182/86 Solo: ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986. 10 p.

BAVER, L. D. **Soil physics**. 1. ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1972. 529 p.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produção de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.6, p.843-849, 2005.

BRADY, N.C.; WEIL, R.P. The nature and properties of soils. 14. ed. New Jersey: Ed Prentice Hall, 2002. 1000 p.

CARVALHO, L.A.; SILVA JÚNIOR, C.A.; NUNES, W.A.G.A.; MEURER, I.; SOUZA JÚNIOR, W.S. Produtividade e viabilidade econômica da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo no Centro Oeste do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias.** v.34, n.1 p. 199-211, 2011.

DIAS, F. L. F.; CASAGRANDE, A. A.; CAMPOS, M. S.; ANDRIOLI, I. Estudo agroeconômico de sistemas de preparo do solo em área de colheita mecanizada de cana crua. **STAB**, v.19, n.8, p.6-8, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA**. Manual de métodos de análise de solo.** Rio e Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA**. Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ERICKSON, A. E. Tillage effects on soil aeration. In: **Predicting Tillage Effects On Soil Physical Properties And Processes,** Madison, 1982. Proceedings. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.91-104.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo; Ceres, 1979. 262p.

KUMAR, S.; SAINI, S. K.; BHATNAGAR, A. Effect of subsoiling and preparatory tillage on sugar yield, juice quality and economics of sugarcane (saccharum species hybrid) in sugarcane plant-ratoon cropping system. **Sugar Tech**, v.14, n.2, p.398-404, 2012.

LAL, R. Soil quality and sustainability, In: LAL, R. et al., eds. **Methods of assessment of soil degradation.** Boca Raton, CRC Press, 1999. p.17-30.

LANZANOVA, E.L.; NICOLOSO, S. R. DA; LOYATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T.J. C.; REINERT, J. D. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.4, p.1131-1140, 2007.

LINDSTRON, M. J.; VOORHEES, W. B. Response of temperate crops to soil compaction. In: SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. **Soil compaction in crop production.** Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 265-286.

NATAL & NETTO, J. **A saga do álcool**: fatos e verdades sobre os 100 anos do álcool combustível em nosso país. Osasco, SP, 2007.

NOVAES, J. R. P. Campeões de produtividade: dores e febres nos canaviais paulistas. **Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo.** São Paulo, v. 21, n. 59, Abr. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103401420070001000 13&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 de agosto. 2012.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e

comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.2, p.291-299, 2003.

OLIVEIRA, V.S.; ROLIM, M.M.; VASCONCELOS, R.F.B.; PEDROSA, E.M.R. Compactação de um Argissolo Amarelo distrocoeso submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.3, p.914-920, 2010.

PAULINO, A. F.; MEDINA, C.; AZEVEDO, M. C. B.; SILVEIRA, K. R. P.; TREVISAN, A. A.; MURATA, I. M. Escarificação de um Latossolo Vermelho na pós-colheita de soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.5, p. 911-917, 2004.

ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.2, p.241-247, 1997.

SILVA JUNIOR, C. A.; CARVALHO, L. A.; MEURER, I.; LIBARDI, P. L.; SILVA, M. A. C.; OLIVEIRA, E. C. A. Alterações nos atributos físicos do solo relacionados a diferentes métodos de preparo no plantio da cana-de-açúcar. **Revista Agrarian**, v.3, n.8, p.111-118, 2010.

SILVA, M. S. L.; RIBEIRO, M. R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiro no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, n.2, p.397-402, 1992.

SOUZA, H. A.; MARCELO, M. V.; CENTURION, J. F. Carbono orgânico e agregação de um Latossolo Vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica.** v. 43, n. 4, p. 658-663, 2012.

SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.3, p.271-278, 2005.

TAVARES, O.C.H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Sciences Agronomics** . (Online). 2010, vol.32, n.1 ISSN 1807-8621.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.28, n.4, p.1023-1031, 2004.

TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A.; ARAÚJO, M.A.; PINTRO, J.C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 8, n.1, p. 65-71, 2007.

VIANA, E.T.; BATISTA, M.A.; TORMENTA, C.A.; COSTA, A.C.S.; INOU, T.T. Atributos físicos e carbono orgânico em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.35, n.6, p.2105-2114, 2011.

VIEIRA, M.L.; KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes temas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa – MG, v.31, n.6, p. 1271-1280, 2007.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. 1985. In: NOVAIS, R.F.; 125 ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-53.