

# PRODUTIVIDADE E VIABILIDADE ECONÔMICA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO NO CENTRO-OESTE DO BRASIL

## PRODUCTIVITY AND ECONOMIC FEASIBILITY OF SUGAR CANE IN DIFFERENT SYSTEMS OF TILLAGE IN WEST-CENTRAL BRAZIL

Laércio Alves de Carvalho<sup>1</sup>, Carlos Antonio da Silva Junior<sup>2\*</sup>, Walder Antonio Gomes de Albuquerque Nunes<sup>3</sup>, Ismael Meurer<sup>2</sup> e Walter Seraphin de Souza Júnior<sup>2</sup>

### RESUMO

Estudou-se o efeito de diferentes sistemas de preparos do solo onde foram analisadas a viabilidade econômica na produção e atributos tecnológicos da cana-de-açúcar em áreas cultivadas anteriormente com soja no município de Rio Brilhante-MS, Brasil, considerando os atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico. Os sistemas de preparo utilizados foram: preparos convencionais (PCI, PCII e PCIII), subsolagem (S) e plantio direto (PD), formando um delineamento experimental em blocos inteiramente casualizados, com cinco repetições, que foram analisadas pelo teste F ( $p < 0,05$ ), seguido pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Foram identificadas diferenças significativas entre os tratamentos para variável densidade do solo e porosidade total nas camadas 0,21-0,40 m de profundidade. A produtividade e o número

de perfilhos não apresentaram diferenças significativas, porém observando o custo de implantação de cada tratamento, constatou-se maior viabilidade econômica no sistema de plantio direto (PD).

**Palavras-chave:** Densidade do solo, plantio direto, *Saccharum* spp.

### ABSTRACT

We studied the effect of different tillage systems where soil analyzed the economic feasibility of manufacturing and technological attributes of sugar cane cultivated in an area formerly with soybean in Rio Brilhante-MS, Brazil, considering the physical attributes of an Acrustox. The tillage systems were: conventional tillage (CTI, CTII and CTIII), subsoiling (S) and no-tillage (NT), forming a randomized complete block design, with five replicates, which were analyzed by F test ( $p < 0,05$ ), followed by Tukey test ( $p < 0,05$ ). Significant differences were found between treatments for variable bulk density and total porosity in layers 0.21 to 0.40 m depth. The yield and tiller number showed no significant differences, but looking at the implementation cost of each treatment, there was greater economic viability in the no-tillage (NT).

**Keywords:** Bulk density, no-tillage, *Saccharum* spp.

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cidade Universitária de Dourados, Zona Rural, CEP 79804-970, Dourados, MS, Brasil.

<sup>2\*</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade Universitária de Aquidauana, Zona Rural, CEP 79200-000, Aquidauana, MS, Brasil. E-mail: carlos-junior89@hotmail.com. Autor para correspondência.

<sup>3</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Agropecuária Oeste), CP 661, CEP 79804-970, Dourados, MS, Brasil.

## INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) possui grande importância econômica no Brasil, pois além de ser utilizada para a produção de açúcar para o consumo interno e exportação, é utilizada também para a produção de álcool, que representa uma alternativa como substituto de combustíveis derivados do petróleo (Martins, 2004). A mesma também apresenta papel social e ambiental para o país, caracterizando-se como a segunda cultura mais importante para o agronegócio brasileiro (Vitti e Mazza, 2002).

Para isso, o planejamento das atividades envolvidas diretamente com a cultura da cana-de-açúcar, desde o plantio até a colheita, é uma etapa muito importante na sua exploração econômica, definindo uma série de técnicas a serem adotadas, como, insumos, máquinas, implementos, adubações e escolha de variedades (Silva Junior e Carvalho, 2010).

O Estado de Mato Grosso do Sul, com 34 municípios, obteve um acréscimo em sua produção de cana-de-açúcar, entre as safras 2008/09 e 2009/10, passando de 275,8 para 328,2 mil ha, com uma produtividade de 75.251 para 87.785 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Conab, 2009). Esse crescimento do setor sucroalcooleiro em Mato Grosso do Sul intensifica-se em áreas agrícolas de soja e pastagens degradadas. Perante esta nova realidade, surgem alguns questionamentos sobre os impactos no ambiente, a escolha de novas áreas para expansão e o aumento da produtividade nas áreas existentes. Nesse aspecto, estudos sobre a viabilidade econômica da cultura, no que se refere a custos de produção, principalmente de áreas que nunca produziram cana-de-açúcar, serão fundamentais para tomada de decisões sobre manejo a ser adotado.

O preparo de solo para implantação do canavial representa uma etapa crucial para a longevidade da cultura, considerando que este só será revolvido novamente, após o quinto ou sexto corte, conforme a variedade. Em áreas anteriormente cultivadas com grãos (soja e milho), têm-se questionado a

necessidade do preparo convencional, pois geralmente estes solos apresentam boa fertilidade e sem restrições físicas. Algumas usinas do Estado têm optado pelo cultivo mínimo, utilizando-se o subsolador, a fim de garantir a incorporação do calcário e gesso nas camadas mais profundas do perfil. No sistema de plantio mecanizado, as plantadoras fazem todo o plantio e adubação da cultura, nos sulcos de 0,40 m de profundidade, em linhas espaçadas por 1,50 m.

Durante os 5 ou 6 ciclos da cultura, tratores e colhedoras movimentam-se em sua linha de plantio, principalmente quando a colheita é mecanizada, podendo causar compactação. Tal processo ocasiona mudanças nas propriedades físicas do solo, como a densidade do solo, decorrente da modificação da sua estrutura (Klein e Libardi, 2002), também afetando nas qualidades físico-hídricas fundamentais, como porosidade, retenção de água, disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração (Tormena *et al.*, 1998), resultando em decréscimo na produtividade.

A resistência à penetração é um dos atributos físicos do solo que influenciam diretamente no crescimento das raízes e parte aérea das plantas, sendo este atributo o que melhor representa as condições para o desenvolvimento da planta em função da compactação do solo (Furlani *et al.*, 2003).

Silva *et al.* (2004) afirmam que resistências à penetração em torno de 3,5 a 6,5 MPa, aparentemente, são as mais corretas para considerar que um solo está com possíveis problemas de impedimento mecânico.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade da cana-de-açúcar num Latossolo Vermelho distrófico, analisando os custos de produção dos diferentes sistemas de preparo do solo e as possíveis alterações nos atributos físicos, a fim de nortear, de forma sustentável e econômica, a implantação da cana-de-açúcar em áreas cultivadas anteriormente com soja e/ou milho no Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.

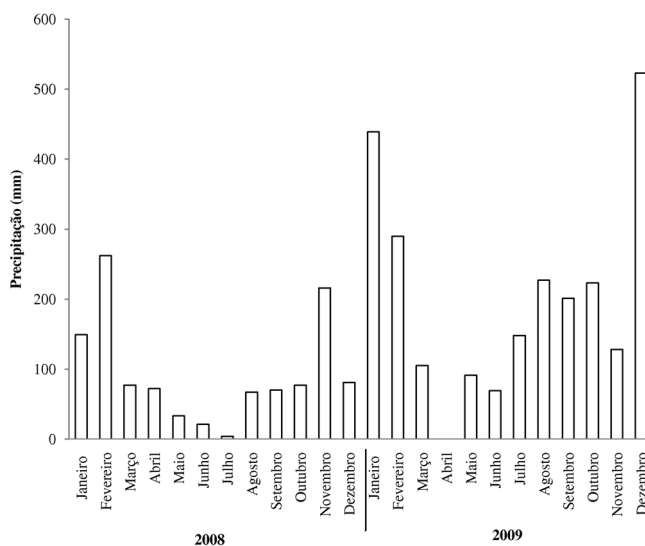
## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área pertencente à Usina ETH Bioenergia S/A, no município de Rio Brillante do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, durante o ano agrícola 2008/2009. A área experimental está localizada nas coordenadas geográficas de Latitude 21°50'S e Longitude 53°57'W à altitude média de 312 m. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, de textura média (Embrapa, 2006) e de acordo com a *Soil Survey Staff* (1998) como um Latossolo. O clima predominante da região é o Aw (Tropical de Savana), de acordo com a classificação de *Köppen-Geiger*. Foi registrada durante o desenvolvimento da pesquisa uma precipitação pluvial de 1300 mm (Figura 1) e temperaturas médias superiores a 27°C. Anteriormente a implantação do experimento, a área era explorada com a sucessão milho-soja por um período de dez anos.

O delineamento estatístico foi em blocos casualizados, com cinco repetições, num total de 25 unidades experimentais. Cada uni-

dade experimental foi constituída com área total de 10.000 m<sup>2</sup> e espaçada da seguinte por rua de 10 m de largura, onde cada uma possuía uma área útil para realização das amostragens de 200 m<sup>2</sup> (10 m x 20 m). No plantio utilizaram-se dois colmos de cana (colmo-semente) do cultivar SP81-3250, sendo colocadas 18 gemas por metro linear. Durante esta operação foi realizado o fornecimento de 500 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula NPK 05-15-30 no sulco de plantio.

Os tratamentos foram implantados em maio de 2008 e com aplicação do herbicida glifosato para dessecar a soja e ervas infestantes remanescentes, seguido de cinco preparos de solo, identificados como: três tipos de preparos convencionais (PCI, PCII e PCIII), subsolagem (S) e plantio direto (PD). O PCI foi caracterizado pela utilização de duas gradagens aradoras, uma subsolagem até a profundidade de 0,45 m e uma gradagem niveladora; Para o PCII fez uso de dessecação da cultura da soja, seguida de uma gradagem pesada a 0,20 m, adicionalmente a uma gradagem intermediária, seguida de uma aração e gradagem niveladora para sis-



**Figura 1** - Variação de pluviosidade média mensal em Rio Brillante, Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, no período 2008-2009.

tematização do terreno; No PCIII foram utilizadas duas gradagens aradoras e uma gradagem niveladora; Para o quarto tratamento (S), o preparo do solo foi de apenas de uma subsolagem até a profundidade de 0,45 m, seguida da abertura de sulco para semeadura do colmo semente; No tratamento (PD) controlaram-se as plantas infestantes com glifosato, e sem o revolvimento do solo, foram abertos os sulcos para posterior implantação da cultura.

A grade pesada utilizada neste estudo é constituída de 18 discos com 32" de diâmetro, a intermédia com 28 discos com diâmetro de 28" e a niveladora com 52 discos de 18" de diâmetro. O implemento subsolador, possuía como característica 5 hastes, reto e sem asa.

Os atributos físicos do solo em cada tratamento foram avaliados em amostras de solo, coletadas no período de fevereiro de 2009, com auxílio de amostradores do tipo Uhland específicos para amostras indeformadas de anéis volumétricos (0,05m de diâmetro e 0,05m de altura). As amostragens foram realizadas na área útil de cada parcela experimental, no sentido vertical, retirando-se uma amostra de 0-0,20 m e 0,21-0,40 m de profundidade em dois pontos aleatórios por parcela.

As amostras foram envolvidas em papel de alumínio e acondicionadas em geladeira, visando o mínimo de alteração estrutural e perda de água e em seguida foram secadas em estufa por 48 horas a uma temperatura de 105° C, até massa constante. Depois de serem secadas e arrefecidas, foram pesadas, para obtenção dos valores necessários utilizados durante o cálculo de densidade do solo (Ds) conforme Equação 1:

$$D_s = \left( \frac{MS}{V} \right) \quad (1)$$

onde: Ds = densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>); MS = massa do solo seco (Mg); V = volume do cilindro (m<sup>3</sup>).

Para determinação de umidade do solo (Equação 2), empregou-se o método gravimétrico determinando-se também a massa do solo úmido, utilizando uma balança analítica com precisão de ±0,01 g.

$$\theta = \left( \frac{MU - MS}{MS} \right) \quad (2)$$

onde:  $\theta$  = umidade do solo (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>); MU = massa do solo úmido (g); MS = massa do solo seco (g).

Para a variável porosidade total do solo (PT), foi calculada conforme as Equações 3 e 4 (Libardi, 2005).

$$D_p = \frac{(M_{bs} - M_b)}{(50 - V_a)} \quad (3)$$

$$PT = \left( 1 - \frac{D_s}{D_p} \right) \times 100 \quad (4)$$

onde: Dp = densidade de partículas do solo (Mg m<sup>-3</sup>); Mb = massa do balão vo-lumétrico (Mg); Mbs = massa do balão volumétrico contendo o solo (Mg); Va = volume de álcool gasto para completar o volume do balão contendo o solo (ml); PT = porosidade total (%); Ds = densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>).

Adicionalmente foi realizado em campo, o teste de resistência mecânica à penetração (RMP), utilizando o penetrômetro de impacto agrícola modelo IAA/Planalsucar, nas mesmas profundidades de solo, distanciados a 0,10 m do local onde foram realizadas as amostragens. Os valores de RMP foram calculados conforme Equação

5 (Stolf, 1991):

$$RMP = \left( 5,6 + 6,89 \times \left( \frac{N}{P-A} \times 10 \right) \right) \times 0,0981 \quad (5)$$

Sabendo que RMP é a resistência mecânica do solo à penetração de raízes em MPa, N expressa o número de impactos efetuados com o martelo do penetrômetro para a obtenção da leitura, A e P são, respectivamente, as leituras antes e depois da realização dos impactos em cm.

Após 5 e 10 meses do plantio, foram realizadas coletas em cada parcela de uma linha de dois metros lineares da parte aérea da cana-de-açúcar, para avaliação de perfilhos. No 13º mês após o plantio foram realizadas as coletas e determinações industriais dos materiais vegetais a fim de determinar as características biométricas da parte aérea da cana-de-açúcar. As características avaliadas foram: massa verde, massa seca, diâmetro do colmo, toneladas de cana por hectare (TCH), sólidos solúveis totais (°Brix), açúcares polarizáveis da cana (PC), teor de fibra (Fibra) e açúcares totais recuperados (ATR).

A parte aérea da planta foi separada em ponteiro, folha e colmo. O ponteiro foi constituído das folhas (zero e -1) e do cartucho. Para as folhas, (folha + bainha), foram consideradas as folhas secas e verdes até a folha que apresentava o primeiro colarinho visível. Após a retirada do ponteiro e das folhas, o restante foi considerado como colmo (Rodrigues, 1995).

Ao sétimo mês após o plantio, foi mensurado o diâmetro do colmo, através de um paquímetro com precisão de 0,05 m, no terceiro entrenó na direção raiz-ápice, onde foram selecionadas ao acaso dez canas por parcela, perfazendo um total de 250 mensurações.

Os ponteiros, folhas e colmos, após separados, foram pesados para determinação da massa verde total. Em seguida, foram triturados em forrageira e retiradas subamostras

para determinar a massa úmida. Para obtenção de massa seca, as subamostras foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C até massa constante. Levando em consideração a massa verde da planta e a umidade existente nas diferentes partes da planta, foi quantificada a produção de massa seca total.

Os dados obtidos das variáveis de produção, dos atributos físicos do solo e da resistência mecânica à penetração, foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o programa estatístico ASSISTAT (Silva e Azevedo, 2009), seguido pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e as médias encontradas foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação dos resultados obtidos para a densidade do solo nas profundidades de 0-0,20 e 0,21-0,40 m estão descritos no Quadro 1. Os resultados da profundidade 0,21-0,40 m apresentaram modificações estatisticamente significativas para densidade, apresentando maiores valores para o PD e PCII, corroborando os resultados encontrados por Carvalho Filho *et al.* (2007). Os maiores valores de Ds devem-se ao menor revolvimento pelos implementos agrícolas, assim mantendo sua estrutura, que além de permanecerem imobilizadas, foram submetidas ao tráfego de máquinas.

Na profundidade 0-0,20 m não foram identificadas diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ) entre os preparos para a variável densidade do solo. Estes resultados podem estar associados à mobilização estrutural da superfície do solo ao implantar a cultura, aplicando a força obtida pelos implementos, causando maiores níveis de densidade em subsuperfície. Contudo a não significância nesta camada, indica assim mesmo uma tendência a maiores densidades nos sistemas PD, PCII e PCI, concordando assim com resultados mostrados por Tormena *et al.* (2004), onde o plantio direto obteve resultados elevados para densidade do solo quando comparado aos preparos convencional.

**Quadro 1** - Densidade do solo nos diferentes tratamentos: preparos convencionais (PCI, PCII e PCIII), subsolagem (S) e plantio direto (PD).

Perfil	Densidade do Solo (Ds)					
	PCI	PCII	PCIII	S	PD	CV
----- (m) -----	----- (Mg m <sup>-3</sup> ) -----					
0-0,20	1,36	1,37	1,29	1,31	1,41	6,96 <sup>ns</sup>
0,21-0,40	1,46abc	1,47ab	1,44bc	1,38c	1,55a	3,46*

<sup>ns</sup> Não-significativo. \*Letras minúsculas distintas, na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), entre os tratamentos em cada profundidade.

Considerando os valores obtidos das médias (Mg m<sup>-3</sup>), os sistemas de preparo do solo para a Ds na camada 0-0,20 m não diferiram estatisticamente, porém considerando um menor valor de agregados e maior porosidade entre as partículas, apresentando como consequência menor densidade. O PCIII resultou em menores valores para a densidade quando comparado aos demais preparos estudados.

O resultado obtido da avaliação para a variável porosidade total do solo (PT), para as profundidades 0-0,20 e 0,21-0,40 m, está apresentado no Quadro 2. As descrições dos resultados mostram significância para a camada do solo 0,21-0,40 m, onde o PD e PCII mostraram-se com menor percentagem de poros. A utilização da subsolagem promoveu maiores valores para a variável PT, demonstrando assim conformidade com o desimpedimento da compactação do solo por apresentar maior revolvimento.

A mesma subsolagem utilizada no PCI, além da utilização de gradagem niveladora, fez com que ocorresse a diminuição da poro-

sidade. O arado de aiveca utilizado no PCIII que também proporcionou grande revolvimento do solo obteve grande presença de poros. Conforme Watanabe *et al.* (2001) os maiores valores de porosidade apresentados conforme o maior revolvimento do solo, por fato, dá-se a mobilização do solo e também o número total de poros drenáveis, dando melhores condições às plantas em sua aeração, obtendo maior disponibilidade hídrica e ao mesmo tempo nutricional, pela interação dos nutrientes com a solução do solo.

Para a camada 0-0,20 m de profundidade, não foi testada significância entre os tratamentos para variável PT, apresentando valores proporcionais da profundidade 0,21-0,40 m, ocorrendo menor espaço poroso para o PD e maior para o PCIII e S. Contata-se que os valores de PT (Quadro 2), estão intimamente ligados aos resultados encontrados para Ds, obtendo maiores valores de densidade do solo quando há menor quantidade de espaço poroso, onde o mesmo foi verificado por Da Ros (1997). Tanto para as profundidades 0-0,20 como 0,21-0,40 m, o sistema PD

**Quadro 2** - Porosidade Total nos diferentes tratamentos: preparos convencionais (PCI, PCII e PCIII), subsolagem (S) e plantio direto (PD).

Perfil	Porosidade Total (PT)					
	PCI	PCII	PCIII	S	PD	CV
----- (m) -----	----- (%) -----					
0-0,20	48,75	48,17	51,12	50,35	46,64	7,24 <sup>ns</sup>
0,21-0,40	44,92abc	44,27bc	45,50ab	47,91a	41,50c	4,25*

<sup>ns</sup> Não-significativo. \*Letras minúsculas distintas, na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), entre os tratamentos em cada profundidade.

apresentou conformidade nos resultados para Ds e PT (Quadro 1 e 2), exibindo certa compactação em relação aos demais sistemas de preparo, mostrando relação aos estudos realizados por Stone e Silveira (2001).

O plantio direto apresentou maiores valores de Ds, menores de PT e resistência à penetração, igualando com resultados de Falleiro *et al.* (2003), onde obtiveram maiores valores para Ds em plantio direto e menores para os preparos convencionais onde se utilizou uma grade pesada discos e aiveca.

Conforme descrito pelo teste, há diferença quando se trata de plantio direto e subsolagem, tendo uma maior densidade do solo na camada 0,21-0,40 m de profundidade (Quadro 1), mostrando assim, que o plantio direto apresenta uma diferença significativa para mais perante aos três preparos convencionais e a subsolagem.

As condições de tráfego de máquinas que o solo foi submetido, apresentaram maiores valores de Ds e menores para PT, na profundidade 0,21-0,40 m, discordando de Narvaéz (1998) e Tormena *et al.* (1998), que indicam resultados de maiores valores nas camadas superficiais, onde se concentram o tráfego das máquinas.

Araujo *et al.* (2004) onde comparam mata nativa e cultivo de cana-de-açúcar num mesmo tipo de solo, obtiveram maiores valores de densidade em cultivo e menor quando não há presença de máquinas e implementos, no caso da mata nativa. O mesmo foi obtido por Costa *et al.* (2003), onde afirmam que quando há o uso de implementos agrícolas, inde-

pendentemente do sistema de manejo adotado, se dão alterações na propriedades físicas do solo.

Conforme Tormena *et al.* (2002), ao avaliarem o preparo mínimo, plantio direto e plantio convencional em Latossolo Vermelho distrófico, constataram uma densidade significativa para a camada subsuperficial nos sistemas de preparo, principalmente pelo efeito do tráfego excessivo de máquinas agrícolas no plantio direto, onde os valores obtidos foram elevados, o mesmo acontecendo ao avaliarem porosidade do solo.

O resultado obtido pela avaliação da umidade do solo ( $\theta$ ), para a profundidade 0-0,20 e 0,21-0,40 m, está apresentado no Quadro 3. Observou-se que não houve significância dentre os tratamentos e profundidades, tendo como maior valor o PD, aumentando gradativamente conforme a profundidade. Isto indica que onde houve menor mobilidade do solo, como o PD, PCII e S, o meio ambiente adequou-se a um microclima mais estável, sendo a favor para a  $\theta$ , estando em conformidade com Silva *et al.* (1986). Assim, pode-se afirmar que a  $\theta$  não ocasionou interferência na RMP no momento de sua determinação, tendo um alto índice de confiabilidade a sua relação com o estado de compactação do solo.

O resultado da avaliação de resistência mecânica à penetração está apresentado na Figura 2. No tratamento PD, a RMP foi superior em relação aos demais tratamentos na profundidade de 0-0,20 m. Os valores de RMP ao longo do perfil refletiram variação de 2,91 a 7,78 MPa, que para Arshad *et al.*

**Quadro 3** - Umidade do solo nos diferentes tratamentos: preparos convencionais (PCI, PCII e PCIII), subsolagem (S) e plantio direto (PD).

Perfil	Umidade ( $\theta$ )					
	PCI	PCII	PCIII	S	PD	CV
----- (m) -----	----- (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) -----					
----- (%) -----	----- (%) -----					
0-0,20	0,32	0,34	0,31	0,34	0,37	13,45 <sup>ns</sup>
0,21-0,40	0,37	0,38	0,36	0,39	0,39	8,58 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> Não-significativo. \*Letras minúsculas distintas, na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), entre os tratamentos em cada profundidade.

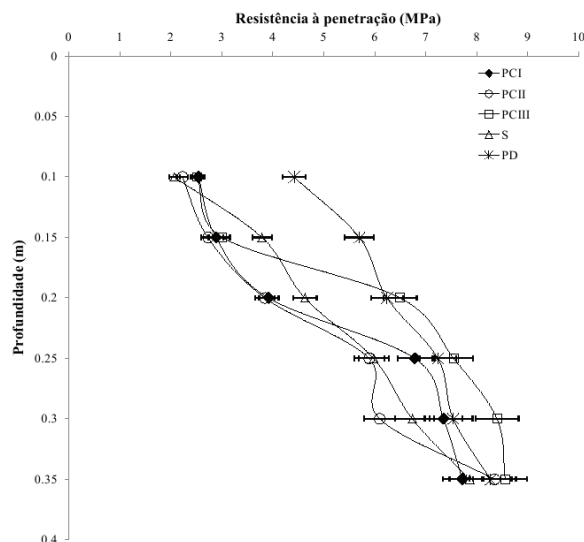
(1996), estes valores estão entre as classes alta e muito alta. Os maiores valores de resistência à penetração estão compreendidos na profundidade 0,21-0,40 m, onde foram constatados no PCIII e PD. Valores de RMP acima de 2,5 MPa, começam a restringir o crescimento radicular das culturas (Camarago e Alleoni, 1997; Merotto e Mundstock, 1999). Para Sene *et al.* (1985), consideram para solos arenosos a restrição quando os valores variam de 6,0 a 7,0 MPa.

No plantio direto, apesar de não haver o revolvimento do solo e apresentar camadas com maiores densidades, principalmente na camada 0,21-0,40 m (Figura 2), não significa comprometimento na produção, pelo fato de haver pouca mobilização. Assim, tendo um acúmulo de resíduos em sua superfície, induzindo a maior quantidade de matéria orgânica, recuperando a estrutura e distribuição de poros (Bayer e Mielniczuk, 1997). Isto pôde ser comprovado com o resultado do número de perfilhos e da produção de colmos (Quadro 4), os quais não obtiveram influências pelos sistemas de preparo do solo em nenhum dos meses estudados.

Os resultados obtidos na massa verde e seca, não apresentaram significância ( $p < 0,05$ ) para os 10 e 13 meses após o plantio. Estes resultados podem ter sido influenciados pelo excesso de chuva ocorrido no final de 2008 e no ano agrícola de 2009, resultando no armazenamento de água no ciclo final da cultura e inexistência de déficit hídrico.

Ao realizar o teste de médias de resistência mecânica à penetração (Figura 2), os resultados mantêm-se quando analisadas as camadas 0-0,20 m e 0,21-0,40 m, pelo fato do plantio direto não penetrar em camadas mais profundas, onde somente o preparo convencional consegue realizar um revolvimento considerável dessa camada.

Para Wutke *et al.* (2000), que indicam o efeito da escarificação na redução da densidade do solo e conseqüentemente na resistência à penetração, mostram que ao trabalhar com plantio direto, obtêm-se valores mais elevados pelo revolvimento parcial do solo, concordando com resultados estudados por Tormena *et al.* (2002). Já Souza e Alves (2003), ao avaliaram um mesmo Latossolo Vermelho de cerrado, obtiveram menores va-



**Figura 2** - Resistência do solo à penetração na amostragem realizado nos diferentes tratamentos: preparos convencionais (PCI, PCII e PCIII), subsolagem (S) e plantio direto (PD). As barras indicam os valores do erro padrão da média e sua sobreposição denota a ausência de diferenças entre as médias dos tratamentos.



lores de resistência a penetração em cultivo mínimo.

Estudos realizados em áreas de cana-de-açúcar por Carvalho *et al.* (2008), obtiveram resistência à penetração em superfície de até 6 MPa e conforme o aumento da profundidade, os resultados chegaram a 8 MPa.

De acordo com a Figura 2, o plantio direto quando comparado aos demais preparos, possui uma maior resistência à penetração, onde valores de menor resistência foram apresentados no preparo convencional, igualando aos valores obtidos por Camilotti *et al.* (2005).

O aumento da Ds e diminuição da porosidade e consequentemente no aumento da re-

sistência à penetração manifesta-se similarmente em todos os sistemas de preparo, onde Cavalieri *et al.* (2006) constataram que em preparo sem revolvimento do solo, preparo mínimo e preparo convencional, obteve um aumento crescente na ordem destes preparos para densidade, resistência à penetração e umidade do solo.

Não foram obtidos resultados para as variáveis, massa seca e produtividade de colmo para o quinto mês após o plantio, pois a cultura estava em pleno desenvolvimento, apresentando apenas a massa verde (palmito), onde apresentaram significância entre os sistemas de preparo, com maior peso para o tratamento PD, S e PCI. A produção de colmos obtido

**Quadro 4** - Produtividade da cana-planta em diferentes épocas e custos dos sistemas, preparos convencionais (PCI, PCII e PCIII), subsolagem (S) e plantio direto (PD).

Época	Sistema de preparo	Massa Verde	Massa Seca	Colmo (10 canas)	Nº/Perfilho (2 metros)
		------(Kg)-----		--(t ha <sup>-1</sup> )--	
5 meses	PCI	11,96 ab	-	-	37,00
	PCII	08,56 b	-	-	34,20
	PCIII	11,36 ab	-	-	44,60
	S	13,00 ab	-	-	43,40
	PD	15,38 a	-	-	33,20
	F	3,06 <sup>ns</sup>	-	-	2,07 <sup>ns</sup>
	CV (%)	26,33	-	-	21,19
	DMS	6,00	-	-	15,43
10 meses	PCI	10,64	2,24	115,60	23,40
	PCII	10,28	1,70	120,13	25,40
	PCIII	10,50	1,74	114,07	24,20
	S	11,34	2,20	106,80	23,80
	PD	11,80	2,42	137,27	24,80
	F	0,57 <sup>ns</sup>	2,21 <sup>ns</sup>	1,70 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>
	CV (%)	17,23	23,46	16,43	18,13
	DMS	3,56	0,91	11,08	8,34
13 meses	PCI	7,10	3,12	159,00	23,20
	PCII	6,20	3,14	156,99	23,20
	PCIII	5,66	3,48	134,99	19,60
	S	4,76	1,88	105,13	19,00
	PD	5,20	2,98	146,20	20,60
	F	1,92 <sup>ns</sup>	2,56 <sup>ns</sup>	2,36 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>
	CV (%)	25,38	29,20	22,76	18,09
	DMS	2,78	1,61	18,14	7,23

<sup>ns</sup> Não-significativo. - Não atingiu seu ciclo completo. \* Letras minúsculas distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

do décimo ao décimo terceiro mês obteve um aumento para os tratamentos PCI, PCII e PD, variando de 8,93 a 43,4 t ha<sup>-1</sup>.

Com relação ao tratamento PCI e PCII, o primeiro foi superior em produtividade, obtendo-se 2,01 t ha<sup>-1</sup>, com a diferença de custo, sendo a menor de 113,86 reais ha<sup>-1</sup>. Mesmo não apresentando diferenças significativas de produtividade entre os tratamentos, observa-se no Quadro 4, uma produtividade superior nos tratamentos PCI e PD, 156,99 e 146,20 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, com menor custo de produção para o PD.

Esse fato demonstra que a cana-de-açúcar pode ser plantada em sistema de plantio direto em áreas anteriormente cultivadas com soja, principalmente em função da estruturação do solo que permite o armazenamento de água de forma eficiente em seus agregados. O revolvimento do solo, aliado ao maior custo de produção dos outros sistemas de preparo, podem comprometer a longevidade do canavial, principalmente em épocas de déficit hídrico.

Em relação aos aspectos tecnológicos da cana-de-açúcar em função dos diferentes sistemas de preparo do solo, diâmetro de colmo e custos, estão apresentados no Quadro 5. Foram observadas significância ( $p < 0,05$ ) apenas para PC, ATR e diâmetro de colmo.

Das variáveis estudadas, °Brix, PC, Fibra e ATR, estão entre as mais importantes para a indústria sucroalcooleira, pois estão diretamente relacionadas com a quantidade de matéria prima produzida pela lavoura e disponível para a transformação de açúcar ou álcool.

Os teores de °Brix mostraram-se estáveis nos sistemas de preparo do solo. Na cana-planta, os valores de fibra apresentaram-se na média de 10,77%, permanecendo na faixa ideal (8-16%) para Bernardes e Câmara (2001) e pouco abaixo (11-16%) conforme descrito por C6 Júnior *et al.* (2008). Já para ATR o maior valor foi obtido no PCII, sendo superior ao PD em 13,86 kg t<sup>-1</sup>.

Avaliando-se o diâmetro de colmo oferecido pelo plantio direto relacionado ao seu custo, mostra-se viável sua utilização, pelo fato dos tratamentos PCII, PCI, S e PCIII, respectivamente, apresentarem custos superiores e mínima alteração no diâmetro do colmo (Quadro 5). Resultados obtidos por Duarte Júnior *et al.* (2008), apresentam superioridade de até 37% no diâmetro do colmo e de produtividade, quando utilizado o plantio direto em relação ao preparo convencional.

Mesmo não diferindo entre si na camada de 0-0,20 m, percebe-se no Quadro 5 uma grande discrepância dos custos de operação de cada tratamento. Esses valores são fun-

**Quadro 5** - Parâmetros relacionados à avaliação tecnológica da produção da cana-de-açúcar em relação a diferentes preparos de solo, bem como o diâmetro do colmo e os custos de implantação.

Tratamento	Parâmetro					
	°Brix	PC	Fibra	ATR	Diâmetro colmo	R\$ ha <sup>-1</sup>
		-----(%)------		--(kg t <sup>-1</sup> )---	------(cm)-----	
PCI	17,83	13,10 ab	10,22	127,05 ab	24,11 a	331,27
PCII	18,21	13,60 a	10,28	131,43 a	23,54a	445,13
PCIII	17,80	12,87 ab	11,20	124,50 ab	23,28a	197,94
S	17,38	12,94 ab	10,01	125,16 ab	22,62ab	210,25
PD	16,83	12,00 b	10,16	117,57 b	21,27b	83,10
F	3,07 <sup>ns</sup>	4,24*	1,57 <sup>ns</sup>	4,79*	5,43*	-
CV (%)	2,96	3,78	6,29	3,18	6,42	-
DMS	1,40	1,31	1,75	10,70	1,87	-

<sup>ns</sup> Não-significativo. \*Letras minúsculas distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

damentais para uma tomada de decisão e escolha do tratamento para novas áreas, considerando que as usinas de cana-de-açúcar tendem a expansão em áreas de pastagem ou de antigas lavouras. O custo das operações analisado de forma conjunta com os outros atributos do solo servirá de instrumento para as usinas, pois relaciona possíveis impactos ambientais com custo de produção da cana sacarina.

## CONCLUSÕES

1. O sistema de plantio direto (PD) propiciou menores valores de PT e maiores valores de Ds e RMP para as duas camadas estudadas;

2. Levando em consideração a produtividade da cana-de-açúcar e os custos de cada sistema de preparo, os tratamentos PCI e PD, mostraram-se técnica e economicamente viáveis, quando comparado aos demais preparos do solo, principalmente quando comparado ao PCII.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araujo, M.A.; Tormena, C.A. e Silva, A.P. (2004) - Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28, 2: 337-345.
- Arshad, M.A.; Lowery, B. e Grossman, B. (1996) - Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, J.W. e Jones, A.J. (Ed.) - *Methods for assessing soil quality*. Madison, Soil Science Society of America, p. 123-141. (SSSA Special Publication, 49).
- Bayer, C. e Mielniczuk, J. (1997) - Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21, 1: 105-112.
- Bernardes, M.S. e Câmara, G.M.S. (2001) - *Cultura da cana-de-açúcar*. Piracicaba, ESALQ, Dep. Produção Vegetal, 20 p.
- Camargo, O.A. e Alleoni, L.R.F. (1997) - *Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas*. Piracicaba, ESALQ, 132 p.
- Camilotti, F.; Andrioli, I.; Dias, F.L.F.; Casagrande, A.A.; Silva, A.R.; Mutton, M.A. e Centurion, J.F. (2005) - Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo. *Engenharia Agrícola*, 25, 1: 189-198.
- Carvalho Filho, A.; Silveira, M.E.G.; Silva, R.P.; Cortez, J.W. e Carvalho, L.C.C. (2007) - Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho acrífero cultivado com milho. *Scientia Agraria Paranaensis*, 6, 1/2: 31-39.
- Carvalho, L.A.; Neto, V.J.M.; Silva, L.F.; Pereira, J.G.; Nunes, W.A.G.A. e Chaves, C.H.C. (2008) - Resistência mecânica do solo à penetração (RMP) sob cultivo de cana-de-açúcar, no município de Rio Brilhante-MS. *Revista Agrarian*, 1, 2: 7-22.
- Cavaliere, K.M.V.; Tormena, C.A.; Vidigal Filho, P.S.; Gonçalves, A.C.A. e Costa, A.C.S. (2006) - Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30, 1:137-147
- Cô Júnior, C.; Marques, M.O. e Tasso Júnior, L.C. (2008) - Efeito residual de quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, 28, 1: 196-203.
- Conab – Companhia Nacional de Abastecimento (2009) - *Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, dezembro/2009*. Conab, Brasília.
- Costa, F.S.; Albuquerque, J.A.; Bayer, C.; Fontoura, S.M.V. e Wobeto, C. (2003) - Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27, 3: 527-535.
- Da Ros, C.O. (1997) - 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*, 21, 2: 241-247.
- Duarte Júnior, J.B. e Coelho, F.C. (2008) - A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12, 6: 576-583.
- Embrapa (2006). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. (2ª ed.). Embrapa/CNPQ, Rio de Janeiro, 306 p.
- Falleiro, R.M.; Souza, C.M.; Silva, C.S.W.; Sedyama, C.S.; Silva, A.A. e Fagundes, J.L. (2003) - Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27, 6: 1097-1104.
- Furlani, C.E.A.; Gamero, C.A.; Levien, R. e Lopes, A. (2003) - Resistência do solo à penetração em preparo convencional, escarificação e semeadura direta em diferentes manejos da cobertura vegetal. *Engenharia Agrícola*, 23, 3: 579-587.
- Klein, V.A. e Libardi, P.L. (2002) - Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26, 4: 857-67.
- Libardi, P.L. (2005) - *Dinâmica da água no solo*. São Paulo, EDUSP, 335 p.
- Martins, N.G.S. (2004) - *Os fosfatos na cana-de-açúcar*. Dissertação de Mestrado, Piracicaba, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 87 p.
- Merotto, A. e Mundstock, C.M. (1999) - Wheat root growth as affected by soil strength. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23, 1: 197-202.
- Narváez, A.R.L. (1998) - *Efeitos de sistemas de preparo sobre propriedades físicas e químicas do solo e nas culturas de algodão, sorgo e amendoim cultivados em Regossolo e Solonetz*. Dissertação de Mestrado, Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 165 p.
- Rodrigues, J.D. (1995) - *Fisiologia da cana-de-açúcar*. Botucatu, Instituto de Biociências. 69 p.
- Sene, M.; Vepraskas, M.J.; Naderman, G.C. e Denton, H.P. (1985) - Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. *Soil Science American Journal*, 49, 1: 422-427.
- Silva Junior, C.A. e Carvalho, L.A. (2010) - Alterações nos atributos físicos do solo relacionados a diferentes métodos de preparo no plantio da cana-de-açúcar. *Revista Alcoolbrás*, 129, 1: 42-45.
- Silva, A.P.; Libardi, P.L. e Camargo, O.A. (1986) - Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 10, 2: 91-95.
- Silva, F.A.S.E. e Azevedo, C.A.V. (2009) - Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: *World Congress on Computers in Agriculture*, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Silva, R.B.; Dias Júnior, M.S.; Santos, F.L. e Franz, C.A.B. (2004) - Resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29, 1: 165-173.
- Soil Survey Staff (SSS) (1998) - *Keys to soil Taxonomy*. Washington, DC, USDA, 326 p.
- Souza, Z.M. e Alves, M.C. (2003) - Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7, 1: 18-23.
- Stolf, R. (1991) - Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 15: 229-35.
- Stone, L.F. e Silveira, P.M. (2001) - Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25, 2: 395-401.
- Tormena, C.A.; Roloff, G. e Sá, J.C.M. (1998) - Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciado por calagem, preparo inicial e tráfego. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22, 2: 301-309.

- Tormena, C.A.; Barbosa, M.C.; Costa, A.C.S. e Gonçalves, A.C.A. (2002) - Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo vermelho distrófico sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Scientia Agricola*, 59, 4: 795-801.
- Tormena, C.A.; Vidigal Filho, P.S.; Gonçalves, A.C.A.; Araújo, M.A. e Pintro, J.C. (2004) - Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8, 1: 65-71.
- Vitti, G.C. e Mazza, J.A. (2002) - Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açúcar. *Informações Agronômicas*, 97: 1-16.
- Watanabe, S.H. (2001) - *Caracterização da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de preparo*. Dissertação de Mestrado, Maringá, Universidade Estadual de Maringá, 69 p.
- Wutke, E.B.; Arruda, F.B.; Fancelli, A.L.; Pereira, J.C.V.N.A.; Sakai, E.; Fujiwara, M. e Ambrosano, G.M.B. (2000) - Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24, 3: 621-633.