

# Efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho<sup>1</sup>

Zigomar Menezes de Souza<sup>2</sup>, Amauri Nelson Beutler<sup>3</sup>, Renato de Mello Prado<sup>4</sup>, Marcelo José Costa Bento<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Trabalho desenvolvido na Usina São Martinho, Pradópolis (SP), Brasil.

<sup>2</sup>Autor para correspondência. Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Cidade Universitária Zeferino Vaz. Caixa Postal 6011, CEP13083-875, Campinas (SP), Brasil. zigomarms@agr.unicamp.com.br

<sup>3</sup>Pós-doutorando em Agronomia. Unesp-FCAV. Bolsista da Fapesp.

<sup>4</sup>Unesp-FCAV, Departamento de Solos e Adubos.

<sup>5</sup>Engenheiro Agrônomo, Usina São Martinho, Pradópolis (SP), Brasil.

## Resumo

O sistema de colheita de cana-de-açúcar sem queima, no Brasil, está sendo imposto gradativamente pela legislação, sendo pouco esclarecidos os efeitos nos atributos físicos do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar atributos físicos em sistemas de colheita de cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho eutroférico argiloso, em Pradópolis (SP). Os tratamentos foram: 1- cana-de-açúcar com queima e corte manual (cana queimada), desde 1975; 2- cana-de-açúcar sem queima e corte mecanizado seguido de transbordo (cana crua), desde 1993; 3- mata nativa. Em 2003, foram determinados a composição granulométrica, a matéria orgânica, o grau de floculação das argilas, a estabilidade de agregados, a densidade e a porosidade do solo, a resistência do solo à penetração e a umidade, nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m. O delineamento experimental foi o de parcelas subdivididas, com cinco repetições. Os sistemas de colheita de cana-de-açúcar alteraram os atributos físicos até a profundidade de 0,4 m em relação à mata. No sistema de cana crua, até a profundidade de 0,1 m, foram encontrados valores superiores de matéria orgânica, estabilidade de agregados, densidade do solo, microporosidade e conteúdo de água, em comparação com o sistema de cana queimada.

**Palavras-chave adicionais:** propriedades físicas; matéria orgânica; manejo; *Saccharum officinarum*.

## Abstract

SOUZA, Z. M. de; BEUTLER, A. N.; PRADO, R. de M.; BENTO, M. J. C. Effect of sugarcane harvest systems in the physical attributes of an Oxisol. **Científica**, Jaboticabal, v.34, n.1, p.31 - 38, 2006.

The harvesting of sugar cane without the previous burning of the plants, in Brazil, is a system being gradually imposed by governmental legislation, although the effects of plant burning on soil physical attributes are not sufficiently clarified. This study viewed to evaluate physical attributes of an Oxisol in which cultivated sugarcane was harvested with and without previous plant burning in Pradópolis, state of São Paulo, Brazil. The treatments (types of soil use) were: 1- sugarcane harvesting preceded by plant burning and accomplished by the manual cutting of the culms, since 1975; 2- sugarcane culms mechanically cut without previous burning of the plants, since 1993; 3- native forest. Particle size, organic matter, flocculation degree, aggregate stability, bulk density, porosity, resistance to penetration and water content, in soil layers at depths of 0.0-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.3, 0.3-0.4 m were determined in 2003. The harvest systems of sugar cane modified the physical attributes until a depth of 0.4 m in relation to native forest. The green sugar cane harvest system allowed greater values of organic matter, aggregate stability, bulk density, microporosity and water content in the layer next to the surface (0.0 – 0.1 m) when in comparison with the burnt sugarcane harvest system.

**Additional keywords:** physical attributes; organic matter; tillage; *Saccharum officinarum*.

## Introdução

A cana-de-açúcar é a principal cultura utilizada no Brasil para a produção de álcool e açúcar, que são consumidos em grande escala. A cultura ocupa área de 4.888.647 ha, com produção média de 95 Mg ha<sup>-1</sup> em 2001, sendo 50% da área cultivada localizada no Estado de São Paulo, que é o maior produtor nacional (AGRIANUAL 2002, 2001).

Atualmente, um dos fatores de produção que mais tem sido discutido, no sistema de produção da

cana-de-açúcar, é o sistema de colheita, ou seja, com queima e corte manual (cana queimada), ou sem queima e corte mecanizado. O tipo de colheita da cana-de-açúcar pode influenciar a produção e longevidade da cultura, os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o ambiente e a saúde pública. Segundo MEIRELLES (1990), o sistema de colheita por cana queimada elimina a matéria seca e aumenta a concentração de gás carbônico na atmosfera, contribuindo para o efeito estufa e afetando significativamente o teor de matéria orgânica no solo e o ecossistema. Este

sistema é considerado condenável, por causa de ações degradantes, como a redução do conteúdo de água no solo, em razão do decréscimo da infiltração de água (SPERA et al., 2000) devido ao entupimento dos poros do solo na área queimada (SANTOS et al., 1992).

Em decorrência dos graves danos das queimadas ao ambiente, a legislação brasileira, pelo Decreto nº 42.056, de 6-8-97, proíbe a despalha de cana por queima, mas fixa um período de transição de oito anos até a proibição total. Assim, o uso da colheita com cana crua é uma realidade cada vez mais presente no sistema de produção da cana-de-açúcar no Brasil. Este sistema de colheita pode melhorar a sustentabilidade do solo, especialmente das áreas antigas, onde a derrubada da vegetação nativa e a introdução da cana-de-açúcar, no manejo convencional com uso intensivo de grades, causaram redução da matéria orgânica (BALL-COELHO et al., 1993).

MENDONZA et al. (2000), em sistemas de corte da cana-de-açúcar em Podzólico Amarelo, textura arenosa, verificaram, após cinco anos, incremento no teor de carbono orgânico na profundidade de 0,0-0,1m, com aumento da fração humina e ácidos fúlvicos na matéria orgânica do solo, importantes na agregação do solo, em cana crua comparada à queimada. CEDDIA et al. (1999), no mesmo solo e condições de estudo, verificaram maior porosidade total, maior microporosidade e maior diâmetro médio

ponderado na cana crua, na profundidade de 0,0-0,5 m. BLAIR et al. (1998), em estudos com sistemas de colheita de cana-de-açúcar, na Austrália, obtiveram teores superiores de carbono orgânico, de carbono lábil e estabilidade de agregados em cana crua, em relação à cana queimada. BLAIR (2000) obteve maior teor de carbono orgânico e maior diâmetro médio geométrico dos agregados em solos não cultivados e em sistema de colheita cana crua, em relação a solos cultivados na entrelinha e cana queimada.

Embora a literatura aponte alguns efeitos benéficos nas condições físicas do solo em função da colheita da cana crua, em detrimento da cana queimada, o volume de informações ainda é muito restrito, havendo necessidade de mais estudos em condições edáficas distintas, por um período experimental longo, com, pelo menos, dois ciclos de cultivo (cerca de 10 anos) e as alterações em relação à vegetação nativa.

Este estudo teve o objetivo de avaliar o efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho eutroférico argiloso.

## Material e métodos

O estudo foi realizado em um Latossolo Vermelho eutroférico argiloso, A moderado caulinitico-oxidico (LVef), no município de Pradópolis (SP). A caracterização granulométrica do solo é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios (n = 5) de argila, silte e areia em três sistemas de uso e quatro profundidades no Latossolo Vermelho eutroférico.

Table 1 – Clay, silt, and sand levels of occurrence in an Oxisol submitted to three types of soil use. Mean values (n = 5).

Sistema de Uso / Type of soil use	Profundidade (m) / Soil depth (m)			
	0,0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4
	Argila (g kg <sup>-1</sup> ) / Clay (g kg <sup>-1</sup> )			
Cana queimada / Burnt sugar cane	476	504	572	578
Cana crua / Green sugar cane	502	520	542	574
Mata nativa / Native forest	534	584	628	626
	Silte (g kg <sup>-1</sup> ) / Silt (g kg <sup>-1</sup> )			
Cana queimada / Burnt sugar cane	298	276	252	244
Cana crua / Green sugar cane	360	350	324	268
Mata nativa / Native forest	330	298	284	278
	Areia (g kg <sup>-1</sup> ) / Sand (g kg <sup>-1</sup> )			
Cana queimada / Burnt sugar cane	226	220	176	178
Cana crua / Green sugar cane	138	130	134	158
Mata nativa / Native forest	136	118	88	96

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth

As coordenadas geográficas da área são 21° 19' de latitude sul e 48° 13' de longitude oeste, com altitude média de 600 m e relevo suave ondulado. O clima é o mesotérmico de inverno seco (Cwa), pelo critério de classificação climática de Köppen.

O delineamento experimental utilizado foi o de parcelas subdivididas, com cinco repetições e cinco subamostras por repetição, nos diferentes sistemas e profundidades avaliados. Os sistemas de uso foram: 1- cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) com queima e corte manual, desde 1975 (cana queimada); 2- cana-de-açúcar sem queima e corte mecanizado (CASE 7700) seguida de transbordo, desde 1993 (cana crua); 3- mata nativa. A cada cinco anos, é realizado um novo plantio de cana-de-açúcar, com preparo da área com grade aradora, subsolagem e grade niveladora para cana queimada e subsolagem e erradicação química (herbicida) para cana crua. A subsolagem foi realizada a 0,4 m de profundidade nos dois sistemas.

As amostras de solo foram coletadas em 2003, após a colheita da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3 e 0,3-0,4 m. As amostras deformadas foram passadas em peneira de 2 mm para a determinação da composição granulométrica por meio da dispersão com água e NaOH (0,1 mol L<sup>-1</sup>) e agitação lenta (16 horas), sendo a argila obtida pelo método da pipeta, segundo a EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1997). Para a determinação do grau de floculação das argilas, não foi utilizado dispersante químico, sendo obtido a partir da expressão (argila total – argila dispersa em água)/argila total. O carbono orgânico foi obtido por oxidação (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997), e a matéria orgânica, multiplicando-se o carbono orgânico pelo fator 1,724. As amostras indeformadas foram secas ao ar e passadas na peneira de 7,93 mm para a determinação da estabilidade de agregados após pré-umedecimento com álcool, segundo a EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1997), utilizando as peneiras com abertura de malha de 4,76; 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,125 mm, e agitação lenta por 15 minutos.

Amostras indeformadas foram coletadas com anéis volumétricos de 0,03 m de altura e 0,048 m de diâmetro, para a determinação da micro e macroporosidade, utilizando a mesa de tensão (OLIVEIRA, 1968). A porosidade total foi determinada segundo a EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1997), a microporosidade, por secamento (0,006 MPa) e a macroporosidade, por diferença entre a porosidade total e a microporosidade. A densidade do solo foi determinada segundo a EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1997).

A resistência do solo à penetração foi determinada nas profundidades de 0,0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3 e 0,3-

0,4 m, com o penetrômetro de impacto (modelo IAA/Planalsucar- Stolf), com ângulo de cone de 30°, e os resultados, transformados segundo STOLF (1991).

Realizou-se a análise de variância e, quando significativa, aplicou-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias.

## Resultados e discussão

Os teores de matéria orgânica foram mais alterados na profundidade de 0,0-0,1 m (Tabela 2), apresentando menores teores no sistema de colheita de cana queimada, seguida pela cana crua, em comparação com a mata nativa, confirmando os estudos de BLAIR et al. (1998), SKJEMSTAD et al. (1999), BLAIR (2000) e MENDONZA et al. (2000). Os menores teores de matéria orgânica no sistema de cana queimada devem-se à queima, que é realizada antes da colheita, e ao efeito do preparo do solo com subsolagem, grade aradora e niveladora, ao passo que, no sistema de cana crua, é realizada apenas a subsolagem.

Verifica-se que, no sistema com mata, ocorreu decréscimo do teor de matéria orgânica a partir de 0,1 m, no sistema com cana crua, a partir de 0,2 m e na cana queimada, a partir de 0,3 m. Os sistemas de cultivo com cana-de-açúcar não diferiram quanto aos teores de matéria orgânica na profundidade de 0,1-0,4 m, corroborando os estudos de MENDONZA et al. (2000). Estes sistemas apresentaram menor teor de matéria orgânica em relação à mata nativa, confirmando os estudos de BEUTLER et al. (2002), em que se verificaram valores superiores a 1,5 vez na mata nativa até a profundidade de 0,3 m, em Latossolo Vermelho eutroférico argiloso. Estes valores superiores na mata são coerentes com o não-revolvimento do solo, a adição anual de matéria orgânica e a maior atividade biológica, principalmente da fauna.

O grau de floculação das argilas foi maior em profundidade, em todos os tratamentos, e para a mata nativa (Tabela 2). Estes resultados mostram que o conteúdo de argila no solo (Tabela 1) tem maior influência na floculação das argilas, em relação às pequenas variações no conteúdo de matéria orgânica. Isso é demonstrado ao observar que o teor de matéria orgânica é superior na superfície, em todos os tratamentos, e, no caso da mata, é duas vezes superior na profundidade de 0,1 m, em relação a 0,4 m (> 25 g dm<sup>-3</sup>). Assim, verifica-se que a floculação das argilas teve o mesmo comportamento verificado para o conteúdo de argila.

PRADO & CENTURION (2001) verificaram, em Latossolo Vermelho textura média, que, na mata com 30% a mais de matéria orgânica, ocorreu maior grau de floculação das argilas, em comparação com a cana-de-açúcar, na qual são observados maiores valores de

Tabela 2 – Valores médios (n = 5) de matéria orgânica, floculação das argilas, estabilidade e classe de agregados em três sistemas de uso e quatro profundidades no Latossolo Vermelho eutroférico<sup>1</sup>.

Table 2 – Organic matter, clay flocculation, aggregate stability, and aggregate class in an Oxisol submitted to three types of soil use<sup>1</sup>. Mean values (n = 5).

Profundidade / Depth (m)	Cana queimada / Burnt sugar cane	Cana crua / Green sugar cane	Mata nativa / Native forest	Cana queimada / Burnt sugar cane	Cana crua / Green sugar cane	Mata nativa / Native forest
	Matéria orgânica (g dm <sup>-3</sup> ) / Organic matter(g dm <sup>-3</sup> )			Floculação das argilas (%) / Clay flocculation (%)		
0,0 – 0,1	24,4 Ca	27,6 Ba	50,6 Aa	28,8 Bb	30,0 Bc	35,2 Ab
0,1 – 0,2	23,6 Bab	25,6 Bab	38,8 Ab	31,2 Ba	32,6 Bb	37,2 Ab
0,2 – 0,3	22,6 Bab	23,6 Bb	30,0 Ac	31,0 Ca	35,6 Ba	42,0 Aa
0,3 – 0,4	21,8 Bb	21,0 Bc	25,6 Ad	31,0 Ca	37,2 Ba	43,8 Aa
CV (%)		4,17			2,94	
	DMG (mm) <sup>2</sup>			Agregados > 2 (mm) / Aggregates > 2 (mm)		
0,0 – 0,1	2,31 Ca	3,25 Ba	4,40 Aa	62,20 Ca	74,21 Ba	93,18 Aa
0,1 – 0,2	2,11 Cab	2,61 Bb	3,36 Ab	58,49 Bab	63,72 Bb	77,66 Ab
0,2 – 0,3	1,82 Cbc	2,28 Bbc	2,79 Ac	53,21 Bb	57,65 Bc	67,10 Ac
0,3 – 0,4	1,81 Bc	2,05 ABc	2,30 Ad	47,00 Bc	52,54 Bc	59,03 Ad
CV (%)		7,28			4,20	
	Agregados 2-1 (mm) / Aggregates 2-1 (mm)			Agregados < 1 (mm) / Aggregates < 1 (mm)		
0,0 – 0,1	16,33 Aa	15,79 Aa	4,11 Bb	21,47 Ab	10,00 Bb	2,70 Bc
0,1 – 0,2	17,75 Aa	20,53 Aa	13,03 Aa	23,76 Aa	15,75 ABab	9,31 Bbc
0,2 – 0,3	18,44 Aa	21,36 Aa	18,09 Aa	29,65 Aa	20,98 ABab	14,80 Bab
0,3 – 0,4	20,84 Aa	22,89 Aa	20,04 Aa	32,16 Aa	24,56 Aa	20,94 Ba
CV (%)		20,84			22,02	

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, para a mesma variável, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade; <sup>2</sup> DMG – diâmetro médio geométrico dos agregados.

<sup>1</sup> Means followed by the same capital letter within lines and the same small letter within columns for the same variable are not different by the Tukey test at 5% of probability level; <sup>2</sup> DMG – geometrical mean diameter of the aggregates.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

pH e de dispersão das argilas pelo aumento da carga líquida. A hipótese da dispersão das argilas com o maior valor de pH e o efeito do manejo do solo na redução do conteúdo de matéria orgânica e desestruturação do solo, mencionados por PRADO & CENTURION (2001), possivelmente explicam o menor grau de floculação das argilas na superfície e nos sistemas com cana-de-açúcar, em relação à mata nativa.

A estabilidade de agregados, na profundidade de 0,0-0,1 m, foi superior na mata, seguida da cana crua e da cana queimada (Tabela 2), acontecendo o mesmo com o teor de matéria orgânica no solo. O diâmetro médio geométrico (DMG) foi 29 e 48% superior para a cana crua e para a mata, em comparação com a cana

queimada, concordando com os estudos de BLAIR (2000), que verificou DMG superior em 30% na cana crua, em relação à cana queimada, na profundidade de 0,0-0,1 m, após seis anos. CEDDIA et al. (1999), em Podzólico Amarelo, verificaram, após cinco anos, maior DMP na cana crua, em relação à cana queimada, na profundidade de 0,0-0,05 m, o qual se deve ao maior teor de matéria orgânica, verificado no mesmo experimento por MENDONZA et al. (2000).

O maior DMG na cana crua, em relação à queimada, é função, principalmente, da permanência de resíduos orgânicos na superfície do solo, os quais se decompõem pela ação de microorganismos e, segundo ANGERS (1992), resultam na formação de inúmeros compostos

importantes para a cimentação e a estabilização dos agregados. Além disso, na implantação da cana queimada, é realizada a operação de preparo do solo com grade aradora e niveladora, que tem ação de desagregar o solo, fato que contribui para a menor estabilidade, conforme também foi mencionado por CORRÊA (2002), sendo o DMG superior em solos menos revolvidos pelas operações de preparo, na camada superficial. Ainda é importante mencionar que, apesar de a cana-de-açúcar ser uma gramínea, e, segundo SILVA & MIELNICZUK (1997), as gramíneas proporcionarem maior benefício na agregação, em consequência da maior densidade de raízes, este benefício foi inferior quando comparado aos conteúdos de matéria orgânica e argila superiores na mata.

Observou-se que, na camada superficial, o solo apresenta maiores DMG e agregados > 2 mm, menor quantidade de agregados < 1 mm e maior teor de matéria orgânica. Além disso, a maior estabilidade de agregados em superfície ocorre em consequência da maior concentração de raízes nas camadas superficiais. Essa maior concentração de raízes na superfície, possivelmente, explica a maior estabilidade de agregados, o que não é verificado com a floculação das argilas, que foi mais dependente das partículas do solo mais finas. Nas frações de agregados > 2 mm, destaca-se a mata, seguida pela cana crua. Nas frações < 1 mm, os maiores valores foram obtidos na cana queimada, resultados condizentes com o menor conteúdo de

matéria orgânica, mostrando os efeitos negativos da queimada na estrutura do solo. Na classe de agregados entre 2 e 1 mm, com exceção da mata na profundidade de 0,0-0,1 m, não foram encontradas diferenças, concordando com os estudos de BEUTLER et al. (2001) em sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho muito argiloso.

Na Tabela 3, observa-se que os sistemas de uso com cana-de-açúcar aumentaram a densidade do solo até a profundidade de 0,4 m em relação à mata nativa, confirmando os estudos de HAKANSSON & VOORHEES (1997), os quais verificaram que, em sistemas com pouco revolvimento do solo e tráfego de máquinas pesadas, ocorre compactação do solo até 0,4 m. O aumento da densidade do solo até a profundidade de 0,4 m, nos dois sistemas de colheita de cana, deve-se ao tráfego de máquinas pesadas durante o plantio e a colheita. Entretanto, notam-se valores superiores para a cana crua, porém não significativos na profundidade de 0,1-0,4 m. Os maiores valores de densidade do solo na profundidade de 0,1 m, na cana crua, são coerentes com o maior tráfego de máquinas na colheita, confirmando os estudos de HARTEMINK (1998). SILVA et al. (2000) afirmaram que, com a modernização da agricultura, o peso das máquinas e equipamentos e a intensidade de uso do solo têm aumentado, processo esse que não foi acompanhado por um aumento proporcional do tamanho e da largura dos pneus, resultando em maior

Tabela 3 – Valores médios (n = 5) de densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, em três sistemas de uso e quatro profundidades no Latossolo Vermelho eutroférico<sup>1</sup>.

Table 3 – Soil density, total porosity, macroporosity, and microporosity of an Oxisol submitted to three types of soil use<sup>1</sup>. Mean values (n = 5).

Profundidade / Depth (m)	Cana queimada / Burnt sugar cane	Cana crua / Green sugar cane	Mata nativa / Native forest	Cana queimada / Burnt sugar cane	Cana crua / Green sugar cane	Mata nativa / Native forest
Densidade do solo (Mg m <sup>-3</sup> ) / Soil density (Mg m <sup>-3</sup> )			Porosidade total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) / Total porosity (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )			
0,0 – 0,1	1,33 Ba	1,42 Aa	0,85 Cc	0,40 Ba	0,37 Ba	0,75 Aa
0,1 – 0,2	1,38 Aa	1,41 Aa	1,00 Bb	0,37 Ba	0,37 Ba	0,67 Ab
0,2 – 0,3	1,36 Aa	1,42 Aa	1,08 Ca	0,40 Ba	0,37 Ba	0,59 Ac
0,3 – 0,4	1,37 Aa	1,39 Aa	1,13 Ba	0,39 Ba	0,37 Ba	0,53 Ad
CV (%)	2,30		3,22			
Macroporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) / Macroporosity (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )			Microporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) / Microporosity (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )			
0,0 – 0,1	0,11 Ba	0,05 Ca	0,35 Aa	0,29 Ca	0,32 Ba	0,40 Aa
0,1 – 0,2	0,09 Bb	0,06 Ca	0,32 Ab	0,30 Ba	0,31 Ba	0,35 Ab
0,2 – 0,3	0,11 Ba	0,05 Ca	0,26 Ac	0,30 Ba	0,31 ABa	0,33 Abc
0,3 – 0,4	0,09 Bb	0,05 Ca	0,22 Ad	0,30 Aa	0,31 Aa	0,31 Ad
CV (%)	8,91		3,68			

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, para a mesma variável, não diferem pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

<sup>1</sup> Means followed by the same capital letter within lines and the same small letter within columns for the same variable are not different by the Tukey test at 5% of probability level.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

risco à compactação do solo e redução da produtividade das culturas.

A porosidade total e a macroporosidade do solo sob mata nativa foram superiores em todas as profundidades, o que é condizente com os menores valores de densidade do solo e os maiores teores de matéria orgânica, pois esta atua na estruturação do solo, confirmando as pesquisas de CARVALHO et al. (1991) e CERRI et al. (1991). A maior densidade do solo, na profundidade de 0,0-0,1 m, refletiu-se em menor macroporosidade e aumento da microporosidade no sistema de cana crua, comparada à cana queimada. Ainda, os valores superiores de microporosidade na mata nativa, na profundidade de 0,0-0,2 m, em relação aos sistemas com cana, ocorrem por causa dos altos valores de porosidade total decorrentes dos elevados conteúdos de matéria orgânica (50 g dm<sup>-3</sup>) para solos tropicais.

No sistema com cana crua, verificaram-se os menores valores de macroporosidade do solo, em

todas as profundidades, inclusive menores que 10%, considerado como valor mínimo de porosidade de aeração necessário ao desenvolvimento do sistema radicular (GUPTA & ALLMARAS, 1987). Neste contexto, CARVALHO et al. (1991) afirmaram que a macroporosidade é a mais afetada pelo cultivo contínuo de cana-de-açúcar.

A resistência do solo à penetração foi superior nos sistemas com cana-de-açúcar em relação à mata nativa (Tabela 4), o que é coerente com o maior tráfego de máquinas e a maior densidade do solo, confirmando os estudos de HAKANSSON & VOORHEES (1997) e HARTEMINK (1998). Observa-se, ainda, que a resistência à penetração não diferiu entre cana crua e queimada até a profundidade de 0,2 m, sendo superior na cana crua, na profundidade de 0,2-0,4 m. No entanto, verifica-se que a umidade gravimétrica foi maior em todas as profundidades para a cana crua. Deve-se considerar que, em sistemas com maior atividade biológica, principalmente da fauna do solo, maiores valores de

Tabela 4 – Valores médios (n = 5) de resistência do solo à penetração, umidade gravimétrica e volumétrica, em três sistemas de uso e quatro profundidades no Latossolo Vermelho eutrófico<sup>1</sup>.

Table 4 – Soil resistance to penetration, gravimetric and volumetric humidity of an Oxisol submitted to three types of soil use<sup>1</sup>. Mean values (n = 5).

Sistema de uso / Type of soil use	Profundidade (m) / Depth (m)			
	0,0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4
Resistência do solo à penetração (MPa) / Soil resistance to penetration (MPa)				
Cana queimada / Burnt sugar cane	1,46 Ab	4,39 Aa	4,07 Ba	4,24 Ba
Cana crua / Green sugar cane	1,82 Ac	4,24 Ab	5,48 Aab	6,04 Aa
Mata nativa / Native forest	0,62 Bc	1,50 Bbc	2,52 Cb	3,92 Ba
CV (%)	16,29			
Umidade (kg kg <sup>-1</sup> ) / Water content (kg kg <sup>-1</sup> )				
Cana queimada / Burnt sugar cane	0,219 Ca	0,219 Ba	0,230 Ba	0,220 Ba
Cana crua / Green sugar cane	0,286 Ba	0,284 Aa	0,286 Aa	0,287 Aa
Mata nativa / Native forest	0,327 Aa	0,291 Ab	0,277 Ab	0,268 ABb
CV (%)	5,25			
Umidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) / Water content (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )				
Cana queimada / Burnt sugar cane	0,291 Ba	0,302 Ba	0,309 Ba	0,301 Ba
Cana crua / Green sugar cane	0,405 Aa	0,401 Aa	0,406 Aa	0,401 Aa
Mata nativa / Native forest	0,277 Ba	0,293 Ba	0,298 Ba	0,304 Ba
CV (%)	5,46			

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, para a mesma variável, não diferem pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

<sup>1</sup> Means followed by the same capital letter within lines and the same small letter within columns for the same variable are not different by the Tukey test at 5% of probability level.

The numbers after the comma are decimals. Example: 1,1 = one and one tenth.

resistência à penetração são tolerados pelas culturas, conforme citado por ARSHAD et al. (1996).

A resistência do solo à penetração é extremamente dependente do conteúdo de água no solo, com relação inversa, conforme demonstrado por IMHOFF et al. (2001). Assim, pode-se inferir que, se os dois sistemas estivessem com o mesmo conteúdo de água no solo, a cana crua apresentaria valores superiores à cana queimada. Mas, como as determinações foram realizadas na mesma data, deve-se, inicialmente, destacar o efeito dos restos culturais sobre a estrutura do solo e, conseqüentemente, maior conteúdo de água no solo, conforme mencionado por SPERA et al. (2000). SANTOS et al. (1992) verificaram valores duas vezes maiores em pastagem não queimada comparada à queimada, em Latossolo Vermelho-Amarelo, atribuídos à formação da crosta superficial no solo, que diminui a infiltração de água. Assim, pode-se inferir que a restrição ao crescimento da cana-de-açúcar em relação à resistência do solo à penetração é próxima para os dois sistemas de colheita.

Em relação à umidade volumétrica do solo, na literatura, verifica-se que muitos autores mencionaram que a matéria orgânica tem grande influência na retenção de água no solo, fato não comprovado neste estudo. Verifica-se que a mata, com valores de matéria orgânica quase duas vezes superiores aos da cana crua, apresenta valores inferiores de conteúdo de água no solo, porém a mata apresenta os menores valores de densidade do solo. Isso demonstra que pequenas variações no conteúdo de matéria orgânica têm menor influência na retenção de água, em comparação com a densidade do solo, conforme também foi observado por BEUTLER et al. (2002). Já na cana crua, verifica-se maior retenção de água comparada à cana queimada, onde ocorre menor infiltração de água (SANTOS et al., 1992), e aos maiores valores de densidade e matéria orgânica no solo, não significativos na profundidade de 0,1-0,4 m.

Considerando que a cana crua apresentou valores superiores de densidade do solo e que este sistema de colheita está aumentando progressivamente, é extremamente importante intensificar os estudos com suporte de carga desses solos, para evitar excessiva compactação, conforme mencionado por KONDO & DIAS JÚNIOR (1999). Além disso, LAL (2000) afirmou que a adoção de sistemas com a manutenção de resíduos na superfície, como o sistema de cana crua, é importante, em solos tropicais, para a redução da degradação do solo e do ambiente.

## Conclusões

Os sistemas de colheita de cana-de-açúcar com queima e corte manual (cana queimada) e sem queima

e com corte mecanizado (cana crua) alteraram os atributos físicos do solo até a profundidade de 0,4 m em relação ao solo da mata; entre os sistemas de colheita, as maiores diferenças ocorreram até a profundidade de 0,1 m.

O sistema de cana crua promoveu valores superiores de matéria orgânica, estabilidade de agregados, agregados > 2,00 mm, densidade do solo, microporosidade e conteúdo de água, em comparação com o sistema de cana queimada, na camada superficial do solo (até 0,1 m).

## Referências

AGRIANUAL 2002. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2001. p.223-231.

ANGERS, D. A. Changes in soil aggregation and organic carbon under corn and alfafa. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, n.4, p.1244-1249, 1992.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141. (SSSA Special Publication, 49).

BALL-COELHO, B.; TIESSSEN, H.; STEWART, J. W. B.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, V. S. B. Residue management effects on sugarcane yield and soil properties in Northeastern Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, n.5, p.1004-1008, 1993.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.3, p.829-834, 2002.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.129-136, 2001.

BLAIR, G. J.; CHAPMAN, L.; WHITBREAD, A. M.; BALL-COELHO, B.; LARSEN, P.; TIESSSEN, H. Soil carbon changes resulting from trash management at two locations in Queensland, Australia and in North-east Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.36, n.6, p.873-882, 1998.

BLAIR, N. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.55, n.3-4, p.183-191, 2000.

CARVALHO, S. R.; BRUAND, A.; HARDY, M.; LEPRUM, J. C.; JAMAGNE, M. Tassement des sols ferrallitiques Podzólico Vermelho Amarelo sous culture de canne à sucre (état de Rio de Janeiro, Brésil): apport d'une analyse de la porosité associée a une connaissance détaillée de la phase minérale. **Cahiers Orstom, Série Pedologie**, Bondy, v.26, n.1, p.195-212, 1991.

- CEDDIA, M. B.; ANJOS, L. H. C.; LIMA, E.; RAVELLI NETO, A.; SILVA, L. A. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.8, p.1467-1473, 1999.
- CERRI, C. C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das principais propriedades de um Latossolo Vermelho-Escuro após desmatamento e cultivo por doze e cinquenta anos com cana-de-açúcar. **Cahiers Orstom, Série Pedologie**, Bondy, v.26, n.1, p.37-50, 1991.
- CORREIA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados em um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p.203-209, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GUPTA, S. C.; ALLMARAS, R. R. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. **Advances in Soil Science**, New York, v.6, n.1, p.65-100, 1987.
- HAKANSSON, I.; VOORHEES, W. B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTIN, C. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: Lewis, 1997. p.167-179.
- HARTEMINK, A. E. Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea. **Geoderma**, Amsterdam, v.85, n.4, p.283-306, 1998.
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; DIAS JUNIOR, M. S.; TORMENA, C. A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.11-18, 2001.
- KONDO, M. K.; DIAS JÚNIOR, M. S. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.497-506, 1999.
- LAL, R. Soil management in the developing countries. **Soil Science**, Baltimore, v.165, n.1, p.57-72, 2000.
- MEIRELLES, M. L. Efeito do fogo sobre a umidade em área de campo sujo de cerrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.42, n.7, p.359-360, 1990.
- MENDONZA, H. N. S.; LIMA E.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. A.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. V. M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.201-207, 2000.
- OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e microporosidade pela "mesa de tensão" em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.3, n.1, p.197-200, 1968.
- PRADO, R. M.; CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.197-203, 2001.
- SANTOS, D.; BAHIA, V. G.; TEIXEIRA, W. G. Queimadas e erosão do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.16, n.176, p.62-68, 1992.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.1, p.113-117, 1997.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.5, p.795-801, 2000.
- SKJEMSTAD, J. O.; TAYLOR, J. A.; JANIK, L. J.; MARVANEK, S. P. Soil organic carbon dynamics under long-term sugarcane monoculture. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.37, n.1, p.151-164, 1999.
- SPERA, S. T.; REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SILVA, J. C. S. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro no cerrado de Planaltina, DF, submetido à ação do fogo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.9, p.1817-1824, 2000.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.229-235, 1991.

Recebido em 31-5-2004.  
Aceito para publicação em 25-11-2005.