

## VI-085 - MONITORAMENTO DE ATRIBUTOS DO SOLO EM ÁREA DE PLANTIO COMBINADO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM MATO GROSSO DO SUL

**Annelise Cirilo Pereira<sup>(1)</sup>**

Estudante de Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Bolsista do Programa de Formação de Recursos Humanos PB 10 pela Petrobras S.A.

**Laércio Alves de Carvalho<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela ESALQ/USP.

**Nélison Ferreira Corrêa<sup>(3)</sup>**

Estudante de Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS).

**Emília Carolina Konrad<sup>(4)</sup>**

Estudante de Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS).

**Carlos Alberto Machado Chuba<sup>(5)</sup>**

Engenheiro de Produção pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Mestre em Recursos Naturais pela UEMS/MS.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Cidade Universitária de Dourados, Caixa postal 351 - Dourados - MS - CEP: 79804-970 - Brasil - Tel: (67) 3902-2517 - e-mail: [annecirilo@hotmail.com](mailto:annecirilo@hotmail.com).

### RESUMO

O manejo inadequado do solo causa a sua degradação física e também a queda no rendimento de muitas culturas. Alguns indicadores físicos como a densidade do solo e a porosidade são usados para comparar qualidade de solo antes e depois de algumas práticas de cultivo impostas a ele. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi, a partir de algumas das propriedades físicas do solo, monitorar o seu nível de compactação. Foram escolhidos dois talhões de plantio combinado (ou duplo) de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) no sistema de colheita mecanizada, em Latossolo vermelho argiloso, nas dependências da Usina de bioenergia, no município de Rio Brillhante, em Mato Grosso do Sul. Nessas áreas, foram retiradas 80 amostras de solo (20 pontos em cada talhão), à camada de 0,1-0,3 m de profundidade, sendo uma amostra entre as linhas de canas de plantio combinado (por onde passa o maquinário) e outra no espaçamento da entrelinha. Para analisar se o método submetido para colheita da cana é sustentável, os dados obtidos no estudo foram comparados com os essenciais para a boa gestão e manejo do solo. A densidade do solo em ambas as áreas não superou  $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ , valor considerado limite máximo para solos argilosos. Esta situação não caracteriza uma tendência de compactação do solo na área de plantio de cana-de-açúcar.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cana-de-açúcar, Densidade do Solo, Porosidade Total, Qualidade do Solo.

### INTRODUÇÃO

No Brasil, um dos setores que mais cresce atualmente é o setor sucroalcooleiro, além de ser um dos mais competitivos do mundo (UNICA, 2011). O Mato Grosso do Sul, como Estado da região Centro-Oeste com baixa densidade demográfica e grande disponibilidade de terras, vem assistindo um *boom* na implantação de usinas sucroenergéticas. Atualmente, o Estado tem cultivado com cana 648 mil hectares, o que representa somente 3% da área ocupada pelo agronegócio. O governo afirma que o Estado tem potencial para produzir 20% do etanol do Brasil e abastecer 10% do mercado mundial nos próximos 30 anos. Muitos são os desafios neste novo cenário do Estado e tem levantado alguns questionamentos por parte do setor sucroalcooleiro e da sociedade civil, tais como: será que existe alta compactação no corte de colheita mecanizada; até que ponto a compactação reduz a produtividade, longevidade do canavial e sustentabilidade dos solos; os indicadores existentes podem ser utilizados na identificação e monitoramento desta compactação? Atualmente as unidades produtivas de Mato Grosso do Sul apresentam grande dificuldade para identificação e monitoramento da compactação do solo, pela carência de resultados de pesquisa no Estado, em virtude da recente introdução desta nova forma de plantio/colheita da cana-de-açúcar.

A qualidade do solo é um conceito amplo que se refere ao equilíbrio entre os condicionantes químicos, físicos e biológicos do solo. Para a sua avaliação tem sido postulada a necessidade de identificar parâmetros do seu estado de conservação e/ou degradação DORAN & ZEISS (1997). Os indicadores físico-hídricos de qualidade do solo são parâmetros utilizados para avaliar as possíveis mudanças ambientais no sistema solo-planta, principalmente na agricultura. A compactação do solo pelo uso de práticas inadequadas de manejo resulta diretamente em aumento na densidade do solo ( $D_s$ ) e, por consequência, em alterações detrimetais em outras propriedades físicas, tais como: a porosidade do solo, a retenção de água, a aeração e a resistência do solo à penetração das raízes (LETEY, 1985). Hill *et al.* (1985) mencionam que, mesmo com o aumento da  $D_s$ , os preparos com o mínimo revolvimento podem proporcionar maior quantidade de água disponível as plantas quando comparados ao preparo convencional, apesar de tais efeitos variarem com a textura e com o teor de matéria orgânica dos solos.

Outros autores argumentam que, nestes sistemas, a compactação ocasionada pelo tráfego de máquinas resulta em maiores valores de  $D_s$  e resistência do solo à penetração e em menores valores de macroporosidade (WATANABE *et al.*, 2002), com impactos negativos na produtividade das culturas. Alterações climáticas e desmatamentos constantes têm impulsionado a humanidade para uma maior reflexão sobre a prática de agricultura sustentável. O sistema de plantio direto tem por objetivo contribuir para um equilíbrio ambiental e sócio-econômico e sendo assim o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a influência do preparo na qualidade física de um Latossolo Vermelho, utilizando indicadores como: densidade do solo e porosidade total. Tendo em vista que os estudos sobre compactação do solo não atingiram ainda os níveis mais satisfatórios, o presente trabalho tem como principal objetivo avaliar o grau de compactação de um solo submetido à cultura da cana-de-açúcar e que foi submetido à colheita mecanizada. Para isso, foram realizados estudos específicos que, juntos, determinaram o grau de compactação desse solo.

A agricultura tradicional contribui para o empobrecimento dos solos. Muito se tem feito para buscar manejos e tecnologias que contribuam para a sustentabilidade dos agroecossistemas, em decorrência da crescente conscientização da sociedade sobre os impactos negativos das atividades agrícolas sobre o meio ambiente (FERREIRA, 2005). Tornar uma área nativa própria para a agricultura consiste em quebrar o equilíbrio de um sistema complexo, composto por organismos responsáveis pela estrutura do solo, que por sua vez, suprirá as necessidades do sistema exploratório agrícola (ARATANI, 2008). Daí a importância de estudos e do monitoramento da qualidade do solo, para mantê-lo permanentemente produtivo e sem degradação. Para um estudo específico sobre os níveis de compactação de um solo, faz-se necessário o conhecimento aprofundado sobre as propriedades físicas do mesmo. O monitoramento da compactação do solo é ferramenta essencial ao planejamento das práticas de cultivo a serem adotadas, visando sempre maximizar a rentabilidade agrícola (BEUTLER *et al.*, 2005). Para isso, é interessante uma literatura específica sobre a densidade e a porosidade do solo, dois atributos muito importantes para a avaliação da compactação.

O tráfego de máquinas, desde o preparo do solo até à colheita, contribui para aumentar as áreas com problemas de compactação do solo (SILVA, 2003), resultando num aumento da densidade (SILVA; CABEDA; LIMA, 2005). A resistência do solo à penetração de raízes e a densidade do solo estão relacionadas com o estado de compactação deste, e muitos trabalhos têm buscado valores que causem restrições ao crescimento das raízes das plantas e diminuição da produtividade. Segundo Aratani (2008), a densidade do solo possibilita a avaliação de sua estrutura, pois é a relação entre a massa de uma amostra de terra seca e o volume na condição natural (sem destruir sua estrutura). Ou seja, quanto menor a densidade, maior a estruturação do solo. O mesmo pode ser entendido por Kochhann *et al.* (2000), que diz que a compactação do solo é entendida como o aumento da sua densidade, resultante da complexa interação entre os processos físicos, químicos e biológicos diretamente relacionados com sua massa/volume. A densidade de partículas ( $D_p$ ) e a densidade do solo ( $D_s$ ) exercem papel importante na porosidade total e, como consequência, no movimento e armazenagem de água e ar no solo.

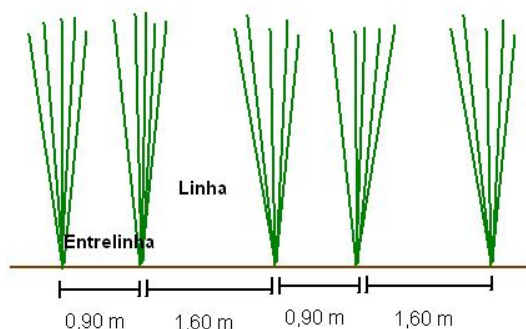
Assim, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver modelos de sustentabilidade estrutural do solo a partir dos estudos e das análises de proctor, porosidade total e densidade do solo, que, auxiliadas por técnicas geoestatísticas, identificaram os diferentes locais de variabilidade espacial dessa variável, que possibilitaram diagnosticar o comportamento estrutural do Latossolo vermelho argiloso sob o cultivo da cana-de-açúcar no Estado de Mato Grosso do Sul, fazendo uma recomendação de operações anuais mais sustentáveis para ela.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área agrícola nas dependências de uma Usina sucroalcooleira, localizada no município de Rio Brilhante, MS, e inserida na Bacia do Rio Paraná, sub-bacia do Rio Ivinhema, cujas coordenadas estão situadas a 21° 50' 52" de Latitude sul e 53° 57' 49" de Longitude oeste, com altitude média de 650 m. O relevo local é plano a suavemente ondulado, com solo Argissolo Vermelho distrófico arênico (Embrapa, 2006). O clima da região é caracterizado tipo Aw, tropical de savana com período chuvoso concentrado no verão e estação seca no inverno, de acordo com a classificação de Köppen, com precipitação média de 1440 mm ao ano.

O monitoramento foi realizado em dois talhões de cana, textura argilosa, sendo um de 23.75 hectares e o outro de 17.71 hectares, totalizando uma área de aproximadamente 41 ha. A primeira coleta das amostras foi feita nessas duas áreas no dia 24 de abril de 2012, onde a cana foi plantada em 2011 e colhida em julho 2012. A parcela experimental em cada área apresentou uma malha experimental de 20 pontos. Foram retiradas amostras em apenas uma profundidade de 0,10-0,30 m, utilizando-se anéis volumétricos de amostra indeformada (anel inoxidável), que, após coletados, foram envolvidos em papel laminado, identificados, acondicionados e encaminhados para análise física, seguindo metodologia da EMBRAPA (1997). Os atributos físicos estudados foram analisados no laboratório de solos da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – *Campus* de Aquidauana.

Na mesma localização dos pontos, as canas foram coletadas, contadas e pesadas para a determinação das variáveis agroindustriais. Os pontos e as áreas de coleta das amostras foram georeferenciadas com o uso de um GPS para demarcação da área de estudo. As áreas escolhidas foram submetidas ao método de plantio combinado, também chamado de plantio duplo. A área experimental desse projeto apresenta um espaçamento de 0,90 m na entrelinha e 1,60 m nas linhas até a próxima dupla (plantio combinado), conforme o esquema da Figura 1. Sendo assim, a coleta consistiu em tirar 40 amostras de solo em cada talhão (total de 80 amostras), sendo que em cada ponto, eram retiradas duas amostras, uma na entrelinha (dentro) e outra na linha de cana (fora).



**Figura 1. Esquema de representação do espaçamento do plantio combinado de cana-de-açúcar.**

Para as determinações de densidade e porosidade, as amostras foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de 2/3 da altura do anel. Após a saturação ter sido estabelecida (aproximadamente 24h), foi realizado o procedimento para obtenção da macroporosidade pelo método da mesa de tensão com 60 cm de coluna de água (6 KPa). Posteriormente, as amostras foram levadas à estufa a 105-110°C, também por aproximadamente 24 horas, para determinar a Ds pelo método do anel volumétrico.

O Cálculo da densidade foi realizado utilizando a seguinte fórmula:

$Ds = Mss / Va$ , sendo:

equação (1)

Ds = densidade do solo ( $Mg\ m^{-3}$ );

Mss = massa de solo seco em estufa a 105° C (gramas), e

Va = volume do anel / Vc= cilindro ( $cm^3$ ).

A porosidade total do solo (Pt) foi calculada pela Equação 2:

$$Pt (\%) = \% \text{ macroporosidade} + \% \text{ microporosidade} \quad \text{equação (2)}$$

As ferramentas da estatística clássica foram utilizadas nos dados brutos para as análises de, média, desvio padrão, coeficiente de variação, erro padrão, ambas calculadas com o auxílio do programa software BioEstat (5.3). Assim após a análise descritiva, as técnicas geoestatísticas foram empregadas na construção de semivariogramas experimentais, considerando o maior  $R^2$  (coeficiente de determinação) e o menor SQR (soma de quadrados do resíduo) parâmetro utilizado pelo programa GS+ como ajuste. Obtendo o grau de dependência espacial das quantidades de aplicação da vinhaça no canavial, correlacionando a dependência dos modelos de campo com os modelos teóricos, por meio dos semivariogramas e ajustando a um dos modelos tradicionais: esférico, exponencial, linear e o gaussiano.

O dados processados pelo GS+ originaram os semivariograma experimental gerando os parâmetros: Efeito pepita (Co), Alcance (a) e Patamar (C), além do formato da curva que melhor ajusta aos pontos experimentais na região, os quais caracterizam os aspectos da dependência espacial dos modelos.

## RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os resultados dos atributos físicos analisados, feitos do Laboratório de Solos da UEMS de Aquidauana. Esses atributos foram Porosidade Total e Densidade do Solo. Quando se referido à dentro é na entrelinha de cana e, fora, significa na linha de cana (Figura 1).

Conforme a Tabela 1, podemos considerar os coeficientes de variação (CV) das amostras como sendo menor que 35%, conforme Ortiz (2003) e Marques Jr (2008) mostrando que para estas amostras o valor de CV é baixo, sendo aceito devido aos experimentos serem proveniente de dados de campo, assim são classificados como homogêneo e a médias tem significado representativo.

A média é uma medida de tendência central bastante influenciada pelos valores extremos, assim não é suficientemente adequada para uso quando existe muita distorção de normalidade, o que ocorre com algumas amostras. A Mediana por outro lado, não está sujeito a problemas de valores extremos, porém pode não representar confiavelmente os dados se estes estiverem agrupados com valores concentrados a esquerda ou a direita da amostra. Considerando que os valores da média e mediana estão relativamente próximas, predizendo que os dados possuem simetria e normalidade, exigida na estatística convencional (COSTA NETO, 2002).

**Tabela 1- Medidas descritivas dos dados de densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) e porosidade total (%) na região da linha e na entrelinha**

Amostra	Porosidade entrelinha	Porosidade linha	Densidade entrelinha	Densidade linha
Mediana	52.36	52.80	1.21	1.25
Média Aritmética	53.79	53.00	1.21	1.24
Desvio Padrão	5.29	2.97	0.09	0.10
Variância	28.0	8.84	0.008	0.010
Coeficiente de Variação (%)	9,8	5.6	7.7	7.9
Mínimo	46.0	46.9	0.99	1.02
Máximo	73.5	59.2	1.39	1.39

Os resultados apresentados na Tabela 2 foram obtidos através do Teste de Proctor. Pode-se observar que os valores de Densidade do Solo foram parecidos em ambos os talhões (10 e 11). KIEHL enfatiza que para solos argilosos, a densidade é considerada ideal quando assume níveis que variam entre 1,0 e 1,2  $\text{g cm}^{-3}$ . Assim, valores como 1,54 e 1,58  $\text{g cm}^{-3}$  estão acima do intervalo sugerido por KIEHL para este tipo de solo. Para cana-de-açúcar, um aumento na densidade do solo, principalmente na camada superficial, prejudicaria o desenvolvimento do sistema radicular, já que esta cultura tem seu nível de exploração nutricional arranjado na

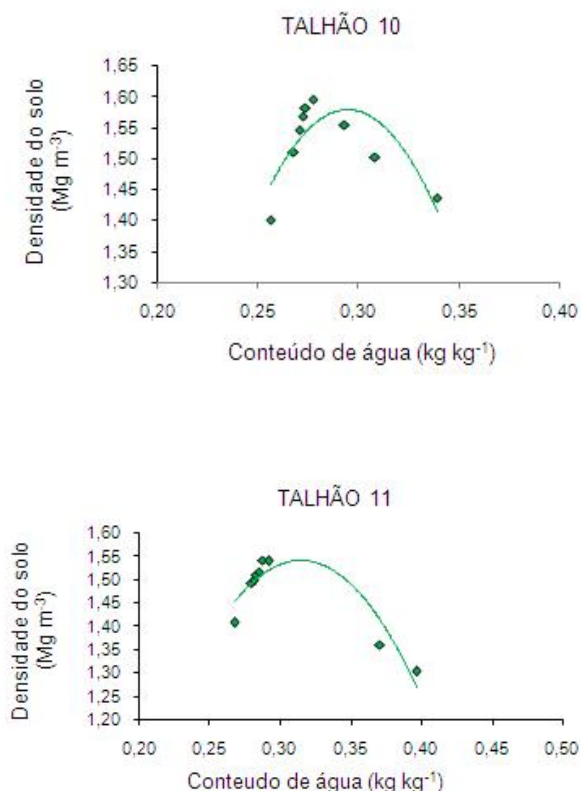
camada arável do solo. Densidades muito altas podem comprometer a respiração das raízes e exercer resistência ao seu desenvolvimento.

Vários trabalhos propõem valores similares de índice crítico para  $D_s$ , que variam de acordo com o solo. Segundo ALVARENGA *et al.* (1996) e CORSINI & FERRAUDO (1999), em solos argilosos, esse índice é de  $1,27 \text{ g cm}^{-3}$ . CAMARGO & ALLEONI (1997) propuseram que em Latossolo Vermelho o valor crítico relativo à densidade do solo é superior a  $1,1 \text{ g cm}^{-3}$  e MARIA *et al.* (1999) indicam valor crítico superior a  $1,2 \text{ g cm}^{-3}$  para Latossolo Roxo. De maneira geral, o valor de  $1,40 \text{ g cm}^{-3}$  é aceito como limite crítico, que aumenta com o decréscimo do teor de argila do solo (ARSHAD *et al.*, 1996).

O Talhão 11 foi o que apresentou o melhor ajuste ( $R^2 = 0.869$ ) para densidade do solo. A Figura 2 mostra as curvas obtidas a partir do Teste de Proctor, relacionando Densidade do Solo e Umidade Gravimétrica Crítica.

**Tabela 2 – Umidade gravimétrica crítica ( $U_{gc}$ ) e Densidade máxima do solo ( $D_{smáx}$ ) determinada pelo ensaio de Proctor.**

Manejo	$U_{gc}$ ( $\text{kg kg}^{-1}$ )	$D_{ms}$ ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Equação	$R^2$
T10	0,29	1,58	$D_s = -83.36u^2 + 49.15u - 5.666$	0.635
T11	0,31	1,54	$D_s = -40.39u^2 + 25.41u - 2.454$	0.869
T10: Talhão 10/ T11: Talhão 11				



**Figura 2- Densidade máxima ( $D_{smáx}$ ) e umidade gravimétrica crítica ( $U_{gc}$ ) de um Latossolo Vermelho determinada pelo ensaio de Proctor em diferentes sistemas de manejo, Dourados, 2012.**



## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A metodologia proposta foi eficiente para visualizar a diferença entre níveis de resistência a penetração em área de plantio combinado de cana-de-açúcar.

A densidade do solo em ambas as áreas não superou  $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ , valor considerado limite máximo para solos argilosos. Esta situação não caracteriza uma tendência de compactação do solo na área de plantio de cana-de-açúcar.

Neste caso, a descompactação poderia ser realizada através de operações como a escarificação, já que as camadas estudadas compreendem apenas os primeiros 0,10 m do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p. 319-326, 1996.
2. ARATANI, R. G. QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO SOB DIFERENTES MANEJOS E CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS NO ESTADO DE SÃO PAULO. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2008.
3. ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: **Soil Science Society of America**. Special publication:123-141, 1996.
4. BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:843-849, 2005.
5. CAMARGO, O.A. de; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Esalq, 1997. 132p.
6. CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.289-298, 1999.
7. DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, v.15, n.1, p3-11. 2000.
8. GS<sup>+</sup> (Geostatistics for the Environmental Sciences, version 7.0) GAMMA DESIGN SOFTWARE, *Accessible Geostatistics for Everyday Science* GeoStatistics for the Environmental Sciences, 2003
9. HILL, R.L.; HORTON, R.; CRUSE, M.R. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.49, p.1264-1270, 1985.
10. KIEHL, E. J.. Manual de Edafologia. Piracicaba – SP, Editora Agronômica Ceres, 1979. 262p.
11. KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; BERTON, A. L. Compactação e descompactação de solos. *Passo fundo: Embrapa trigo*, 2000. 20p.
12. LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. *Adv. Soil* 1:277-294, 1985.
13. MARQUES JÚNIOR, JOSÉ. SOUZA, ZIGOMAR MENEZES; PEREIRA, GENER TADEU, BARBIERI, DIOGO MAZZA. Variabilidade Espacial de Matéria Orgânica, P, K e CTC de um Latossolo Cultivado com Cana-de-açúcar por Longo Período. *REVISTA DE BIOLOGIA E CIÊNCIAS DA TERRA* - Volume 8 - Número 1 – 2008.
14. MARIA, I.C. de; CASTRO, O.M.; DIAS, H.S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.703-709, 1999.
15. SILVA, A.J.N. Alterações físicas e químicas de um Argissolo Amarelo coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 120p. (Tese de Doutorado).
16. SILVA, A. J. N. da; CABEDA, M. S. V.; LIMA, J. F. W. F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:833-842, 2005.
17. ÚNICA - União da Indústria de Cana-de-açúcar. Disponível em: < <http://www.unica.com.br/default.asp>> Último acesso em: 20 jul. 2012.

18. WATANABE, S.H.; TORMENA, C.A.; ARAUJO, M.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; MUNIZ, A.S. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico influenciadas por sistema de preparo de solo utilizados para implantação da cultura da mandioca. Acta Sci., v.24, p.1255-1264, 2002.