



AVALIAÇÃO DA DENSIDADE EM LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO POR MEIO DE GEORADAR

Everson Cezar, Marcos Rafael Nanni, Marcelo Luiz Chicati

Universidade Estadual de Maringá

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi de testar a capacidade de utilização do georadar na determinação da densidade do solo. Foram obtidas amostras de solos deformadas e indeformadas na linha e entrelinha de cana-de-açúcar em profundidades de 0-0,1 m; 0,1-0,2 m; 0,2-0,3 m; 0,3-0,4 m e 0,4-0,5 m para determinação da umidade e da densidade. Nestes mesmos locais e profundidades foram feitas investigações com o georadar para determinação da velocidade de propagação das ondas. Os resultados das amostras físicas demonstraram que a densidade foi maior na entrelinha quando comparada as linha, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) em quase todas as profundidades, pelo teste t. Os resultados obtidos pelo georadar mostraram que não foi possível avaliar a velocidade das ondas até a profundidade de 0,4 m. Para o intervalo de 0,4-0,5 m a velocidade foi maior na entrelinha em relação à linha, ocorrendo diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste t. A correlação entre a velocidade e a densidade do solo, não foi significativa ($p > 0,05$) não sendo possível neste caso, estimar a densidade por meio do GPR. A umidade foi à característica mais sensível à investigação com o georadar quando comparada à densidade. Sua correlação com a velocidade apresentou R^2 igual a -0,62, sendo significativo ($p < 0,05$).

Palavras-chave: solo, umidade, reflexão, cana-de-açúcar, velocidade.

ABSTRACT

The purpose of this study was to test the usability of GPR in determining the density. Were obtained soil samples disturbed and undisturbed in the row and between rows of sugar cane at depths of 0-0.1 m, 0.1-0.2 m, 0.2-0.3 m, 0.3-0.4 and 0.4-0.5 m for soil moisture and density. In these same locations and depths were made with the GPR investigations to determine the speed propagation of waves. The results of physical samples showed that density was greater in between rows when compared to the row, differing significantly ($p < 0.05$) in almost all depths, with the t test. The results showed that the GPR has not been possible to assess the waves speed to a depth of 0.4 m. For the range of 0.4-0.5 m speed was greater between rows in comparison to row, being noted significant difference ($p < 0.05$) by t test. The correlation between speed and soil density was not significant ($p > 0.05$) was not possible in this case, estimate the density through the GPR. The moisture was the feature most sensitive investigation with GPR when compared to the density. Its correlation with the speed equal to R^2 presented -0.62, being significant ($p < 0.05$).

Key words: soil, moisture, reflection, sugar cane, velocity.

INTRODUÇÃO

A compactação constitui uma das principais causas de degradação do solo, sendo considerada como a maior limitação à alta produtividade das culturas em todo o mundo, pois afeta diretamente o crescimento das raízes, diminui a capacidade de

infiltração de água no solo, aeração e reduz a translocação de nutrientes, resultando em uma pequena camada para ser explorada pelas raízes. O aumento na compactação do solo é acompanhado por um incremento na sua densidade e resistência mecânica, assim como por reduções na porosidade

total e macroporosidade (Dias Junior e Pierce, 1996).

Seu surgimento prejudica o trabalho das máquinas agrícolas, uma vez que a força de tração exigida para o trabalho do solo deve ser maior, quando comparada a um local não compactado. Muitos pesquisadores têm atribuído o surgimento da compactação principalmente à falta de um cronograma de trabalho bem definido, ou de modelos capazes de estimar a capacidade de suporte do solo. Além disso, seu cultivo intensivo e prolongado com determinadas culturas associado ao trabalho da lavoura com máquinas em períodos de umidade elevada tem acarretado em agravamento do problema.

De acordo com Freddi et al. (2007), diversos parâmetros vêm sendo empregados no reconhecimento e na determinação da compactação há vários anos, sendo a densidade, uma das mais aplicadas. Dentre os vários métodos usados para determinação da densidade, destaca-se o do cilindro volumétrico, porém, trata-se de um método destrutivo e em alguns casos trabalhoso, que deve ser executado com perícia e cautela, para evitar possíveis erros de amostragens. Esta dificuldade em obter as amostras em campo sem alterar sua estrutura encontra-se vinculada à introdução e retirada do anel no solo, assim como a umidade durante o trabalho (Lima et al., 2005).

Há, portanto, necessidade de desenvolver novos métodos para avaliação das características físicas dos solos, com o objetivo de substituir ou auxiliar os métodos já existentes, visando tornar o trabalho mais rápido e operacional.

Assim, a utilização do GPR (Ground Penetrating Radar) na avaliação de atributos físicos como a densidade, porosidade total e umidade volumétrica pode ser uma ferramenta de grande importância. O georadar tem sido utilizado por cientistas de solo para determinar a presença, a profundidade, a extensão e a variação lateral dos horizontes de solos, assim como suas propriedades. A técnica GPR tem tido grande sucesso e eficácia nas pesquisas realizadas pela rapidez de aquisição dos dados e dos resultados, aos custos mais baixos, quando comparados com outras técnicas de ensaio destrutivas, semidestrutivas e não-destrutivas. Embora os trabalhos com o GPR para determinação da densidade do solo tenham sido iniciados recentemente, esta técnica é considerada por muitos como promissora nos estudos de subsuperfície.

O objetivo deste trabalho foi de testar a capacidade de utilização do georadar na determinação da densidade do solo, em área cultivada com cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no município de Bom Sucesso estado do Paraná, em área utilizada há 15 anos com a cultura da cana-de-açúcar, limitada pelas coordenadas UTM 422150 m – 422450 m e 7381350 m – 7381550 m do Equador. Sua altitude média é de 580 metros s.n.m. O solo estudado foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO eutroférico (LVef) textura argilosa/muito argilosa (Embrapa, 2006).

O clima da região é classificado segundo Köppen, como Cfa, sendo subtropical úmido mesotérmico com verões quentes e geadas menos frequentes que outras regiões do estado, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. A média de precipitação anual apresenta-se em torno de 1500 a 1700 mm e a temperatura média anual entre 20 e 22 oC.

Na área experimental foram delimitados dois transeptos, sendo um na entrelinha de plantio, onde o tráfego de máquinas é mais intenso, e um na linha de cana-de-açúcar, onde não há tráfego. Em cada transepto foram demarcados 10 pontos para coleta das amostras de solo indeformadas. Nestes mesmos locais foram realizadas, numa segunda etapa, a amostragem de solo deformada para determinação da umidade gravimétrica e a investigação com o sistema GPR. A amostragem indeformada foi realizada utilizando amostrador de solo e cilindros volumétricos com 0,05 m de altura e diâmetro, nas profundidades de 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m, 0,3-0,4 m e 0,4-0,5 m, com a finalidade de determinar a densidade do solo. Todos os anéis foram coletados na porção intermediária das camadas de solo.

A profundidade de 0 a 0,5 m foi escolhida para análise por ter sido considerada a profundidade efetiva mais explorada pelo sistema radicular da cana-de-açúcar, apresentando a maior concentração de raízes (Fernandes, 1983), por representar o horizonte diagnóstico de superfície, além de ser mais afetada pelo tráfego de máquinas e pelo manejo (Barbieri et al., 1997).

Após a coleta, as amostras de solo foram envolvidas em folhas de papel alumínio e acondicionadas em caixas plásticas, sendo,

posteriormente, enviadas ao laboratório a fim de determinar a densidade. Após a secagem das amostras em estufa (+/- 105°C por 24h) a mesma foi determinada de acordo com Grossman e Reinsch (2002).

Para determinação da umidade no momento da leitura com o georadar, foram realizadas amostragens com trado tipo holandês em todas as profundidades investigadas. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em caixas de isopor para evitar perda de água, sendo posteriormente enviadas ao laboratório. A umidade gravimétrica foi determinada segundo Embrapa (1997), que prevê o uso de estufa a 105°C por 24 horas e pesagem. Posteriormente a umidade gravimétrica foi convertida em umidade volumétrica por meio da densidade do solo.

Para obtenção dos dados geofísicos, foi utilizado o GPR Ramac - X3M da Mala GeoScience, composto por antena blindada de 500 MHz, unidade de controle e computador portátil para geração dos radargramas.

Os trabalhos de campo com o georadar foram realizados nas mesmas profundidades investigadas com trado e cilindro volumétrico, para posterior busca de correlação com os resultados de umidade e de densidade. Os dados foram adquiridos com a antena blindada sendo deslocada sobre a superfície do terreno, próximo aos pontos de aquisição das amostras indeformadas.

Em cada profundidade investigada foi necessário produzir uma reflexão (hipérbole), a partir de um cilindro de ferro maciço com 0,07 m de diâmetro e 0,1 m de altura, de forma a indicar, na seção GPR, a velocidade de propagação da onda eletromagnética.

Para obter a maior razão sinal/ruído, e a melhoria dos registros durante a aquisição dos perfis GPR, cada traço foi empilhado 512 vezes. Esta escolha foi baseada em comparações entre registros obtidos com diferentes números de empilhamentos de sinais na área experimental. O número de amostras utilizadas para cada traço digitalizado foi de 512, com uma janela de tempo de 76 nanosegundos (ns), intervalo de amostragem a cada 0,05 m e frequência de amostragem de 6718 MHz. Após a aquisição dos dados brutos utilizando o software Ramac Groundvision do equipamento, estes foram processados por meio do software Reflexw versão 4.5.5.

O tratamento dos radargramas consistiu na aplicação do filtro subtract-DC-shift, para recuperação dos sinais em termos visuais, devido às perdas energéticas e espectrais decorrentes da propagação da onda até o seu registro nos receptores (Prado, 2000).

O delineamento experimental utilizado para avaliação da densidade e velocidade de propagação da onda foi o inteiramente casualizado, sendo realizadas 10 repetições por profundidade. A análise estatística foi realizada através do confronto de médias, duas a duas, por meio do teste t de Student ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pela avaliação da densidade mostraram que os maiores valores ocorreram no centro da entrelinha onde o tráfego de máquinas e implementos agrícolas é frequente, concordando desta maneira com Lima et al. (2006) e Costa et al. (2007). Da mesma forma, pode-se observar que as maiores alterações físicas na estrutura do solo ocorreram até a profundidade de 0,4 m, onde a densidade foi maior, estando de acordo com Souza et al. (2005) e Lima et al. (2006).

O manejo aplicado durante o ciclo da cultura e após a colheita, assim como o tempo de cultivo prolongado também contribuíram para o aumento da densidade na entrelinha, uma vez que a área encontrava-se em cultivo contínuo com cana-de-açúcar há cinco anos, sem ter sido realizada a renovação do canavial, como também demonstrado por Silva et al. (2003) e Paulino et al. (2004).

Os valores médios de densidade encontrados na linha variaram de 1,19 a 1,25 g cm⁻³, por outro lado, aqueles pertencentes à entrelinha variaram de 1,25 a 1,34 g cm⁻³, sendo considerados altos para a classe de solo existente na área de estudo, concordando com Souza et al. (2004).

A análise estatística dos dados realizada por meio do teste t de Student mostrou que há evidências probabilísticas ($p < 0,05$) de que a média de densidade encontrada na linha se difere daquela encontrada na entrelinha de cana-de-açúcar em quase todas as profundidades investigadas (Tabela 1).

A maior diferença significativa ocorreu na camada de 0 a 0,1 m, quando comparada às demais profundidades, isto porque, a camada superficial apresenta os maiores reflexos do tráfego e do cultivo prolongado. De acordo com Hakansson et al.

(1988) nesta camada ocorrem concentrações das cargas aplicadas, sendo acumulativas ao longo dos anos.

Com relação ao georadar, o mesmo não foi eficiente nas investigações rasas até a profundidade de 0,4 m, seja pelo solo muito argiloso ou pela zona rasa de interferência que acabaram mascarando os dados, tornando-os difíceis de serem interpretados pela fraca ou nenhuma reflexão, concordando com Fisher et al. (1992). A profundidade que melhor atendeu as investigações foi o intervalo de 0,4 a 0,5 m, sendo este utilizado para a discussão dos dados. Nesta profundidade as reflexões no formato de hipérbolos ficaram mais nítidas.

A interpretação dos resultados pós-campo foi realizada por meio de estudos visuais dos radargramas. Após a localização das hipérbolos derivadas do cilindro de ferro, foram determinados os valores de velocidades de propagação das ondas no solo para a linha e entrelinha de cana-de-açúcar.

A análise estatística realizada por meio do teste t mostrou que há diferença significativa ($p < 0,05$) entre a média de velocidade das ondas encontrada na linha e entrelinha de cana-de-açúcar para o intervalo de profundidade 0,4-0,5 m (Tabela 2), sendo esta, maior na entrelinha quando comparada as linha de plantio.

Esta diferença ocorreu pela variação no teor de água encontrado na linha e entrelinha de cana-de-açúcar durante a investigação com o GPR (Figura 1).

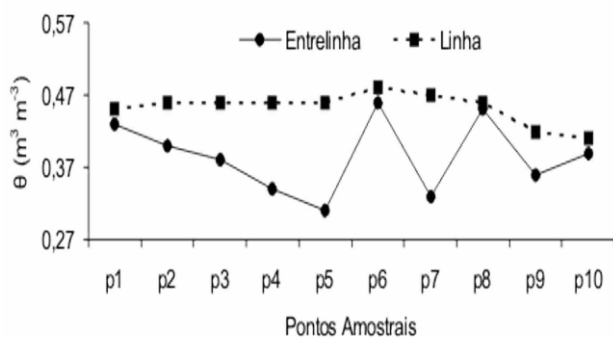


Figura 1. Umidade volumétrica obtida na linha e entrelinha de cana-de-açúcar, para a camada de 0,4 a 0,5 m, durante as investigações com o georadar. Cada símbolo do gráfico representa um ponto de amostragem, com sua respectiva umidade.

A densidade elevada, segundo Souza et al. (2004) da entrelinha, reduziu os espaços porosos do meio, que estavam preenchidos por água, fazendo com que estes fossem preenchidos por solo,

ocorrendo desta forma, concentração de massa. Assim, a redução do conteúdo de água na entrelinha, fez com que a atenuação sofrida por parte das ondas fosse menor quando comparada à linha, onde a umidade foi maior, concordando desta forma com Beres e Haeni (1991) e Dourado et al. (2003).

A correlação realizada por meio do programa estatístico SAS (SAS, 1999) entre a velocidade de propagação da onda no solo e a densidade mostrou que esse parâmetro físico contribuiu para mudança na velocidade das ondas, por alterar a porosidade do meio e consequentemente a umidade. Porém, seu efeito direto sobre a velocidade foi pequeno, impossibilitando desta forma, a utilização do georadar na estimação da própria densidade. Tal fato pode ser observado por meio da tabela 3, em que o valor do coeficiente de determinação foi igual a 0,23, não sendo significativo ($p > 0,05$).

No entanto, observa-se que mesmo a correlação não sendo significativa, pequenas alterações na densidade acabaram influenciando na umidade do meio, tendo reflexos sobre a resposta do GPR. A umidade foi à característica mais sensível a investigação com o georadar quando comparada à densidade, como também observado por Miller et al. (2002). A correlação realizada pelo SAS, entre a velocidade das ondas e a umidade volumétrica mostrou que o aumento da umidade no solo acarretou em redução na velocidade ($R^2 = -0,62$), sendo o coeficiente de determinação negativo e ao mesmo tempo significativo ($p < 0,01$) (Tabela 3).

A baixa correlação encontrada entre a velocidade das ondas e a densidade do solo, deve-se em parte, as condições físicas e químicas apresentadas pelo mesmo. Por se tratar de um solo muito argiloso, sua condutividade contribuiu para atenuação das ondas eletromagnéticas (Doolittle, 1987; Davis e Annan, 1989), levando a perda parcial do sinal eletromagnético. Essa perda de sinal afetou a velocidade de propagação das ondas no solo e seu retorno até a antena receptora, influenciando desta forma nos resultados.

CONCLUSÕES

1. Não é possível estimar a densidade do solo para classe estudada utilizando o georadar, uma vez que o elevado teor de argila atenua parte das ondas, prejudicando sua propagação e o seu retorno até o receptor;

2. A umidade apresenta-se como o parâmetro mais sensível à resposta do georadar quando comparada a densidade, uma vez que a propriedade da água tem maior influência sobre a condutividade das ondas eletromagnéticas em relação aos sólidos do solo, permitindo desta forma a utilização do GPR no estudo hídrico;

3. O emprego do georadar nas investigações de parâmetros físicos do solo ainda requer um período maior de estudo, devendo o mesmo, ser testado em solos com diferentes texturas,

principalmente arenosa onde a condutividade do meio é menor.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão de bolsa de Doutorado (Proc. n.141874/2009-0) ao primeiro autor, bolsa de Produtividade (Proc. n.310948/2006-1) ao segundo autor e bolsa de doutorado (Proc. n.134501/2004-7) ao terceiro autor.

Tabela 1. Valores médios e erros padrões da densidade do solo na linha e entrelinha de cana-de-açúcar em diferentes profundidades do Latossolo Vermelho eutroférico

Profundidade (m)	Média (g.cm ⁻³) ± EP		Valor de p
	Linha	Entrelinha	
0-0,1	1,332 ± 0,028	1,189 ± 0,037	0,007*
0,1-0,2	1,308 ± 0,025	1,254 ± 0,030	0,179 ^{ns}
0,2-0,3	1,337 ± 0,017	1,253 ± 0,020	0,005*
0,3-0,4	1,304 ± 0,016	1,231 ± 0,018	0,007*
0,4-0,5	1,245 ± 0,026	1,197 ± 0,011	0,106 ^{ns}

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t de Student.

^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t de Student.

EP: Erro padrão da média.

Tabela 2. Valores médios e erros padrões de velocidade de propagação das ondas na linha e entrelinha de cana-de-açúcar no intervalo de 0,4 a 0,5 m

Profundidade (m)	Média (m ns) ± EP		Valor de p
	Linha	Entrelinha	
0,4-0,5	0,063 ± 0,001	0,075 ± 0,002	4,7E-06*

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t de Student.

EP: Erro padrão da média.

m ns: Metros por nanosegundos.

Tabela 3. Coeficientes de determinação obtidos por meio da correlação da velocidade das ondas com a densidade e umidade volumétrica para o intervalo de 0,4 a 0,5 m

Variáveis	Densidade (g cm ⁻³)	Umidade Volumétrica (m ³ m ⁻³)
Velocidade (m/ns)	0,23 ^{ns}	-0,62**
Densidade (g cm ⁻³)	-	-0,06 ^{ns}

**Significativo a 1%

^{ns} Não significativo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARBIERI, J.L.; ALLEONI, L.R.F.; DONZELLI, J.L. Avaliação agrônômica e econômica de sistemas de preparo de solo para cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v.21, n.1, p.89-98, 1997
2. BERES JR. M.; HAENI, F.P. Application of ground penetrating radar methods in National Working Group for the IGCP Project. *Ground Water*, v.29, p.375-386, 1991
3. COSTA, M.C.G.; MAZZA, J.A.; VITTI, C.G.; CASTRO JORGE, L.A. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1503-1514, 2007
4. DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, v.37, p.531-551, 1989
5. DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v.20, p.175-182, 1996
6. DOOLITTLE, J.A. Using ground-penetrating radar to increase the quality and efficiency of soil surveys. In: *SOIL SURVEY TECHNIQUES*. Soil Science Society American Special Publication, v.20, p.11-32, 1987.
7. DOURADO, J.C.; KIANG, C.H.; MALAGUTTI FILHO, W.; BRAGA, A.C.O. Utilização de radar de penetração no solo na detecção de estruturas artificiais rasas no solo. *Geociências*, v. 22, p.75-81, 2003
8. EMBRAPA. CNPS. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.d. Brasília, 2006. 412p.
9. EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solos. 2ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
10. FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M.; BRONSON, R.D.; MANNERING, J.V. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludaf). *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v.7, p.329-333, 1983
11. FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; BEUTLER, A.N.; ARATANI, R.G.; LEONEL, C.L.; SILVA, A.P. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo no crescimento e na produtividade da cultura do milho. *Bragantia*, v.66, p.477-486, 2007
12. FISHER, E.; MCMECHAN, G.A.; ANNAN, A.P. Acquisition and processing of wideaperture ground penetrating radar data. *Geophysics*, v.57, p.495-504, 1992
13. GROSSMAN, R.B.; REINSCH, T.G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J.H.; TOPP, C. (Ed.). *Methods of soil analysis: Physical methods*. Madison: Soil Science Society of America, 2002. v.4, p.201-228.
14. HÅKANSSON, I.; VOORHEES, W.B.; RILEY, H. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. *Soil & Tillage Research*, v.11, p.239-282, 1988
15. LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; NEVES JUNIOR, A.F.N. Alternative method for volumetric Core removal in hardsetting soils. *Scientia Agricola*, v.62, p.493-497, 2005
16. LIMA, M.R.; SIRTOLE, A.E.; MOTTA, A.C.V.; OLIVEIRA, A.C.; SERRAT, B.M.; WISNIEWSKI, C.; FERREIRA, F.V.; ALMEIDA, L.S.; ALMEIDA, L.; KRIEGER, K. I.; MACHADO, M.A.M.; FAVARETO, N.;

COGO, N.P.; BERTOL, O.J.; MARQUES, R. Diagnóstico e recomendações de manejo do solo. Aspectos teóricos e metodológicos. Curitiba: UFPR - Setor de ciências agrárias, 2006. p.341.

17. MILLER, T.W.; BORCHERS, B.; HENDRICKX, J. M.H.; HONG, S.H.; DECKKER, L.W.; RITSEMA, C. J. Effects of soil physical properties on GPR for landmine detection. IN: Fifth International Symposium on Technology and the Mine Problem, 2002.

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

19. PRADO, R. L. A sísmica de reflexão rasa e o radar de penetração no solo na investigação geológico-geotécnica em ambientes urbanos. Um estudo na cidade de São Paulo - SP, Brasil. 2000. 174 p. Tese (Doutorado em Geociências)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

20. SAS INSTITUTE. Statistical Analysis System Institute. Procedure guide for personal computers. Version 5, Cary, 1999

21. SILVA, R.B.; DIAS JUNIOR, M.S.; SILVA, F.A.M.; FOLE, S.M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um latossolo dos cerrados. Revista Brasileira de Ciência do solo, v.27, p.973-983, 2003

22. SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p.937-944, 2004

23. SOUZA, Z.M.; PRADO, R.M.; STRINI, A.C.P.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.40, p.271-278, 2005