

Comparação de método convencional de medida de densidade de solos e metodologia baseada em sensor de penetração no solo (GPR)

Marcelo Luiz Chicati¹
Marcos Rafael Nanni²
Mônica Sacioto Chicati²
Everson César²
Roney Berti de Oliveira³
Willian Rafael Brandelero¹

¹ Universidade Estadual de Maringá – UEM
Campus do Arenito – Rodovia PR 482, Km 45 – Cidade Gaúcha – PR – CEP 87820-000
mlchicati@hotmail.com

² Universidade Estadual de Maringá – UEM
Avenida Colombo, 1790 – Jardim Universitário – Maringá – PR – CEP 87020-900
marcos.nanni@gmail.com
monicasacioto@gmail.com
eversoncezar@yahoo.com.br

³ Universidade do Estado do Mato Grosso - UNEMAT
Campus I, Rod. MT 208, Km 147 – Jardim Tropical – Alta Floresta – MT – CEP 78580-000
roneyberti@hotmail.com

Abstract. The term compression is directly related to the decrease in the volume of unsaturated soils when they are subjected to external pressure, either of which is nature. There are several methods for measuring this compression, foremost among them the method that uses volumetric cylinders for undisturbed sampling. This method is disputed by some researchers the possibility to cause compression of the samples and alteration of real results. In view of this, this study tried to find a new method to determine the density of the soil, especially shallow layer up to 0.2 meters, using for this a GPR sensor surface capable of identifying objects or other bodies present below its area route. Soil samples were obtained by the traditional method of volumetric cylinders, layers of 0-0.1 and 0.1 to 0.2m in 20 georeferenced points in a study area of northwestern Paraná, 10 in planting cane line sugar and 10 in spacing. The same points were also conducted evaluations with GPR for further evaluation of correlation between the methods. The results demonstrated the impossibility of matching methods for the evaluated due to external interferences present in these same topsoil layers. Thus, it was found that the method was not effective to replace the conventional practices evaluated under the same conditions, i.e., both depth of investigation as the frequency of antenna used.

Palavras-chave: Ground Penetrating Radar, soil density, volumetric cylinders.

1. Introdução

O solo é exposto a compressões exercidas sobre a sua superfície aumentando a densidade do solo esse fenômeno tem sido definido como compactação do solo. Este fenômeno ocorre quando uma pressão exercida na superfície do solo excede sua capacidade de suportar a carga e sua resistência ao cisalhamento (Lima et al., 2005).

Existem vários métodos para a determinação da densidade do solo, sendo o mais utilizado o método do anel volumétrico, considerado como o método padrão de amostragem para a avaliação da densidade do solo (Embrapa, 1997). No entanto, esse método é criticado por provocar possível compactação pelo atrito do cilindro-solo durante a penetração do mesmo, principalmente quando o solo estiver com umidade acima do ponto de friabilidade, ou de fraturar ou cisalhar o solo quando o mesmo estiver seco (Gonçalves et al. 2013).

O uso do GPR (Ground Penetrating Radar) proporciona vantagens quando comparado às demais formas de analisar as camadas subsuperficial dos solos, visto que a sua utilização é

bem flexível (equipamento leve e portátil) conseguindo obter grandes quantidades de dados em pouco tempo (Cezar et al., 2010). O GPR necessita basicamente de três propriedades físicas bem conhecidas na teoria eletromagnética para seu funcionamento adequado: baixa permeabilidade magnética; elevada condutividade elétrica e elevada permissividade dielétrica ou constante dielétrica; porém, a condutividade elétrica é a maior causadora de problemas nas operações que envolvem o uso do GPR, pois a sua presença em um ambiente de estudo pode diminuir a resposta eletromagnética do radar chegando a impossibilitar o uso do equipamento (Cezar, 2009).

Esse equipamento tem tido resultados satisfatórios nas pesquisas realizadas pela rapidez de aquisição dos dados e dos resultados, com um menor custo comparado a outras técnicas (Cruz et al. 2006). 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 (Cezar et al. 2012). Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a possibilidade de correspondência entre a metodologia tradicional de medida de densidade do solo com anéis volumétricos e a metodologia com o GPR visando identificar a viabilidade do uso dessa nova forma de medida em trabalhos futuros.

2. Metodologia de trabalho

A área utilizada neste estudo localiza-se no município de Cidade Gaúcha – PR, delimitado, segundo IBGE (2004), pelas coordenadas geográficas 23°21'45" Sul e 52°55'33" Oeste. Para a coleta de dados em campo foram utilizados, principalmente, os seguintes equipamentos: radar de penetração no solo (GPR) Ramac X3M Malâ GeoScience; receptor GPS L1 modelo Leica SR20; antena GPR blindada de 500 MHz; microcomputador portátil; amostrador de cilindros de solo; cilindros volumétricos metálicos; e estufa.

Para posterior análise dos dados em laboratório foram utilizados vários softwares e instrumentos, dentre os quais: microcomputador portátil; software Groundvision, para aquisição dos radargramas; software ReflexW versão (4.5.5, 2008) para interpretação dos dados. A área delimitada para o estudo teve 30 m de comprimento por 10 m de largura, onde foram coletadas 10 amostras de solo na linha e 10 na entrelinha, sendo os pontos de coleta espaçados a cada 3 metros e precisamente localizados com ajuda do receptor GPS. Na área demarcada, as amostras indeformadas foram coletadas nas profundidades de 0-0,1m e 0,1-0,2m com a utilização de um amostrador de solo, cilindros volumétricos e demais instrumentos necessários para acondicionamento. Após coletadas, as amostras foram levadas para o laboratório de solos da UEM - Campus do Arenito (CAR) onde foram preparadas, segundo Embrapa (1997), e posteriormente levadas para a estufa na temperatura aproximada de 105 °C e permaneceram por 24 horas. As amostras de solo secas foram pesadas para obtenção da massa seca e determinação da densidade do solo por meio da Equação 1:

$$ds = Ms/Vo \quad (1)$$

Onde: ds: densidade do solo (g cm⁻³); Ms: massa do solo seca (g); e Vo: volume do cilindro volumétrico (cm³).

Para a obtenção dos radargramas foram realizadas, nas mesmas profundidades das coletas para determinação da densidade do solo, as investigações com o GPR. A antena blindada do GPR foi deslocada sobre o terreno passando pelos pontos de coleta das amostras. Em cada profundidade de estudo foi posicionado um cilindro de ferro com o intuito de reproduzir uma reflexão (hipérbole), de forma que indicaria no GPR a medida de tempo duplo de percurso da reflexão em nanossegundos (ns) necessária para os cálculos da constante dielétrica (K).

O número de amostragens utilizadas pelo GPR foi de 512 Stacks, com uma janela de tempo de 76 nanossegundos (ns), intervalo de amostragem a cada 0,05 m e a frequência de amostragem de 6718 MHz (Oscilação das ondas por segundo). A configuração de

amostragem do GPR seguiu o mesmo padrão adotado por Cezar (2009). Os dados brutos lidos pelo software Ramac Groundvision foram gerados em dois arquivos, sendo um no formato RD3 e outro no formato RAD. O arquivo RD3 comporta dados que contém os valores das amostras e o arquivo RAD apresenta o texto que contém informações específicas das medidas (Figura1).

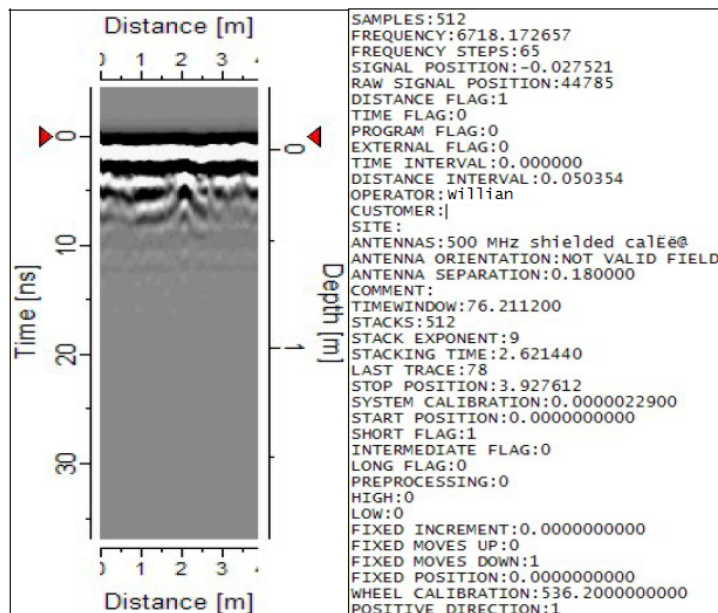


Figura 1. Dados brutos gerados pelo software Ramac Groundvision: (esquerda) arquivo de dados RD3 e (direita) arquivo de texto RAD.

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos através da avaliação da densidade do solo mostraram que os maiores valores estavam na entrelinha, onde o tráfego de máquinas e implementos agrícolas é mais frequente (Figura 2), como já constatado também por Costa et al. (2007).

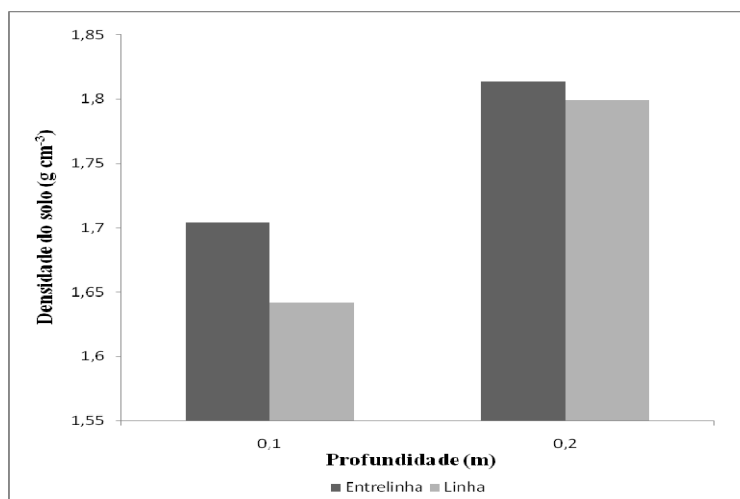


Figura 2. Valores médios de densidade do solo para linha e entrelinha encontrados na área de estudo.

Os maiores valores da densidade do solo foram observados na profundidade de 0,1-0,2 m devido à baixa concentração de raízes observada nessa profundidade, tal como explicitado por Camargo & Alleoni (1997), afirmando que as raízes das plantas possuem a capacidade de aumentar a quantidade de poros no solo, assim melhorando a qualidade física e influenciando diretamente na densidade e porosidade do solo.

Os valores de densidade encontrados na entrelinha foram de 1,70 a 1,81 g.cm⁻³; já os valores da linha ficaram entre 1,64 a 1,79 g.cm⁻³. Sendo a área de estudo classificada por Panini (2012) como Latossolo Vermelho distrófico, e em consonância com Embrapa (2013), os valores médios de densidade estão de acordo com os observados por Marcolin (2006) que variaram de 1,30 a 1,80 g.cm⁻³, porém, superiores aos observados por Kiehl (1979) que observou valores de 1,25 a 1,40 g.cm⁻³ para a mesma classe de solo.

Elevados valores de densidade também foram observados na profundidade de 0-0,1 m, pois nessa camada, apesar da presença de raízes, ocorrem os maiores danos pelo tráfego de máquinas e implementos, assim como também constatado por Hakansson et al. (1988), o que demonstra que as cargas aplicadas ficam concentradas nas camadas superficiais, sendo acumulativas ao longo dos anos.

A avaliação dos dados obtidos em campo com o GPR demonstrou limitações por parte do equipamento, o que acabou prejudicando a avaliação do seu potencial. O método empregado não foi eficiente nas investigações em superfície considerada rasa (0-0,2 m) devido à mistura das ondas refletidas com as ondas diretas no solo e, também, ao surgimento da zona rasa de interferência. Além disso, a antena de 500 MHz, utilizada durante o experimento, não foi suficiente para garantir uma boa investigação na profundidade analisada. A interferência entre as ondas eletromagnéticas refletidas e captadas no solo pela antena receptora fez com que a interpretação dos radargramas se tornasse inviável, uma vez que a ausência de hipérboles impossibilita a inferência da presença de qualquer corpo ou camada compactada no meio de estudo, que neste caso foi o solo, constatação também observada por Prado (2000).

Dessa forma, constatou-se que nenhum dos radargramas gerados nos intervalos de 0-0,1 m e 0,1-0,2 m de profundidade, tanto para a linha como para a entrelinha, apresentou hipérboles, o que impossibilitou a obtenção das constantes dielétricas (K) do solo e, conseqüentemente, qualquer possibilidade de correlação entre os dados de densidade obtidos pela metodologia convencional e pela metodologia do georadar (Figuras 3, 4, 5 e 6).

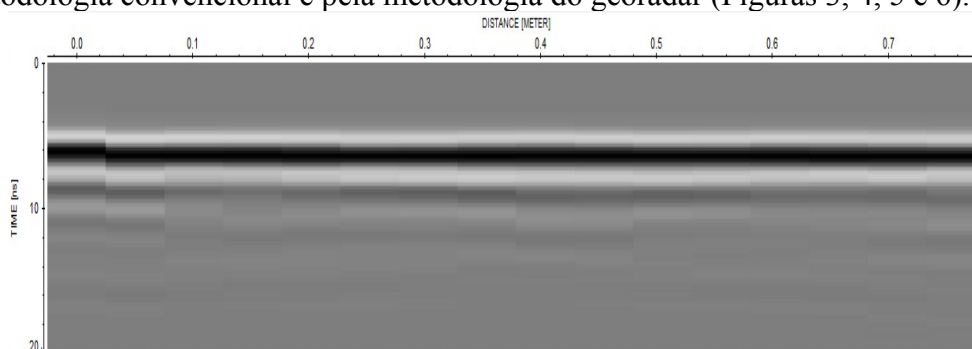


Figura 3. Radargrama na profundidade 0-0,1 m sem reflexão na entrelinha.

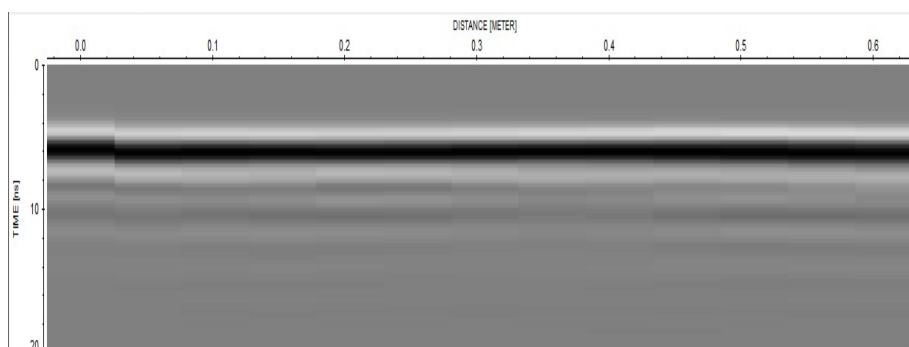


Figura 4. Radargrama na profundidade 0,1-0,2 m sem reflexão na entrelinha.

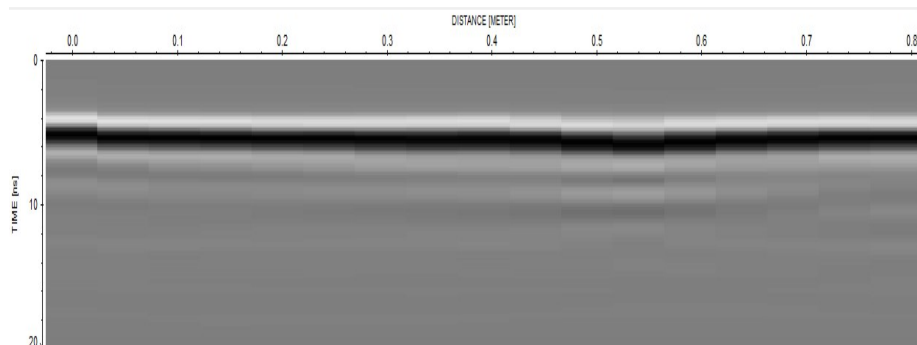


Figura 5. Radargrama na profundidade 0-0,1 m sem reflexão na linha.

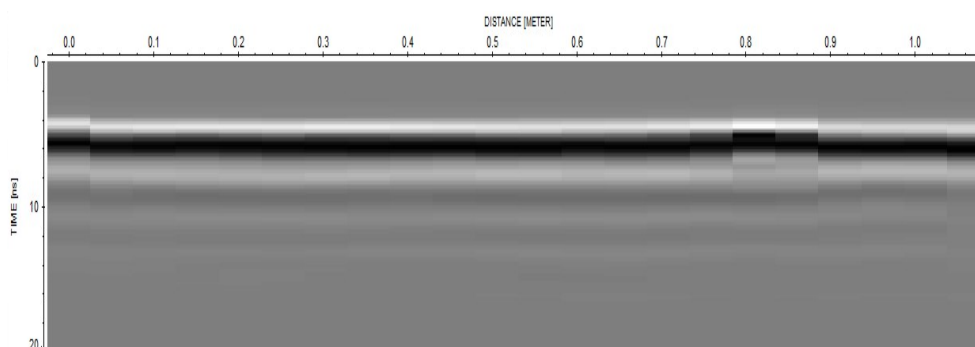


Figura 6. Radargrama na profundidade 0,1-0,2 m sem reflexão na linha.

Os radargramas apresentados vêm de acordo com os mesmos resultados obtidos por Fischer et al. (1992) e Cezar et al. (2010). Segundo estes mesmos autores, a constante dielétrica (K) no solo não pôde ser determinada nas profundidades propostas devido à presença da zona rasa de interferência, porção esta característica por mascarar a propagação das ondas eletromagnéticas por ocasião de variações presentes na superfície do solo.

Os dados apresentados e corroborados por pesquisadores como Cezar (2009) podem indicar uma tendência à impossibilidade de estudo da referida camada de solo pela antena blindada de 500 MHz. O mesmo autor, em investigação realizada nas mesmas condições do presente trabalho, porém em profundidade limite de 0,5 m, somente obteve presença de hipérbole, e conseqüentemente constante dielétrica (K), nos radargramas de profundidade maior que 0,4 m.

4. Conclusões

Não foi possível correlacionar as informações produzidas pelo GPR e as densidades obtidas pela metodologia tradicional de cilindros volumétricos. A principal causa de interferência constatada foi a zona rasa de interferência, presente na superfície do solo e alterada por diversos fatores externos ao meio de propagação das ondas eletromagnéticas.

Referências Bibliográficas

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, 1997. 132p.

CEZAR, E. **Uso de sistema GPR (Ground Penetrating Radar) para avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho eutrófico**. 2009. 192p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual De Maringá, Maringá, 2009.

CEZAR, E.; NANNI, M. R.; CHICATI, M. L.; FABRO, F. D.; HATA, F. T.; OLIVEIRA, R. B. Uso de sistema GPR (Ground Penetrating Radar) na avaliação de atributos de um solo sob plantio de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.34, n.1, p. 291-297, 2010.

CEZAR, E.; NANNI, M. R.; CHICATI, M. L.; OLIVEIRA, R. B. Emprego de GPR no estudo de solos e sua relação com métodos laboratoriais. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.1, p. 979-988, 2012.

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, n.1, p. 1503-1514, 2007.

CRUZ, P. J. S.; TOPCZEWSKI, L.; FERNANDES, F. M.; LOURENÇO, P. B. Utilização do radar de prospecção geotécnica na localização das bainhas de pré-esforço nas pontes da barra e de lanheses. **Laboratório Nacional de Engenharia Civil**, Lisboa, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2º ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA - CNPS, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3º ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA - CNPS, 2013. 353p.

GONÇALVES, F. C.; MARASCA, I.; SOUZA, S. F. G.; TAVARES, L. A. F.; SILVA, P. R. A. Métodos de determinação da densidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Energia na Agricultura**, v.28, n.3, p. 165-169, 2013.

HAKANSSON, 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, n.1, p. 239-282, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=410560>> Acesso: 07 de Março de 2014.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia: relações solo – planta**. São Paulo: Ed. Agronômica CERES Ltda., 1979. 262 p.

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, n.5, p. 493-497, 2005.

MARCOLIN, C. D. **Propriedades físicas de Nitossolos e Latossolos argilosos sob plantio direto**. 2006. 162p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

PANINI, R. L. **Levantamento de uso atual, classificação e caracterização de parâmetros físicos dos solos no Campus do Arenito**. TCC (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Maringá, Cidade Gaúcha, 2012.

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 Geofísica) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2000.