



São Paulo 2004

O Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG-USP: Instalação e Resultados Preliminares

Jorge Luís Porsani ¹, Selma Isabel Rodrigues ², Welitom Rodrigues Borges ² & Francisco Yukio Hiodo ¹

¹ Departamento de Geofísica, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, Rua do Matão, 1226, Cidade Universitária, São Paulo. E-mail: porsani@iag.usp.br; francisc@iag.usp.br

² Pós-Graduação em Geofísica, IAG-USP. E-mail: welitom@iag.usp.br; selma@iag.usp.br

Copyright 2004, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no I Simpósio de Geofísica da Sociedade Brasileira de Geofísica, São Paulo, 26-28 de setembro de 2004. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Técnico-científica do I SR-SBGf mas não necessariamente representa a opinião da SBGF ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGF.

Resumo

Os problemas de investigação rasa podem ser complexos quanto à interpretação dos dados, devido às incertezas. Com o objetivo de minimizar as ambigüidades, foi instalado no campus da USP o primeiro Sítio Controlado de Geofísica Rasa do Brasil. Foram implementadas sete linhas contendo diferentes alvos instalados em diferentes profundidades. Vários materiais foram utilizados, tais como, caixas de areia e brita, vasos cerâmicos, tubulações de PVC e aço, tambores de PVC e aço, cabos elétricos e condúites para passagem de fibra ótica, dentre outros. Os alvos foram enterrados visando simular estudos geológicos, geotécnicos, arqueológicos, ambientais e de planejamento urbano. Neste trabalho apresentamos alguns resultados preliminares obtidos com o GPR.

Introdução

A área utilizada para a instalação do Sítio Controlado de Geofísica Rasa-SCGR do IAG está situada na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo sendo constituída predominantemente por sedimentos areno-argilosos (formações Resende e São Paulo), sobrepostos ao embasamento granito-gnáissico (Borges, 2002; Porsani et al., 2004).

O sítio controlado é caracterizado por vários tipos de objetos enterrados em diferentes profundidades, e visa reproduzir algumas feições que são normalmente encontradas no ambiente urbano. Os alvos foram escolhidos para gerarem respostas magnéticas, condutivas ou reflexões nos perfis GPR. Os principais objetos enterrados foram: tubulações metálicas e de PVC, tambores metálicos e plásticos, manilhas de concreto, bem como materiais líticos e cerâmicos, que são comuns em sítios arqueológicos. Todos os materiais foram escolhidos, visando reproduzir uma pequena

amostra dos principais objetos que são encontrados em ambiente urbano.

Com a instalação do SCGR, diferentes métodos geofísicos de investigação rasa serão avaliados quanto ao desempenho e confiabilidade quando aplicados em problemas urbanos no mapeamento de interferências de subsuperfície, de contaminação do meio ambiente e em pesquisas arqueológicas.

A importância deste sítio é que as assinaturas geofísicas de objetos conhecidos serão utilizadas como respostas padrões típicas para cada tipo de material e poderão ser extrapoladas para áreas onde não se têm informações da subsuperfície. Esta situação em particular é muito interessante, pois os objetos que serão enterrados simulam algumas situações reais características de ambientes urbanos.

Neste trabalho, são apresentados os resultados preliminares obtidos com o GPR e das simulações GPR 2D dos tambores metálicos instalados ao longo de uma linha em diferentes profundidades.

Metodologia

O modo construtivo do SCGR-IAG seguiu os mesmos moldes do sítio controlado implementado pelo Prof. Dr. William Sauck do Departamento de Hidrogeologia da Western Michigan University-WMU (Sauck, 1996). Os alvos foram agrupados por tipos de materiais e distribuídos ao longo de sete linhas. Para a instalação dos alvos em subsuperfície, foi utilizada uma retro-escavadeira para a abertura dos buracos. Após a instalação dos alvos, ainda com os buracos abertos, foi realizado um levantamento topográfico com uma estação total, visando determinar com precisão milimétrica o posicionamento e a altitude dos alvos em relação à superfície do terreno (Figura 1). Após o levantamento topográfico, os alvos foram enterrados. Este procedimento foi repetido para cada alvo individualmente.

Os dados geofísicos foram adquiridos "antes" e "depois" da instalação do sítio controlado, visando determinar o *background* do terreno e as anomalias provenientes dos alvos enterrados. Os principais métodos geofísicos utilizados foram: eletrorresistividade, polarização induzida, GPR - Ground Penetrating Radar, eletromagnético indutivo (EM-38) e magnetometria. Atualmente, diversos métodos geofísicos estão sendo

testados no SCGR, visando obter respostas padrões típicas para cada tipo de material (Borges, 2004).

Neste trabalho, são apresentados os resultados preliminares obtidos com o GPR e das simulações GPR 2D dos tambores metálicos. O GPR é um método geofísico não destrutivo, de alta resolução, que permite obter uma imagem da subsuperfície rasa da Terra, utilizando reflexões de ondas eletromagnéticas em altas frequências (normalmente entre 10 – 2500 MHz). Uma antena transmissora emite um pulso eletromagnético para dentro da Terra. Havendo contrastes nas propriedades elétricas em subsuperfície, parte do sinal é refletido, sendo recebido por uma antena receptora. Mais informações sobre a metodologia podem ser encontradas na literatura (Daniels, 1996; Porsani, 1999), dentre outras. O perfil GPR de 100 MHz foi adquirido após a instalação dos alvos numa linha caracterizada por tambores metálicos dispostos em diferentes profundidades, tanto na horizontal quanto na vertical.



Figura 1 – Instalação de tambores metálicos na horizontal.

Os estudos de simulações numéricas GPR 2D foram realizados visando auxiliar na escolha dos parâmetros ótimos a serem utilizados na aquisição dos dados. As modelagens são de grande importância para preverem os resultados a serem obtidos numa situação real de campo e também servem para caracterizar os alvos em subsuperfície. A simulação da propagação da onda eletromagnética num modelo 2D foi baseada na solução das equações de Maxwell através do método das diferenças finitas (Ward & Hohmann, 1987). Dentre os trabalhos de simulações numéricas GPR 2D através do método das diferenças finitas-FDTD tem-se: Chen & Huang, 1998; Hammon III et al., 2000; Radzevicius et al., 2002; Lampe et al., 2003; Rodrigues, 2004. Zeng & McMechan (1997) utilizaram o método do traçado de raios para simular tanques e canos enterrados, e obtiveram interessantes resultados.

Para as simulações dos perfis GPR foram usadas antenas dipolares de 100 MHz, e polarização do campo elétrico-Ey. Normalmente, a componente Ey das antenas são posicionadas perpendiculares à direção do perfil, visando obter o máximo acoplamento entre os sinais transmitidos e recebidos. O campo de ondas gerado foi simulado utilizando uma fonte do tipo “*exploding reflector*”, no qual as ondas são geradas simultaneamente a partir do refletor e enviadas para a superfície (Yilmaz, 1987). Este procedimento corresponde ao reposicionamento das hipérbolas de difração nos tambores metálicos, colapsando a energia para o ápice da hipérbole, sendo um procedimento comum na etapa de migração de dados GPR e sísmicos.

Resultados

A Figura 2a mostra a distribuição espacial dos tambores metálicos dispostos na linha instalada no SCGR-IAG. Nesta linha foram enterrados sete tambores metálicos, vazios, dispostos na horizontal e na vertical, bem como um cano metálico guia de 3,8 cm de diâmetro.

O resultado da simulação numérica GPR 2D dos tambores metálicos (Figura 2a) está apresentado na Figura 2b. Note que somente o topo dos alvos é determinado pela simulação, sendo caracterizado por fortes refletores hiperbólicos devido à elevada condutividade do metal. Neste caso, toda a energia da onda eletromagnética é refletida no metal.

A Figura 2c mostra o resultado de um perfil GPR de 100 MHz realizado sobre a linha caracterizada por tambores metálicos vazios (Figura 2a). Como verificado nos modelos sintéticos gerados através da simulação numérica, todos os tambores metálicos instalados no SCGR foram detectados. Observa-se que o topo dos tambores metálicos foi caracterizado por uma forte reflexão hiperbólica, o que já era esperado conforme mostrou o resultado da simulação numérica (Figura 2b). Note que a partir de 100 ns o sinal GPR é fortemente atenuado devido às características condutivas dos sedimentos da Bacia de São Paulo (Porsani et al., 2004).

Discussão e Conclusões

O perfil GPR apresentou uma excelente concordância com o resultado da simulação numérica por diferenças finitas. Devido à utilização da fonte do tipo *exploding reflector*, nota-se a presença de algumas difrações abaixo das hipérbolas, provocada pela reverberação da onda eletromagnética nos tambores (Figura 2b). Esta reverberação tem maior intensidade nos tambores mais rasos, devido a maior intensidade do sinal na parte superior do solo. Em antenas de maior frequência esta reverberação torna-se mais intensa devido ao menor comprimento de onda.

No perfil GPR adquirida sobre a linha de tambores (Figura 2c) os alvos metálicos foram caracterizados por

fortes refletores hiperbólicos. Com as antenas de 100 MHz não foi possível distinguir os tambores horizontais dos tambores verticais, devido à resolução para esta antena. O cano metálico guia é caracterizado pelo refletor hiperbólico mais apertado, situado na posição 15 metros.

A caracterização dos alvos em condições controladas de campo servirá para testar os diversos métodos geofísicos que são usados rotineiramente em estudos geológicos, geotécnicos e ambientais, permitindo uma calibração das respostas geofísicas para os diferentes alvos implantados em subsuperfície. As assinaturas geofísicas de objetos conhecidos poderão ser usadas como respostas padrões típicas e poderão ser extrapoladas para áreas onde não se têm informações da subsuperfície. Com a instalação do Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP foi dado um importante passo em busca do Estado da Arte em Geofísica Rasa, onde estudos de modelagem numérica serão comparados aos dados reais conhecidos.

Agradecimentos

Ao IAG e ao IF-USP pelo apoio à instalação do SCGR. À FAPESP (Processos Nos. 02/07509-1 e 02/07510-0) pelo apoio financeiro para a instalação do SCGR e pela bolsa de doutorado de Welitom Rodrigues Borges. À CAPES pela bolsa de mestrado de Selma Isabel Rodrigues. A prefeitura do campus da cidade universitária pelo auxílio na execução dos buracos. Ao técnico Ernande Costa Santos e aos alunos da graduação e pós-graduação em Geofísica do IAG pela ajuda na instalação dos alvos e na aquisição dos dados geofísicos.

Referências

- Borges, W.R., 2002.** Investigações geofísicas na borda da bacia sedimentar de São Paulo. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geofísica, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, IAG/USP, São Paulo - SP, 153p.
- Borges, W.R., 2004.** Caracterização geofísica de alvos rasos com aplicações no planejamento urbano e meio ambiente: Estudo sobre o sítio controlado do IAG/USP. Tese de Doutorado, IAG-USP, São Paulo - SP (em desenvolvimento).
- Chen, H.W & Huang, T.M, 1998.** Finite-difference time-domain simulation of GPR data. *Journal of Applied Geophysics*, 40, p. 139-163.
- Daniels, J.J., 1996.** Surface Penetrating Radar. The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 300p.
- Hammon III, W.S., McMechan, G.A. & Zeng, X., 2000.** Forensic GPR: finite-difference simulations of responses from buried human remains. *Journal of Applied Geophysics*, 45, p. 171-186.
- Lampe, B., Holliger, K., & Green, A.G. 2003.** A finite-difference time-domain simulation tool for ground-penetrating radar antennas. *Geophysics*, 68 (3), p. 971-987.
- Porsani, J.L., 1999.** Ground Penetrating Radar (GPR): Proposta metodológica de emprego em estudos geológico-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado – SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro - SP, 145p.
- Porsani, J.L.; Borges, W.R.; Elis, V.R.; Diogo, L.A.; Hodo, F.Y.; Marrano, A. & Birelli, C.A., 2004.** Investigações geofísicas de superfície e de poço no sítio controlado de geofísica rasa do IAG-USP. *Revista Brasileira de Geofísica (no Prelo)*.
- Radzevicius, S.J., Chen, C., Peters Jr, L. & Daniels, J.J., 2003.** Near-field dipole radiation dynamics through FDTD modeling. *Journal of Applied Geophysics*, 52, p. 75-91.
- Rodrigues, S.I., 2004.** Caracterização GPR de Tambores Metálicos e Plásticos Rasos: Estudo sobre o Sítio Controlado do IAG-USP. Dissertação de Mestrado, IAG-USP, São Paulo - SP.
- Sauk, W., 1996.** Controlled Site for Shallow Geophysics. Institute for Water Sciences, Department of Geosciences, Western Michigan University.
- <http://www.geology.wmich.edu/fhydro/Gptest1.htm>
- Yilmaz, O., 1987.** Seismic Data Processing. Tulsa: Society of Exploration Geophysics Press, 526p
- Zeng, X. & McMechan, G.A. 1997.** GPR characterization of buried tanks and pipes. *Geophysics*, vol. 62, 3, pp. 797-806.
- Ward, S.H. & Hohmann, G.W., 1987.** Electromagnetic theory for geophysical applications: Electromagnetic Methods in Applied Geophysics. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, ed. Misac N. Nabighian, v.1, n.3, p.131-311.

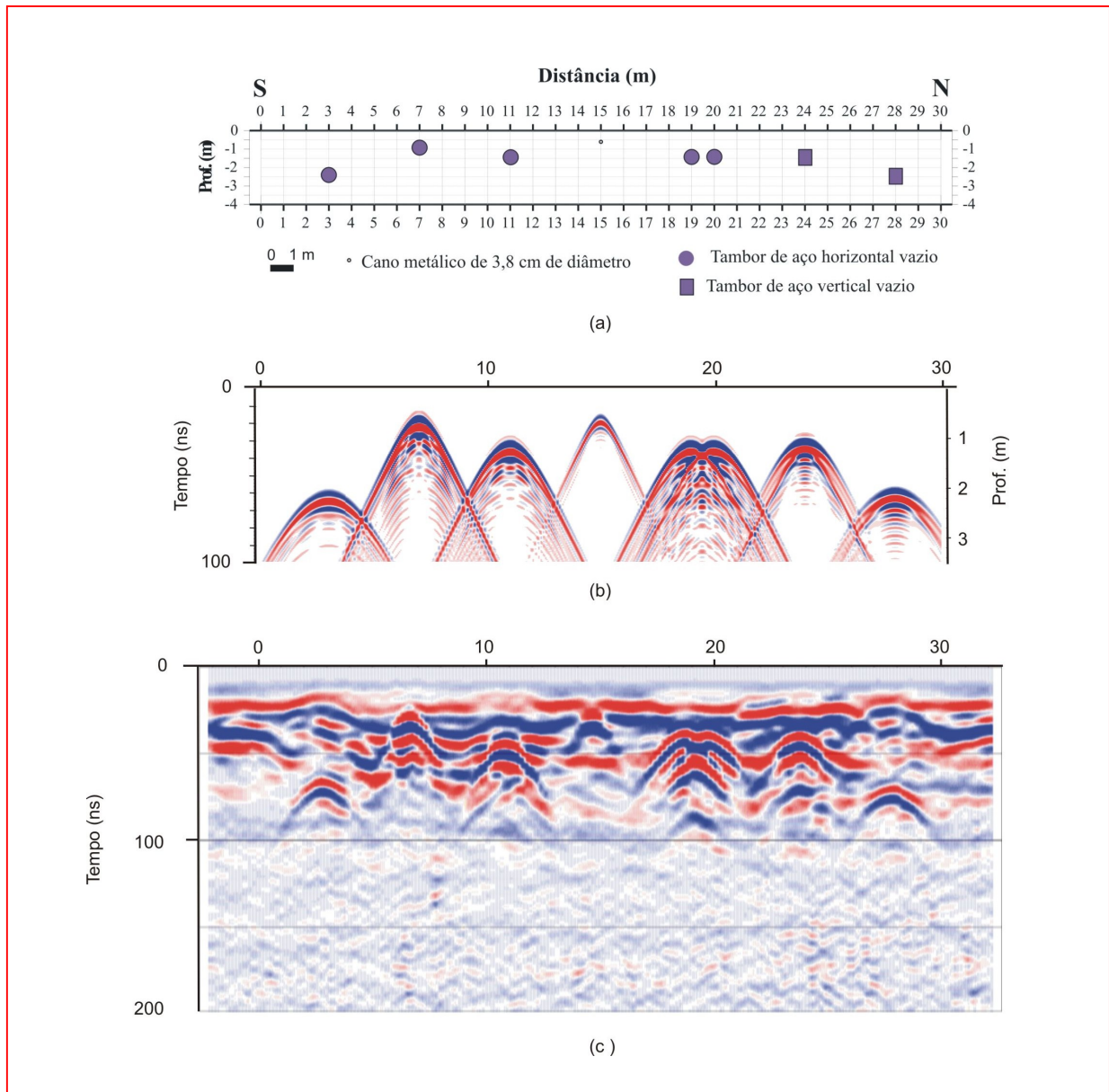


Figura 2. a) modelo sintético 2D da linha contendo os tambores metálicos. b) resultado da modelagem numérica GPR 2D de (a). c) perfil GPR de 100 MHz sobre a linha contendo os tambores metálicos (a).