



Utilização de Metodologias Geofísicas na Identificação de Manilhas de Concreto Instaladas no Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP

Welitom Rodrigues **Borges**^{1,*} & Jorge Luís **Porsani**²

¹ Pós-Graduação em Geofísica (IAG/USP). Tel.: (11) 3091 2792. Fax: (11) 3091 5034. E-mail: welitom@iag.usp.br

² Departamento de Geofísica (IAG-USP). Tel.: (11) 3091 4734. Fax.: (11) 3091 5034. E-mail: porsani@iag.usp.br

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of the 9th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

This work presents some results obtained with the Ground Penetrating Radar (GPR), electric, and inductive electromagnetic (EM38) methods applied to identify concrete tubes installed in Shallow Geophysical Test Site SCGR – IAG/USP. The results showed that the GPR is the most effective method for concrete tubes identification, and that objects buried in soils with electric resistivity lower than 200 ohm.m were not identified by other methods.

Keywords: Geophysical Test Site, EM38, Electric tomographic, GPR, IAG/USP.

Introdução

A implantação de novas obras subterrâneas pode provocar danos nas redes de captação de esgoto, causando sérios prejuízos à população e aos cofres públicos.

Uma proposta para evitar estes acidentes consiste na utilização de metodologias geofísicas visando a localização de redes subterrâneas. Os métodos geofísicos de investigação rasa são amplamente aplicados com sucesso na identificação de objetos enterrados pelo homem no subsolo (Reynolds, 1997). Os principais métodos geofísicos aplicados em ambiente urbano são o georadar (GPR—*Ground Penetrating Radar*) e a eletrorresistividade. O GPR, devido a sua resposta em tempo real em campo, é atualmente a metodologia geofísica mais aplicada em ambiente urbano para detectar redes subterrâneas (Daniels, 1996).

Neste artigo, são apresentados alguns resultados obtidos com os métodos GPR, eletrorresistividade e eletromagnético indutivo (EM38) sobre a linha onde foram implantadas manilhas de concreto no Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP (Porsani, *et al.*, 2004a).

Os testes geofísicos foram realizados sobre a Linha de Manilhas de Concreto instalada na SCGR do Instituto de

Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (Figura 1).

As manilhas de concreto possuem diâmetros externos de 70, 48 e 26 cm, foram dispostas na posição vertical e horizontal, em profundidades inferiores a 2,5 metros (Figura 2).

Na área do SCGR predominam sedimentos argilo-arenosos (aterro) sobrepondo sedimentos argilosos fluviais da planície de inundação do rio Pinheiros (Borges *et al.*, 2004). O aterro é caracterizado por sedimentos argilo-arenosos a siltosos de colorações avermelhada, rósea e amarelada. É comum encontrar blocos de rochas alteradas, até limonitizadas e seixos de quartzo dentro do aterro. Nos locais onde foram instaladas as manilhas o aterro apresenta uma espessura variando de 1,1 a 2,6 metros (Figura 2). Os sedimentos da planície de inundação do rio Pinheiros são caracterizados por um solo argiloso de cor cinza escura a preta e presença de muita matéria orgânica.

Borges *et al.* (2004) definiram a resistividade elétrica do aterro e dos sedimentos subjacentes utilizando eletrorresistividade 2D. O aterro se comporta como um horizonte geoelétrico de resistividade variando entre 400 a 2000 ohm.m, ao passo que os sedimentos argilosos da planície de inundação do Rio Pinheiros apresentam resistividade inferior a 200 ohm.m.

Metodologia

GPR - *Ground Penetrating Radar*

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 em pelo menos uma das propriedades elétricas dos materiais em subsuperfície, parte do sinal é refletido, sendo recebido por uma antena receptora. O resultado obtido é uma imagem de alta resolução da subsuperfície, onde no eixo horizontal está a distância e no eixo vertical o tempo de ida e volta do sinal. Mais informações sobre esta metodologia podem ser encontradas na literatura (Daniels, 1996; Porsani, 1999), dentre outras.

Um perfil GPR com afastamento constante foi adquirido com um equipamento sueco (Ramac/Mala), utilizando-se antenas blindadas de 250 MHz, distância entre os traços

de 5 cm, *stack* de 32 e uma janela temporal de 100 ns. O radargrama foi processado utilizando-se o software ReflexW versão 3.5 (Sandmeier, 2004).

Eletrorresistividade

A eletrorresistividade é um método elétrico que injeta correntes no solo com a finalidade de obter o comportamento elétrico do meio através dos parâmetros: resistividade elétrica e cargabilidade. A injeção de corrente é realizada através de eletrodos metálicos e o potencial gerado pode ser medido através de eletrodos metálicos ou não polarizáveis. A aquisição de dados pode ser realizada através das técnicas da sondagem elétrica vertical, caminhamento elétrico e perfilagem elétrica de poço. Nestas técnicas existem inúmeras configurações eletródicas que podem ser utilizadas conforme o objetivo em campo (Reynolds, 1997).

Neste trabalho optou-se pela técnica do caminhamento elétrico devido ao objetivo de investigar as variações laterais de resistividade. O arranjo utilizado foi o Gradiente não-convencional (Dahlin & Zhou, 2004). O equipamento utilizado foi o Terrameter SAS 4000. O espaçamento entre os eletrodos foi de 50 cm, 4 canais e 11 níveis de investigação. Os dados foram modelados utilizando o software Res2dinv (Loke, 1999).

Eletrorresistividade Indutiva (EM38)

Os perfis com o método eletromagnético indutivo foram realizados utilizando o equipamento EM38 (Geonics). Este equipamento possui uma bobina transmissora e uma receptora, espaçadas de 1 m, opera na frequência de 14,6 KHz e pode fornecer dados nos modos dipolo horizontal e dipolo vertical. O modo dipolo vertical investiga uma profundidade efetiva de até 1,5 m e o modo dipolo horizontal de até 0,75 m (McNeil, 1980; Geonics, 1998).

Foram realizados nove perfis de caminhamento eletromagnético, com o equipamento orientado (em seu eixo maior) na direção do campo magnético terrestre, que coincide com a direção norte-sul do SCGR e no modo dipolo vertical. Tanto os perfis como os pontos de leitura foram amostrados a cada 0,5 m de distância.

Durante a aquisição dos dados, no início e fim de cada linha, uma estação base foi reocupada com a finalidade de verificar a variação das componentes medidas influenciadas principalmente pelo aquecimento do equipamento com a radiação solar.

Resultados

A Figura 3a mostra a distribuição espacial das manilhas de concreto dispostos na linha instalada no SCGR-IAG. Nesta linha, foram enterradas 11 manilhas vazias dispostas em diferentes profundidades na horizontal e na vertical, bem como um cano metálico guia de 3,8 cm de diâmetro a 0,5 m de profundidade.

A Figura 3b mostra o resultado do perfil GPR de 250 MHz realizado sobre as manilhas de concreto. Observa-se que o topo das manilhas foi identificado com clareza através de refletores hiperbólicos. As manilhas G e J foram sutilmente identificadas, e as manilhas H e I não foram identificadas devido à atenuação do sinal. As anomalias I e II que ocorrem sob as posições 23 e 25 m correspondem aos vazios no subsolo, conforme verificado em campo após perfuração com um trado manual. Embora não seja tão claro neste perfil, nota-se que o padrão de reflexão nas manilhas horizontais é diferente das manilhas verticais. O cano metálico guia é caracterizado pelo refletor hiperbólico mais apertado, situado na posição 15 metros. Note que a partir de 2,5 m de profundidade o sinal GPR é fortemente atenuado devido às características condutivas dos sedimentos da Bacia de São Paulo (Borges *et al.*, 2004; Porsani *et al.*, 2004b).

A Figura 3c mostra o resultado do perfil de caminhamento elétrico 2D, também denominado de tomografia elétrica 2D. Apesar das perturbações no solo durante a implantação dos alvos, a interface entre o aterro e os sedimentos argilosos da planície de inundação do Rio Pinheiros foi identificada com nitidez. Neste perfil, somente o alvo "A" e o cano metálico-guia apresentaram respostas condutivas anômalas em relação ao comportamento geoeletrico das camadas. Provavelmente, o alvo "A" foi identificado devido a manilha de concreto ter ferro em sua estrutura, além disso, ela tem 70 cm de diâmetro, está disposta na horizontal e o seu topo está a 1 m de profundidade. O cano metálico-guia (alvo E) é identificado com clareza devido à elevada condutividade do ferro (10^{+10} mS/m).

A Figura 3d mostra o mapa de condutividade elétrica obtido a partir de 9 perfis de caminhamento eletromagnético indutivo (EM38). Neste perfil, os alvos A, C e E são identificados com nitidez. Os alvos A e C são facilmente identificados devido as suas dimensões e baixa profundidade de ocorrência (< 1 m). Note que o alvo A está na horizontal e o alvo C está na vertical. Além disso, os alvos A e C se comportam como anomalias condutivas positivas, provavelmente devido à presença do ferro na estrutura de concreto das manilhas. Por outro lado, o cano metálico-guia (alvo E) se comporta como uma anomalia de condutividade negativa.

De acordo com McNeill (1980), canos metálicos provocam uma inversão de fase do campo magnético secundário devido ao elevado campo elétrico secundário induzido no tubo metálico. Deste modo, os valores negativos não constituem parâmetros condutivos quantitativos, mas indicam o posicionamento do corpo no meio (McNeill, 1980; Silva & Galvão, 1991; Hasbrouck, *et al.*, 2004).

As outras manilhas não foram identificadas pelo fato delas não terem ferro em sua estrutura, serem de pequenas dimensões (26 e 48 cm de diâmetro) e por algumas estarem dispostas em profundidades maiores que 1 metro.

Conclusões

Os resultados dos métodos mostram que a alta condutividade elétrica do meio, bem como a composição dos alvos influenciou na identificação dos mesmos.

O perfil GPR de 250 MHz permitiu identificar a maioria das manilhas de concreto. Os resultados da tomografia elétrica 2D não permitiram identificar as manilhas de concreto. Os dados de condutividade elétrica obtidos com o EM38 só permitiram identificar alvos metálicos ou com estruturas metálicas em profundidades inferiores a 1 metro.

Para uma análise mais completa de metodologias geofísicas para a identificação das manilhas instaladas em subsuperfície, novos levantamentos são necessários utilizando outras antenas GPR, e outras técnicas de caminhamento elétrico, bem como de espaçamento entre eletrodos.

Referências

- Borges, W.R.; Porsani, J.L.; Silva, E.M.; Elis, V.R.; Hido, F.Y., 2004.** Utilização de tomografia elétrica na identificação da interface entre uma cobertura antrópica e sedimentos fluviais na área do Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP. *In: Anais do 1.º Simpósio Regional da Sociedade Brasileira de Geofísica*, 26 a 28 de setembro, São Paulo, SP, cdrom.
- Dahlin, T. & Zhou, B., 2004.** A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. *Geophysical Prospecting*, 52, p. 379 – 398.
- Daniels, D.J., 1996.** Surface Penetrating Radar. The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 300 p.
- Geonics, 1998.** EM38 ground conductivity meter operating manual. Geonics Ltd, Mississauga, Ont. Canada, 27p.
- Hasbrouck, J.C.; Dickerson, J.W.; MacLean, H.D., 2004.** Hickam Air Force Base, Underground Storage Tank Project. Results of geophysical investigation. Disponível em: <http://www.terraplus.ca/case-histories/ust/hasbrouck2.htm>
- Loke, M.H., 1999.** Res2Dinv versão 3.4 for Windows 3.1, 98 and NT. Rapad 2D Resistivity & IP Inversion using the least-squares method. Software Manual. Disponível em: <http://www.abem.se>
- McNeill, J.D., 1980.** Electromagnetics terrain conductivity measurement at low induction numbers. *Tech. Note TN-6*, Geonics Ltd, Mississauga, Ont., Canadá, 13p.
- 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., Rodrigues, S.I., Borges, W.R. & Hido, F.Y., 2004a.** O sítio controlado de geofísica rasa do IAG-USP: Instalação e resultados preliminares. I Simpósio Brasileiro de Geofísica, São Paulo, cdrom.
- Porsani, J.L., Borges, W.R., Elis, V.R., Diogo, L.A., Hido, F.Y., Marrano, A. & Birelli, C.A., 2004b.** Investigações geofísicas de superfície e de poço no sítio controlado de geofísica rasa do IAG-USP. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 22, n. 3.
- Reynolds, J.M. 1997.** An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 796p.
- Sandmeier, K.J., 2004.** REFLEXW Version 3.5, Windows 9x/NT/2000/XP - Program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data. 192p.
- Silva, L.M.C.; Galvão, M.V.G., 1991.** Detecção de condutores tabulares sob cobertura condutiva. *Revista Brasileira de Geociências*, março, 21(1):82-95.

Agradecimentos

Ao IAG-USP pela oportunidade de realizar esta pesquisa. À FAPESP (Processos 02/07509-1 e 02/07510-0) pelo apoio financeiro para a instalação do SCGR e pela minha bolsa de doutorado. Ao IPT pelo empréstimo da antena de 250 MHz. Ao Ernande C. Santos e aos colegas da graduação e pós-graduação em Geofísica do IAG pela ajuda na aquisição dos dados.

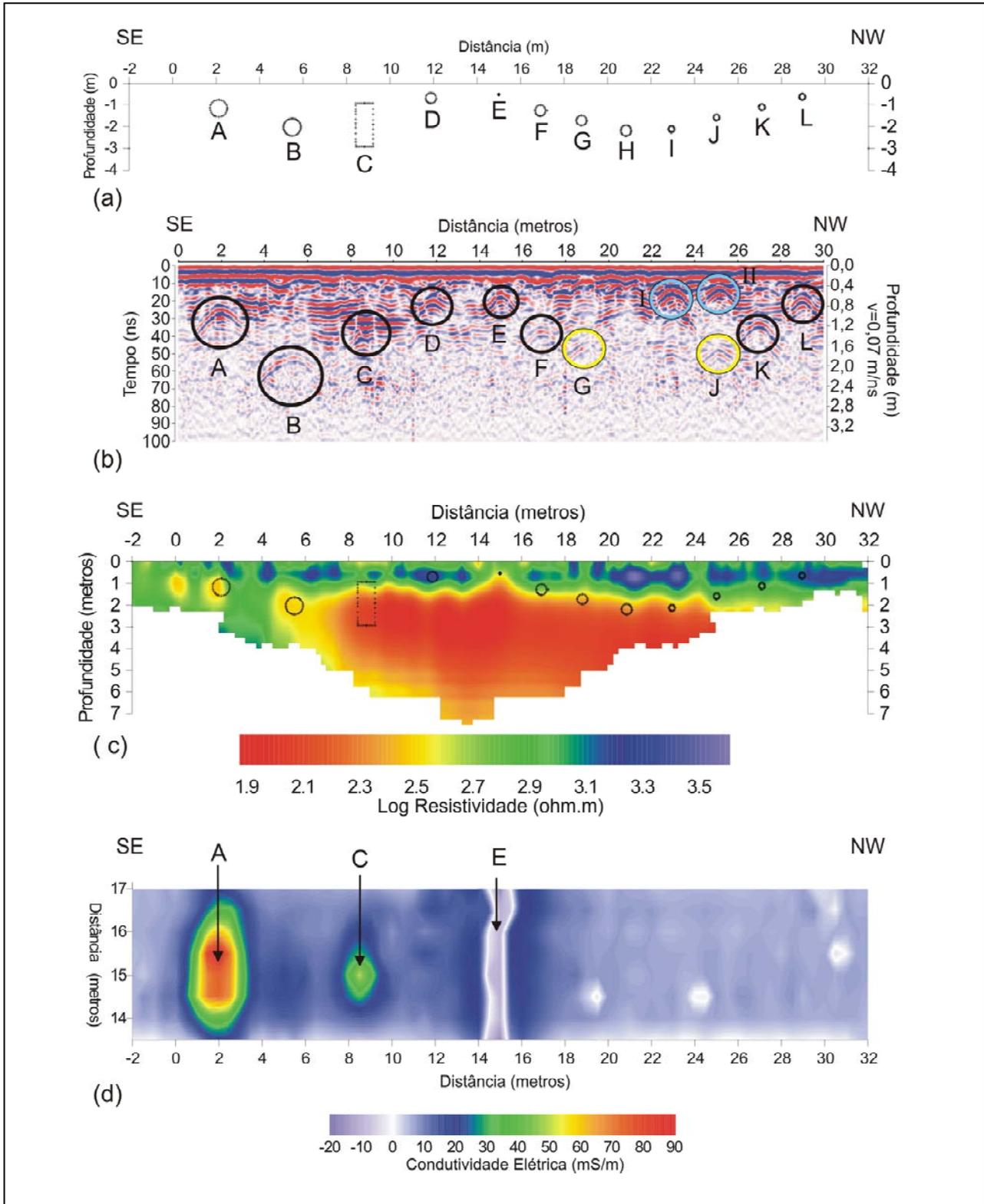


Figura 3. a) Distribuição espacial dos alvos, com sua respectiva identificação, ao longo do perfil. b) Seção GPR mostrando refletores hiperbólicos referentes aos alvos identificados. c) Perfil de tomografia elétrica 2D da linha de manilhas. d) Mapa de condutividade elétrica da linha de manilhas obtido com o equipamento EM38 no modo dipolo vertical.