



Uso do GPR para Mapear Interferências no Subsolo Urbano em Apoio à Construção do Túnel do Metrô de São Paulo: Estudo de Caso sob o Edifício Copan

Yang Boo Ruy^{1,*}, Jorge Luís Porsani², Fernanda Pereira Ramos³ & Gisele Ribeiro de Barros Yamanouth⁴

^{1,*} Graduação em Geofísica (IAG-USP) – Email: kyle@iag.usp.br

² Departamento de Geofísica (IAG-USP) – Email: porsani@iag.usp.br

³ Engenheira Civil, Consórcio Via Amarela

⁴ Geóloga, Consórcio Geral das Projetistas

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th 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

GPR results from Ipiranga Av., close to Copan building, in São Paulo city, Brazil are showed. The purpose of this work was to detect and to locate interferences in the subsoil, such as pipes, cables, galleries, concrete tubes and other targets, in order to orientate the progress of the tunnel construction of the line-4 subway (yellow line). GPR profiles permit to detect pipes, and galleries in the subsoil up to 2 m depth. In addition, they also provided details of the target shape. The results emphasizing how the GPR have the great potential to detect interferences buried in urban areas and its applicability in geotechnical studies, minimizing risk of dangerous accidents.

Introdução

O crescimento populacional nos grandes centros urbanos vem acompanhado de vários problemas. Os principais problemas estão relacionados com a contaminação do meio ambiente e com a interceptação e até rompimento de interferências de redes de concessionárias pré-existentes, tais como, tubulações de água, gás, cabos elétricos e de telefonia, etc. Para minimizar os transtornos gerados pela interceptação desses elementos e principalmente evitar acidentes com o avanço de obras civis como por exemplo, a construção de túneis do metrô, garagens subterrâneas, implantação de galerias de canalização de águas pluviais, etc., o uso de métodos geofísicos de alta resolução torna-se indispensável, podendo minimizar os riscos de acidentes perigosos.

Os métodos geofísicos não-destrutivos e não-invasivos têm atraído o interesse do mercado devido aos baixos custos, o tempo e a agilidade da execução dos trabalhos. Este fato tem gerado uma crescente demanda de pesquisas voltadas à área de geotecnia e de planejamento urbano. Seguindo essa tendência, tornam-se cada vez mais freqüentes a utilização de métodos geofísicos, tais como, GPR e geoeletricos, visando estudos do subsolo em apoio às obras subterrâneas. O GPR-Ground Penetrating Radar é um método geofísico

que utiliza a propagação e reflexão de ondas de rádio de altas freqüências (10 MHz a 2,5 GHz) em subsuperfície para mapear estruturas e corpos enterrados ou feições geológicas na subsuperfície rasa (Annan, 1992; Daniels, 1996). Dentre os trabalhos de aplicações GPR realizados em ambiente urbano destacam-se Zeng & McMechan (1997), Grandjean et al. (2000), Porsani et al. (2006, 2008), Rodrigues & Porsani (2006), Liu et al. (2007), Oliveira et al., (2007), Porsani & Sauck (2007), Borges (2007), Beliss et al. (2008), Santos (2009), dentre outros.

Este trabalho consistiu na realização de perfis de reflexão GPR de 100, 200 e 400 MHz numa área localizada em frente ao edifício Copan no centro da cidade de São Paulo, visando localizar interferências subsuperficiais, tais como, tubulações, galerias, cabos elétricos etc., e principalmente a existência de interferências subterrâneas, objetivando mapear a existência de blocos ou elementos de fundação em concreto armado do Edifício Copan. Segundo informações colhidas em projetos da época de construção do Edifício e informações de pessoas responsáveis pelo mesmo, alguns elementos da fundação localizados em torno de 5 m de profundidade foram abandonados quando da mudança de projeto de construção do edifício Copan, como o aumento do recuo do edifício em relação à Av. Ipiranga..

O mapeamento de interferências no subsolo por meio do método GPR permitiu auxiliar a passagem do TBM-EPB (i.e., tatuzão) para a abertura do túnel para a construção da Linha 4 do Metrô de São Paulo (Linha Amarela) na Av. Ipiranga, região da estação República, minimizando os riscos de interceptação de algum desses elementos da fundação e conseqüente atraso no avanço das escavações do túnel. Alguns dos interessantes resultados desta pesquisa aplicada estão apresentados neste artigo.

Aquisição e processamento dos dados

Para este estudo, duas áreas foram investigadas: bloco-1 (8 m x 6 m) e bloco-2 (20 m x 2 m), ambos localizados na Av. Ipiranga junto ao Edifício Copan (Figura 1). Os perfis GPR foram adquiridos por meio da técnica de perfil de reflexão com afastamento constante, usando antenas blindadas de 100 MHz, 200 MHz e 400 MHz da empresa americana GSSI. A Figura 2a mostra fotos das antenas de 200 MHz e 400 MHz durante a aquisição dos dados em frente ao Edifício Copan e a Figura 2b mostra uma

foto da antena de 100 MHz durante a aquisição dos dados.

Os perfis GPR foram adquiridos no modo quase-3D, ou seja, perfis 2D paralelos que foram interpolados visando a obtenção de um cubo 3D. Os perfis foram espaçados de 0,4 m e o espaçamento entre cada traço foi de 2 cm, portanto, com uma alta resolução espacial, como requerido para o mapeamento de interferências no subsolo.

No caso do bloco-1, os perfis GPR foram feitos nas duas direções (x e y), formando uma malha no bloco. No caso do bloco-2, os perfis foram feitos apenas na direção (y). Embora duas áreas tenham sido investigadas, neste trabalho serão apresentados somente os resultados dos perfis GPR do bloco-1, devido eles serem mais representativos dos objetivos pretendidos.

O processamento dos dados foi realizado usando software Radan que é um programa específico para tratamentos de dados GPR. As principais etapas utilizadas foram: remoção do ganho no *header*, correção do tempo zero, análise de espectro de frequência, filtro de frequência (passa-banda), ganho linear, filtragem espacial horizontal e conversão tempo/profundidade.

A remoção do ganho no *header* consiste em retirar o ganho do cabeçalho do arquivo a fim de se eliminar o ganho inserido pelo usuário durante a aquisição dos dados. Na correção do tempo zero, a finalidade é de ajustar os traços à chegada da primeira onda, i.e., onda aérea. A análise de espectro de frequência serviu para determinar os sinais de maior amplitude dentro de uma banda limitada de frequência e subsidiou a aplicação de filtro temporal. A aplicação do filtro de frequência passa-banda permitiu melhorar os sinais pela redução dos ruídos de baixas e altas frequências. Aplicação do ganho linear ao sinal em função do tempo minimizou as perdas dos sinais eletromagnéticos por atenuação e espalhamento. Aplicação do filtro espacial horizontal tem como objetivo minimizar as irregularidades horizontais. A velocidade utilizada na conversão de tempo em profundidade foi de 0.095m/ns, obtida com base na análise de velocidade sobre os difratores hiperbólicos identificados nos perfis 2D.

Análise dos resultados

A Figura 3 mostra o resultado GPR de 200 MHz na forma de cortes em profundidade (i.e., *depth slices*) para os perfis realizados no bloco-1 situado na calçada em frente ao Ed. Copan. Observa-se, no eixo-x, um nítido alvo linear contínuo na posição de 2 m que atravessa o bloco todo, indicado pela letra "B" na figura. É provável que este alvo esteja relacionado com uma tubulação de metal ou de PVC com água devido à elevada amplitude. Outros três alvos lineares, oblíquos em relação ao eixo Y, indicados pelas letras "E", "F" e "G", provavelmente também podem estar relacionados com tubulações no subsolo, devido suas linearidades.

As anomalias indicadas pelas letras "A" e "C" correspondem às duas tampas de ferro de caixas de passagem, conforme observado em campo. A elevada

amplitude de reflexão a partir da posição de 7 m, indicada pela letra "D" está relacionada com a presença de uma garagem subterrânea sob o Ed. Copan.

A Figura 4 mostra o resultado do perfil GPR de 200 MHz realizado sobre o bloco-1 em frente ao edifício Copan. As anomalias de reflexão observadas e indicadas pelas letras "A" e "C" correspondem às tampas de ferro de caixas de passagem observada na superfície, estão realçadas por círculos pretos. As reverberações nas reflexões GPR sob estes alvos são devido as tampas de ferro de caixas de passagem de cabos elétricos. A anomalia indicada pela letra "B" (círculo preto) provavelmente esteja relacionada com uma tubulação no subsolo e sua continuidade está mostrada na Figura 3. A anomalia de elevada amplitude de reflexão observada a partir da posição de 7 m, indicada pela letra "D" está relacionada com a presença de uma garagem subterrânea como descrito anteriormente.

Os resultados dos perfis GPR compõem o diagnóstico geofísico da subsuperfície rasa na área do edifício Copan, e permitiram detectar, localizar e estimar a geometria das interferências presentes no subsolo até cerca de 2 m de profundidade. Abaixo de 2 m nenhum alvo foi detectado.

Conclusões e recomendações

Os resultados GPR permitiram detectar regiões anômalas, retilíneas ou pontuais, caracterizadas por difrações hiperbólicas de elevadas amplitudes até cerca de 2 m de profundidade, podendo estar relacionadas com tubulações, cabeamentos e caixas de passagens de cabos elétricos. Estas informações serviram de base para que os Engenheiros do Consórcio Via Amarela - Linha 4 do Metrô de São Paulo pudessem averiguar os resultados geofísicos por meio de informações diretas, ou por meio de furos de prospecção para instalação de instrumentação de monitoramento do túnel.

Os elementos de fundação em concreto armado abandonadas e localizadas em torno de 5 m de profundidade, conforme um dos objetivos deste trabalho, não foram detectadas com o método GPR nos locais estudados. Apesar disso, as informações geofísicas até 2 m de profundidade, aliadas às informações diretas foram essenciais na tomada de decisão por parte dos Engenheiros que deram continuidade no projeto de construção do túnel do Metrô na região da estação República. Como produto final da pesquisa, a tuneladora da Linha 4 já escavou o túnel do Metrô no trecho do edifício Copan com segurança.

Este trabalho mostrou que o método GPR foi muito útil nas escavações do túnel do Metrô e tem um grande potencial para investigações rasas. Os melhores resultados foram obtidos com as antenas blindadas de 200 MHz, sendo, portanto, recomendado para estudos de mapeamento de interferências na subsuperfície rasa em apoio às obras subterrâneas em ambiente urbano.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Companhia do Metropolitano de São Paulo e Consórcio Via Amarela pela autorização de publicação deste artigo e apoio na aquisição dos dados. O primeiro autor agradece ao Santander pela bolsa de Iniciação Científica. Ao IAG/USP pela infra-estrutura necessária para desenvolver esta pesquisa. Aos amigos Daniel (Tião), Diego, Divanir (Limeira), Emerson, Rafael, Rodrigo, Rubens, Thiago (Garrafa), Vinícius e ao Ernande pela ajuda na aquisição e processamento dos dados.

Referências

Annan, A.P., 1992. Ground Penetrating Radar Workshop Notes, Sensors & Software, Inc. Mississauga, Ontario, Canada.

Beliss, K., Fascetti, S.W., Rappaport, C., 2008. Model Based Evaluation of Bridge Decks Using Ground Penetrating Radar. Computer - Aided Civil and Infrastructure Engineering, no.23, p.3-16.

Borges, W.R., 2007. Caracterização geofísica de alvos rasos com aplicações no planejamento urbano e meio ambiente: Estudo sobre o Sítio Controlado do IAG/USP. Tese (Doutorado), IAG/USP.

Daniels, D.J., 1996. Surface Penetrating Radar. The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, 300p.

Grandjean, G., Gourry, J.C., Bitri, A., 2000. Evaluation of GPR techniques for civil-engineering applications: study on a test site. Journal of Applied Geophysics, v.45, p.141-156.

Liu, L.B., He, K., Xie, X.Y., Du, J., 2007. Image enhancement with wave-equation redatuming: application to GPR data collected at public transportation sites. Journal of Geophysics and Engineering, v.4, p.139-147.

Oliveira, M.G., Porsani, J.L., Grimoni, J.A.B., 2007. Simulações numéricas GPR 2D para caracterizar vazamentos de óleo provenientes de cabos elétricos de alta tensão instalados no subsolo. Proceedings of the 10th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro, cdrom.

Porsani, J.L., Borges, W.R., Rodrigues, S.I., Hiedo, F.Y., 2006. O Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP: Instalação e Resultados GPR 2D-3D. Revista Brasileira de Geofísica, v.24, p.49-61.

Porsani, J.L., Sauck, W.A., 2007. Ground-penetrating radar profiles over multiple steel tanks: Artifact removal through effective data processing. Geophysics, v.72, p.J77-J83.

Porsani, J.L., Santos, V.R.N., Rodrigues, S.I., Almeida, E.R., 2008. GPR characterization of plastic and steel drums buried in the test site at University of São Paulo-Brazil: applications to environmental studies. Proceedings of the 12th International Conference on Ground Penetrating Radar, GPR2008, Birmingham, UK, cdrom.

Rodrigues, S.I., Porsani, J.L., 2006. Utilização do GPR para caracterizar tambores plásticos enterrados no Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP. Revista Brasileira de Geofísica, v.24, p.157-168.

Santos, V.R.N., 2009. Emprego dos Métodos Eletromagnético Indutivo e GPR no Mapeamento de Redes de Interferências Instaladas no Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP. Dissertação (Mestrado), IAG/USP.

Zeng, X., McMechan, G.A., 1997. GPR: characterization of buried tanks and pipes. Geophysics, v. 62, n.3, p.797-806.

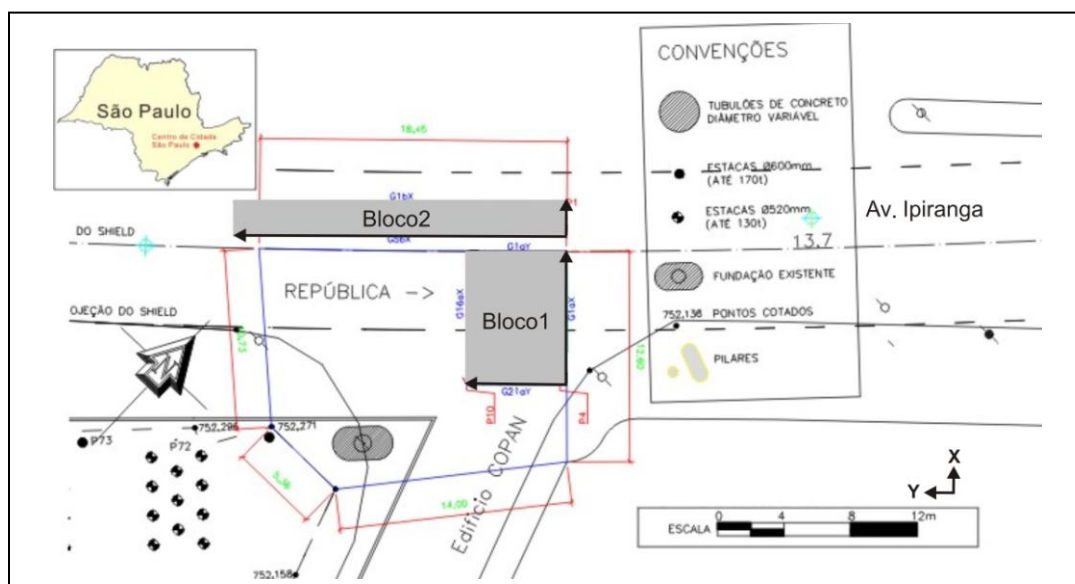


Figura 1. Croqui de localização da área de estudos na Av.Ipiranga junto ao Ed. Copan, no centro da cidade de São Paulo, mostrando os blocos onde foram feitas as aquisições GPR.



Figura 2. Fotos da aquisição GPR na Av. Ipiranga junto ao Ed. Copan. a) antenas de 400 MHz (primeiro plano) e 200 MHz (ao fundo) no bloco-1. b) antena de 100 MHz no bloco-2.

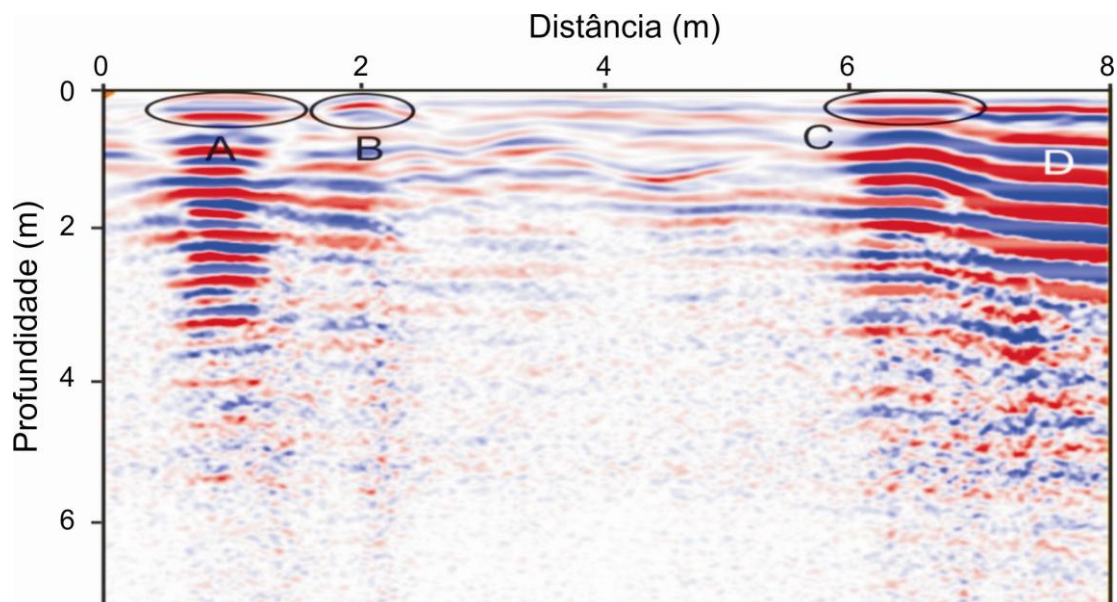


Figura 4. Perfil GPR de 200 MHz para o bloco-1.

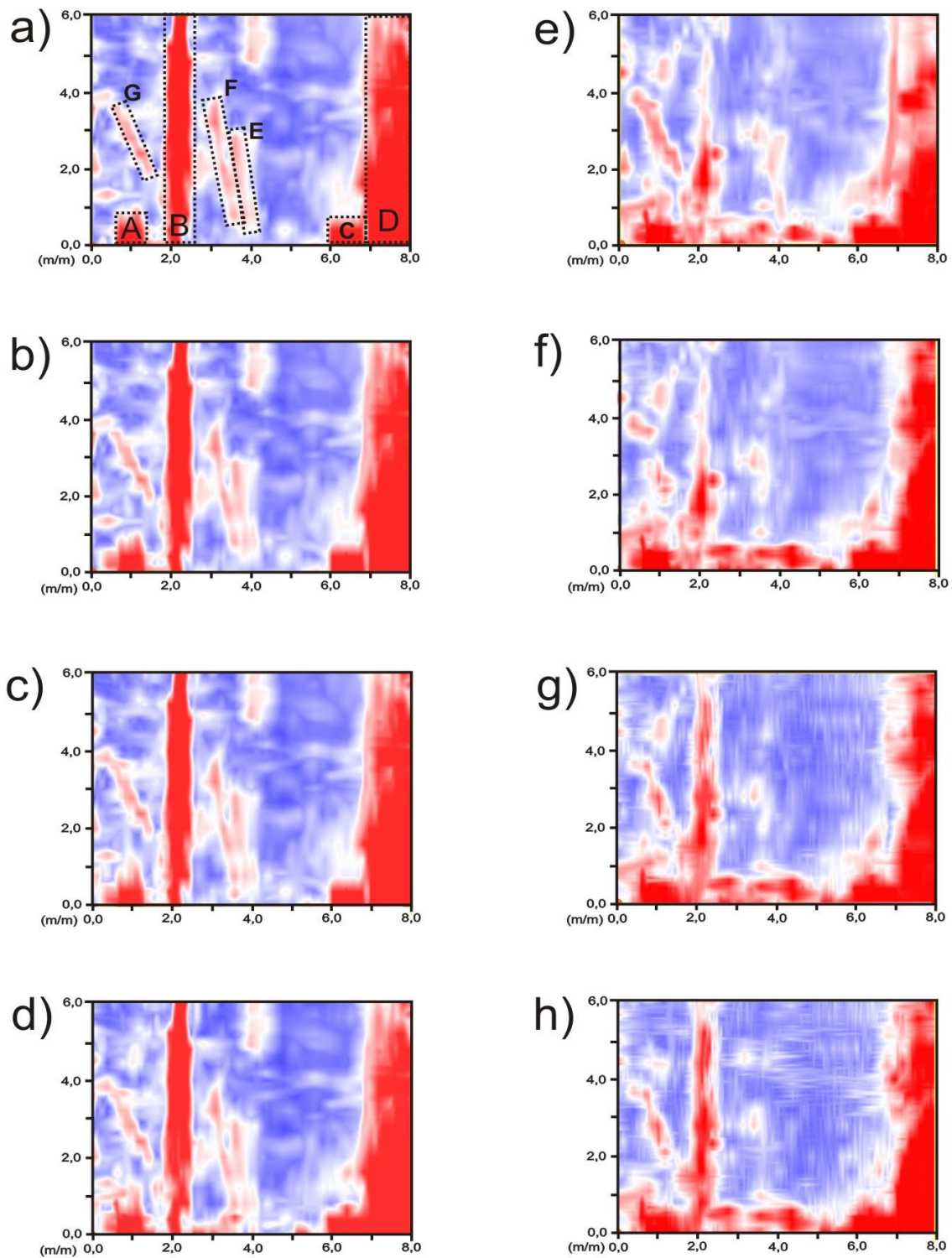


Figura 3. Resultados GPR de 200 MHz para o bloco-1 na forma de *depth slices* para diferentes profundidades. a) 0 m. b) 0,2 m. c) 0,4 m. d) 0,6 m. e) 0,8 m. f) 1 m. g) 1,2 m. h) 1,4 m.