



Emprego do GPR para Mapear Cabos Elétricos em Estações de Transmissão e Distribuição (ETDs) de Energia Elétrica

Emerson Rodrigo Almeida^{1, *}, Jorge Luís Porsani² & José Aquiles Baesso Grimoni³

¹ Pós-Graduação em Geofísica – IAG/USP. E-mail: emerson@iag.usp.br

² Departamento de Geofísica – IAG/USP. E-mail: porsani@iag.usp.br

³ Instituto de Eletrotécnica e Energia. IEE/USP. E-mail: aquiles@iee.usp.br

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 two Stations of Transmission and Distribution (STD) of Electric Energy in the Sao Paulo State, Brazil, are showed. The purpose of this work was to detect interferences in the subsoil, such as electric cables and electrical grounding, for periodic maintenance, and to identify eventual conductivity anomalies that could be related with environmental contamination due to transformers oil leakage. Data acquisition in STD represents a great challenge for GPR applications, since it is an environment with high levels of electromagnetic noise. Nevertheless, 200 MHz and 400 MHz GPR profiles permit to detect electric cables characterized by straight structures of high amplitude. The conductivity anomaly region also was located, however, borehole information showing that the anomalies are due to variations in the clay concentration in the studied areas. The results emphasizing that the GPR method have the great potential to detect interferences buried in urban areas of high electromagnetic noise and they have some applicability in geotechnical studies.

Introdução

Nos dias atuais as empresas de engenharia elaboram mapas de estruturas (cabos, dutos etc.) presentes no subsolo. No entanto, em tempos remotos este procedimento não era prática usual, e as plantas de grandes obras como as ETDs (Estações de Transmissão e Distribuição) não representam com fidelidade todas as estruturas no subsolo, ou as localizações destas não correspondem às suas posições verdadeiras. Nestes locais há a necessidade de se conhecer a localização dos cabos elétricos e malhas de aterramento presentes no subsolo, para fins de manutenção periódica. Para tanto, o GPR-Ground Penetrating Radar é o método geofísico mais indicado para esta finalidade. Contudo, a aquisição dos dados em ETDs representa um grande desafio, uma vez que este é um ambiente com altos níveis de ruído eletromagnético e o fornecimento de

energia elétrica não pode ser interrompido durante a aquisição dos dados. A caracterização de cabos elétricos como alvos pontuais nos radargramas é amplamente descrita na literatura (Daniels, 1996; Annan 2001; Porsani & Sauck, 2007; dentre outros).

Ainda neste contexto, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) passou a exigir recentemente o monitoramento ambiental do subsolo das ETDs, para remediar e prevenir contaminações por vazamento do óleo resistor dos transformadores. Muitos trabalhos têm sido feitos com o método GPR em casos de contaminação por hidrocarbonetos (Sauck, 2000; Knight, 2001; Castro & Branco, 2003; Cassidy, 2007; Oliveira, 2008), porém até o presente momento não se tem conhecimento do uso do GPR em ambientes como o das ETDs. Dentre os estudos feitos nesta área de aplicação destaca-se o trabalho realizado por Sauck (2000), onde é mostrado que a amplitude das reflexões das ondas eletromagnéticas do GPR varia em função do grau de biodegradação do hidrocarboneto. As bactérias biodegradadoras criam um ambiente ácido no local da contaminação causando variações na condutividade do local. Assim, uma pluma recente apresenta altas amplitudes de reflexão (*brightspots*) e uma pluma mais antiga apresenta baixas amplitudes de reflexão (*zonas de sombra*).

Neste trabalho, o método GPR foi empregado em duas ETDs localizadas no estado de São Paulo, visando mapear cabos elétricos e malhas de aterramento no subsolo, além da identificação de regiões com anomalias de condutividade que pudessem estar relacionadas com uma possível contaminação ambiental causada pelo vazamento de óleo proveniente dos transformadores.

Aspectos teóricos do método GPR

O método GPR consiste na obtenção de uma imagem de alta resolução da subsuperfície através da emissão de ondas eletromagnéticas em altas frequências (tipicamente de 10MHz a 2,5GHz) por uma antena transmissora colocada na superfície. Os sinais são enviados ao solo, e ao encontrarem diferenças entre as propriedades elétricas dos materiais (condutividade elétrica, permissividade dielétrica e permeabilidade magnética) parte da energia enviada é refletida de volta à superfície, sendo registrada num computador para tratamento posterior.

A propagação das ondas eletromagnéticas está fundamentada nas equações de Maxwell (Griffiths, 1999). A velocidade de propagação das ondas em um meio material é dada pela equação 1:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

onde c é a velocidade da luz e ϵ_r é a permissividade dielétrica relativa do meio.

A atenuação do sinal é dada pela constante de atenuação (α), conforme mostrado na equação 2:

$$\alpha = 1,636 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

onde σ é a condutividade elétrica do material em corrente contínua.

A amplitude da onda refletida devido às diferenças de propriedades elétricas entre dois meios 1 e 2 é dada pelo coeficiente de reflexão, mostrado na equação 3:

$$r = \frac{\sqrt{\sigma_1 + i\omega\epsilon_1} - \sqrt{\sigma_2 + i\omega\epsilon_2}}{\sqrt{\sigma_1 + i\omega\epsilon_1} + \sqrt{\sigma_2 + i\omega\epsilon_2}} \quad (3)$$

onde ω é a frequência angular da onda. Informações detalhadas sobre os princípios físicos e matemáticos envolvidos no método GPR podem ser encontrados em Daniels (1996), Porsani (1999), Annan (2001), dentre outros.

Locais de estudo e aquisição dos dados

Neste estudo foram investigadas as áreas de duas ETDs localizadas no estado de São Paulo. A ETD I encontra-se na região da Grande São Paulo e tem seu subsolo composto por rochas sedimentares terciárias da Formação São Paulo, caracterizada por sedimentos fluviais que se encerram em argilas, areias e cascalhos. Esta estação está em operação há 51 anos, e possui histórico de vazamento de óleo dos transformadores por gotejamento. Nesta área foram adquiridos 15 perfis de reflexão com afastamento constante, através de aquisições 2D e quase-3D em torno dos transformadores. A ETD II localiza-se no litoral do estado de São Paulo e está construída sobre um solo composto por areias quartzosas e sedimentos argilosos. Esta estação está em operação há quase 20 anos e não possui histórico de contaminação. No local foram adquiridos 21 perfis de reflexão com afastamento constante. Em ambos os casos foram utilizadas antenas blindadas de 200 MHz e 400 MHz, e as aquisições foram feitas com espaçamento de 2 cm entre traços através do modo contínuo.

Processamento dos dados

As principais etapas usadas no processamento dos dados foram: remoção do ganho do cabeçalho do arquivo, correção da onda aérea para o tempo zero, filtragem *dewow* para remoção de ruídos de baixa frequência, ganho exponencial para compensação dos

efeitos de atenuação do sinal, filtragem em frequência, remoção de *background* para remoção de refletores horizontais, análise de velocidades e conversão de tempo em profundidade. A velocidade das ondas eletromagnéticas foi obtida por meio do ajuste de hipérbolas de difração causadas por alvos pontuais, e seus valores correspondem a 0,094 m/ns para a ETD I e 0,090 m/ns para a ETD II.

Discussão dos resultados

A Figura 1 mostra um perfil GPR adquirido com a antena de 200 MHz próximo aos transformadores da ETD I. Neste perfil é possível identificar sete anomalias hiperbólicas de alta amplitude de reflexão (1A a 1G), das quais seis aparecem também nos demais perfis paralelos a este, revelando a existência de dutos de plástico contendo cabos elétricos, conforme observado em campo através de galerias. A Figura 2 mostra um *depth slice* GPR de 200 MHz sobre o mesmo local, mostrando que dois dutos identificados na figura 1 não constam na planta geral da estação (2A e 2B).

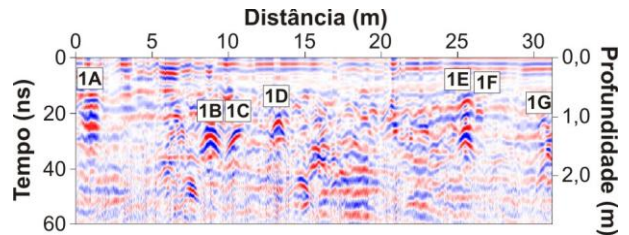


Figura 1. Perfil GPR adquirido com antena de 200 MHz ao lado dos transformadores da ETD I.

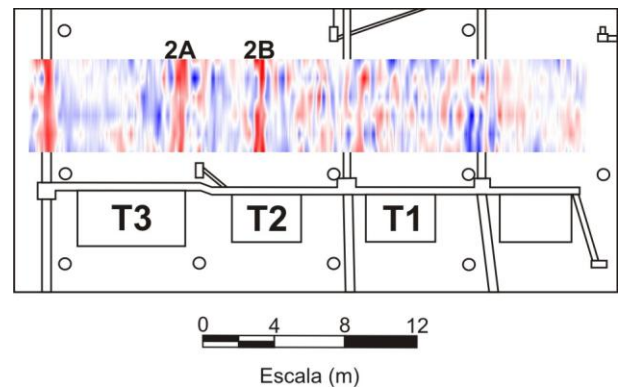


Figura 2. Depth slice GPR de 200 MHz à profundidade de 1,11 m, obtido através da interpolação de vários perfis paralelos adquiridos próximos aos transformadores da ETD I. T1, T2 e T3 correspondem aos transformadores.

A Figura 3 mostra um perfil GPR adquirido com a antena de 400 MHz na área da ETD I, no qual é possível identificar uma zona de atenuação do sinal causada por um aumento de condutividade (3D), além das anomalias hiperbólicas (3A, 3B e 3C). A região de atenuação indica uma região com suspeita de contaminação antiga, porém a análise de solo por meio de furos de sondagens revelou um aumento na concentração de argila e que não há indícios de óleo no material do solo.

A Figura 4 mostra um perfil adquirido com a antena de 400 MHz na área da ETD II. Nele é possível identificar anomalias hiperbólicas associadas a dutos de passagem de cabos elétricos (4A a 4C), todos presentes na planta geral da estação.

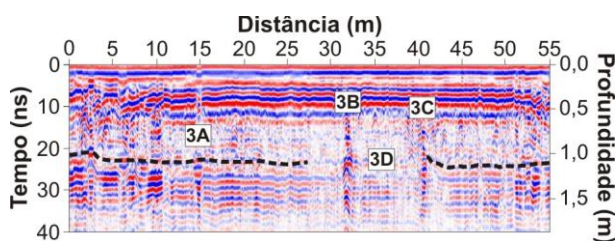


Figura 3. Perfil GPR de 400 MHz adquirido na ETD I. A linha tracejada indica um refletor que é interrompido por uma anomalia de condutividade do solo (3D).

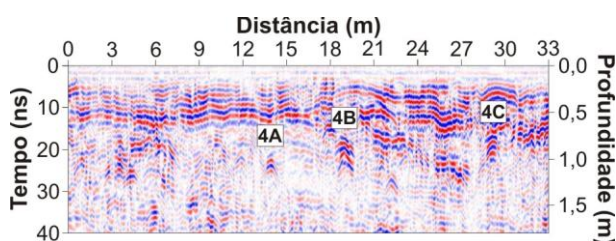


Figura 4. Perfil GPR de 400 MHz adquirido na ETD II. 4A, 4B e 4C representam hiperboles associadas a dutos contendo cabos elétricos.

Conclusão

Através deste estudo conclui-se que o método GPR apresenta bons resultados quando empregado em ambientes com alto nível de ruído eletromagnético, como é o caso das ETDs. Foram identificados dutos de passagem de cabos elétricos nas estações, sendo que no caso da ETD I alguns deles não constam na planta geral da estação. Também foram encontradas anomalias de baixa amplitude de reflexão que poderiam estar associadas a óleos biodegradados presentes no subsolo, mas que na realidade foram causadas por variações na concentração de argila no solo, conforme observações diretas provenientes de furos de sondagens.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica durante o desenvolvimento desta pesquisa. A Ernande da Costa Santos, David Nakamura Leite, Rubens Teixeira Machado e Vinícius Rafael Neri dos Santos pelo apoio durante a aquisição e processamento dos dados. À empresa Bandeirante responsável pela administração das ETDs, pelo apoio logístico.

Referências

- Annan, A.P., 2001. Ground Penetrating Radar – Workshop Notes. Sensors & Software, Inc. Mississauga, Ontario, Canada.
- Cassidy, N.J., 2007. Evaluating LNAPL contamination using GPR signal attenuation analysis and dielectric property measurements: Practical implications for hydrological studies. *Journal of Contaminant Hydrology*, v.94, p.49-75.
- Castro, D.L.; Branco, R.M.G.C., 2003. 4D ground penetrating radar monitoring of a hydrocarbon leakage in Fortaleza (Brazil) during its remediation process: a case history. *Journal of Applied Geophysics*, v.54, p.127-144.
- Daniels, D.J., 1996. Surface Penetrating Radar. The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom.
- Griffiths, D.J., 1999. Introduction to Electrodynamics (Third Edition). Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey.
- Knight, R., 2001. Ground Penetrating Radar for Environmental Applications. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. v.29, p.229-55.
- Oliveira, M.G., 2008. O uso do método GPR para mapear interferências no subsolo urbano e diagnosticar a contaminação ambiental de vazamentos de óleo em cabos elétricos subterrâneos. Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo (USP), Campus de São Paulo.
- Porsani, J.L., 1999. Ground Penetrating Radar (GPR): Proposta Metodológica de emprego em estudos geológicos – geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado – SP. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade do Estado de São Paulo (UNESP), Campus de Rio Claro.
- 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.
- Sauck, W.A., 2000. A model for resistivity structure of LNAPL plumes and their environs in sandy sediments. *Journal of Applied Geophysics* v.44, p.151-165.