



Análise e detecção de dutos utilizando os métodos geofísicos GPR e Magnetometria

Anderson Roque A. dos S. Meneses, Marco Antônio Barsottelli Botelho, Universidade Federal da Bahia, Brasil

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica.

This paper was prepared for presentation at the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th 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

It was tested the magnetometric method efficiency to detect buried pipes and comparing the results with those obtained with the electromagnetic method of Ground Penetrating Radar (GPR).

It was also made GPR data acquisition on areas where the pipe line crosses one river analyzing its ability to detect the tubes at different distances of the river's border and also over the river.

Among the studied areas on Sergipe, Bahia and Espírito Santo States there are: (1) at Rio Una, where we acquired five (5) magnetometric profiles at different distances of the river (0, 10, 20, 30 and 50 meters) using a magnetic measurement interval of one (1,0) meter over each profile, and it was also performed one GPR acquisition, which follows the same profiles using antennae of 100 and 200 MHz, making a scan measurement at each 0,1 meter; (2) another area studied with GPR is the crossing point of TRANSPETRO's pipeline with Rio Catana; (3) and also the crossing point of TRANSPETRO's pipeline with Rio Pirapama.

As a conclusion we can easily see that the GPR is very useful to locate and calculate the depth of the buried pipes but the proximity with the river usually decreases its ability to detect the tubes. The combination of GPR with the magnetic method increase the success to detect the tubes of the pipeline.

Introdução

Os pulsos eletromagnéticos de alta frequência (10-2500MHz) são emitidos pela antena transmissora do radar propagando-se em subsuperfície, que ao encontrar uma interface de impedância elétrica duto-rocha, parte do sinal é refletido e captado pela antena receptora. O tempo que o pulso leva para atingir o refletor e retornar à antena receptora, determina a posição deste refletor, desde que se conheça a velocidade de propagação do pulso. O emprego de GPR na detecção de tubulações é um procedimento clássico, empregado em todo o mundo. Entretanto, quando a condutividade elétrica ¹ do solo é bem maior que 1,0mS/m, ocorre a absorção do pulso eletromagnético e não há energia difratada e/ou refletida

de volta para a superfície e, assim, não é possível detectar os tubos.

O processo de magnetização de diferentes materiais surge devido a fontes internas ou podem ser induzidas de diferentes formas (seja por fontes magnéticas externas de campos uniformes, variáveis, unidirecionais ou em diferentes direções). Como realizar a abordagem teórica depende das condições. Nesse caso, em primeira análise, leva-se em consideração que o campo externo é uniforme e transversal aos objetos, produzido pelo planeta Terra, cujo efeito sobre o corpo enterrado será detectado pelo magnetômetro. Esta aproximação é viável, pois as distribuições dos tubos, bem como o comportamento do campo nessas regiões, são localizadas. Um aspecto teórico necessário é a discussão sobre os problemas de valores de contorno pois a resposta do tubo ao campo magnético depende da distribuição geométrica do mesmo, do campo ao qual está submetido e das propriedades magnéticas do meio e do tubo.

A integração do método GPR com o magnetométrico permitirá confirmar a existência do tubo, mesmo onde a condutividade do terreno seja alta o suficiente para causar a absorção do pulso eletromagnético de radar. Uma segunda, e não menos importante utilidade do método magnetométrico, é a detecção de dutos em terrenos aluvionar com seixos e calhas, pois as rochas também irão gerar hipóboles de difração, sem distinguir-se no radargrama, quais são provenientes de rochas ou de tubulações.

Principais aspectos teóricos do GPR

As relações constitutivas escalares definem as propriedades eletromagnéticas dos materiais e como respondem aos campos aos quais se submetem, dependendo da composição, porosidade, umidade, teor de salinidade e distribuição geométrica. As propriedades dos materiais são caracterizadas pelas grandezas físicas condutividade elétrica σ (em mS/m), permissividade dielétrica ϵ (em F/m) e permeabilidade magnética μ (em H/m). As relações que definem essas propriedades são:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (1)$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (3)$$

onde (1) define as correntes de condução, a lei de Ohm, (2) as correntes de deslocamento e (3) as orientações dos dipólos magnéticos. Para a faixa de frequência do GPR em meios geológicos, a permeabilidade magnética não varia significativamente de modo que seu valor se aproxima ao do vácuo.

¹referenciar as condutividades dos rios do trabalho

Para meios com baixa perda de energia, o campo EM propaga-se com uma velocidade de fase de:

$$v = \frac{c}{\sqrt{k}} \quad (4)$$

onde $c = 2,997 \times 10^8 \text{ m/s} \cong 0,3 \text{ m/ns}$ é a *velocidade da luz*, k é a razão entre as permissividades dielétricas do meio ϵ e do vácuo $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$, denominada *permissividade dielétrica relativa*.

Magnetometria-Condições de Contorno

Por se tratar de dutos enterrados em subsuperfície, sem variações longitudinais acentuadas, tem-se um problema de simetria cilíndrica, onde deve-se utilizar a *Equação de Helmholtz* no domínio do espaço em coordenadas cilíndricas, em termos da função de onda ψ ,

$$\left[\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + k^2 \right] \psi(\rho, \theta, z) = 0 \quad (5)$$

que tratada pela Transformada de Fourier, obtêm-se as *Equações de Bessel* cujas devidas considerações resulta em termos senoidais conjugados a potências de m na base ρ , dada por,

$$\psi = \sum_{m=1}^{\infty} [C_{1m}\rho^m + C_{2m}\rho^{-m}][C_{3m}\cos(m\theta) + C_{4m}\sin(m\theta)]; m \neq 0 \quad (6)$$

$$\psi = [C_1 \ln(\rho) + C_2]; m = 0 \quad (7)$$

Seja um campo magnético uniforme cuja direção é perpendicular ao eixo magnético de um cilindro infinito e de permeabilidade magnética μ_2 imerso em um meio de permeabilidade magnética μ_1 . Impondo as condições de contorno e analisando as simetrias do problema, têm-se o *Potencial Escalar Magnético Externo* como,

$$V_e = -H_0 \rho \cos \theta + \frac{H_0 R^2}{\rho} \left(\frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_1 + \mu_2} \right) \cos(m\theta) \quad (8)$$

$$V_e = V_e^p + V_e^s \quad (9)$$

onde V_e^p é devido à fonte externa e V_e^s ao potencial anômalo do cilindro. A *Intensidade do Campo Magnético Externo*, pode ser obtido a partir do termo V_e^s ,

$$\mathbb{H}^s = -\nabla V_e^s \quad (10)$$

que em termos de coordenadas cartesianas $0xz$, de origem no centro do cilindro é expressa como,

$$\mathbb{H}^s = H_0 R^2 \left(\frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_1 + \mu_2} \right) \left[\frac{(x^2 - z^2)\hat{\mathbf{i}} + (2xz)\hat{\mathbf{k}}}{\rho^4} \right] \quad (11)$$

onde essa equação demonstra que as respostas do campo magnético dependerá apenas das permeabilidades do meio e do duto, e das coordenadas que localizam os pontos de amostragem. Ou seja, efeitos relacionados à condutividade elétrica, como atenuação, e outros problemas que podem afetar o GPR, não ocorrem com o método magnetométrico, por não ter como propriedade física a permissividade dielétrica e sim as susceptibilidade magnética.

Metodologia

Os dados magnetométricos foram tratados pela correção das estações bases e redução do IGRF. Importados para o software OASIS MONTAJ 7.3, da empresa GEOSOFT, os dados foram interpolados através do método da Krigagem devido o espaçamento relativamente distante entre perfis e intervalos de dados nos mesmos, atentando-se para possíveis problemas de efeito aliasing. As interpretações foram realizadas baseando-se no caráter dipolar do campo magnético.

Os dados de GPR foram interpretados segundo presença de hipérboles como assinatura de posicionamento dos dutos.

Resultados

A figura 1.a mostra radargramas levantados nas margens do Rio Pirapama (BA) onde se observa que a indicação de presença do duto, por meio da hipérbole de difração, que é nítida quando afastada da margem (100 m) e praticamente imperceptível na margem mais próxima ao rio. A figuras 1.b, mostra que o GPR não possui o mesmo desempenho na área de aquisição principalmente em terrenos saturados. Em situações como esta, a magnetometria surge como uma ferramenta importante para o mapeamento dos dutos.

As figuras 3,4 e 5, mostram as identificações das hipérboles de difração localizando espacialmente os dutos ao longo o perfil.

Na figura 7 pode ser observado dutos mapeados tanto por magnetometria como pelo GPR. A interpretação no GPR foi realizada também pelas demarcações das hipérboles de difração como nas figuras anteriormente discutidas, onde foram identificados 3 dutos. Na magnetometria foram observados os dipolos magnéticos associados à perturbação dos dutos, pontualmente onde se tem círculos em azul, antes de delinear as orientações possíveis. Apesar de nos dutos onde há uma relativa proximidade ocorrerem respostas dipolares circunvizinhas, dando a impressão de ocorrência de mais objetos do que realmente ocorre, foi possível identificar 4 dutos.

Da direita para a esquerda, o primeiro duto, aproximadamente na coordenada $(0,5;0,0)m$ na parte inferior do mapa magnético, parece não apresentar dipolos, o que discorda à medida em que se sobe ao longo do sua direção. O radargrama marca bem essa informação, tanto na figura 7, quanto nas figuras 3,4,5 e 6. O segundo duto não se apresenta nos dados de GPR, mas é bem delineado no mapa de anomalia magnética.

No terceiro, marcado em cinza, não foi possível identificar os dipolos de anomalia magnética sendo então auxiliado pela interpretação do radargrama. No último a parte superior do mapa de anomalia magnética parece não fornecer informações. Todavia a partir das figuras 3,4,5 e 7, é possível perceber a existência de um duto entre as coordenadas na direção $0x$, entre $17,0$ à $20,0m$. Possivelmente em todos os casos onde não foi possível demarcar anomalias magnéticas, o ambiente pode ser ou conter algum material com resposta magnética se superpondo às respostas de dipolos pontuais dos dutos. Em todos os casos os dutos não passam da profundidade de $2,0m$.

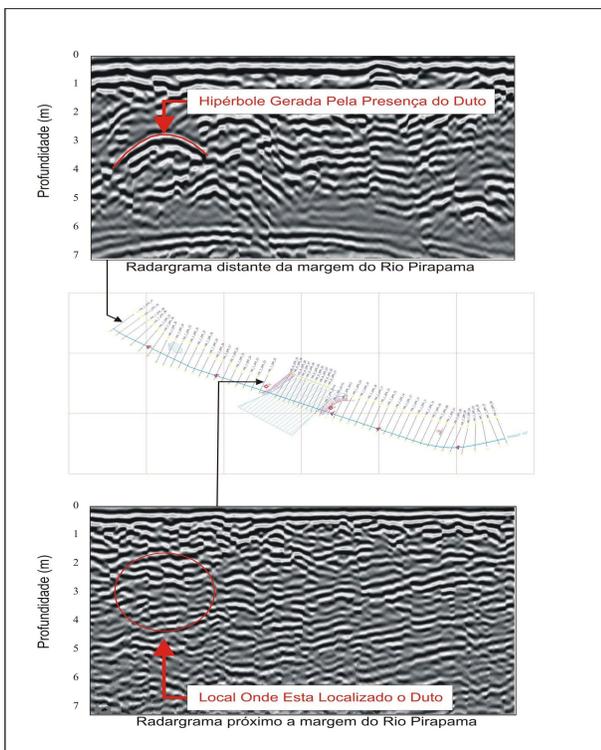


Figure 1: Pirapama: destaca-se acima o duto mapeado distante da margem e abaixo atenuação da resposta devida a proximidade com o rio;

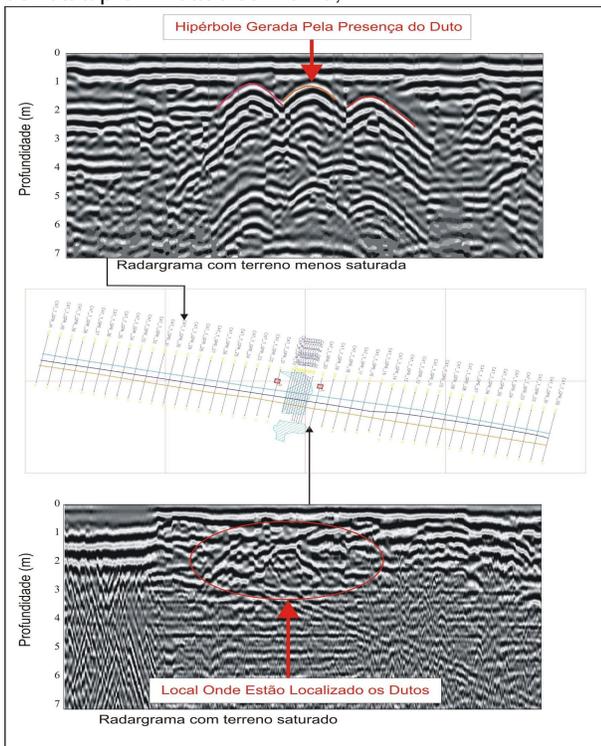


Figure 2: Rio Catana: acima dutos bem mapeados e abaixo sendo mascarados devido umidade-salinidade.

Conclusão

Ficou demonstrado nesses primeiros resultados a eficiência dos métodos Magnetométrico (MAG) e

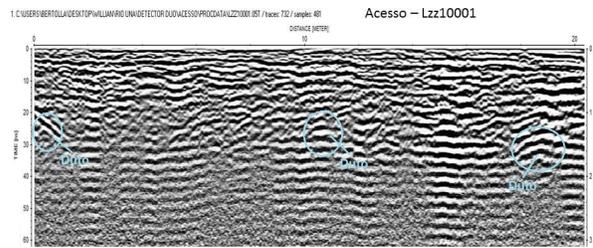


Figure 3: Radargrama L01, Rio Una

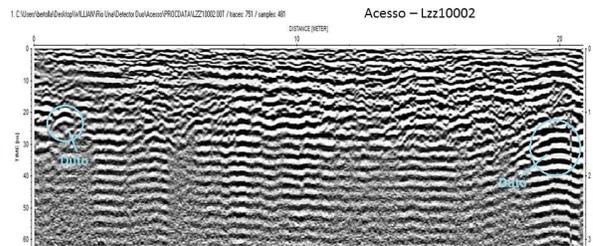


Figure 4: Radargrama L02, Rio Una

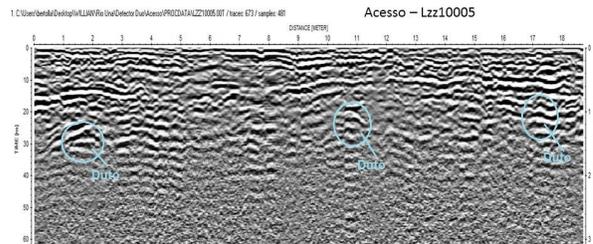


Figure 5: Radargrama L05, Rio Una

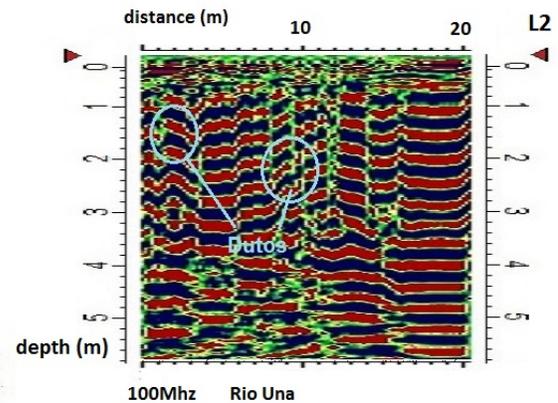


Figure 6: Radargrama L02A, Rio Una

Eletromagnético GPR, na detecção de dutos, e a importância da utilização destes para obter informações integradas possibilitando o mapeamento completo dos dutos;

Em locais onde se tem dutos próximos aos rios o GPR não é uma opção viável para demarcar suas orientações, sendo então necessário a utilização dos

métodos magnetométricos, onde esses efeitos não ocorrem.

A metodologia de demarcar dipolos magnéticos para a interpretação das respostas perturbativas pontuais dos dutos é válida, mas caso ocorra na área corpos que também possuam respostas magnéticas relativamente elevadas, os dipolos podem ser superpostos por essas amplitudes, o que necessitaria das informações obtidas pela interpretação nos radargramas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Termo de Referência de número 0050.0051297.09.9 firmado entre a PETROBRA(CENPES)-UFBA-FAPEX o qual tornou possível esta pesquisa através do apoio financeiro para compra dos equipamentos e o pagamento da bolsa de mestrado do primeiro autor.

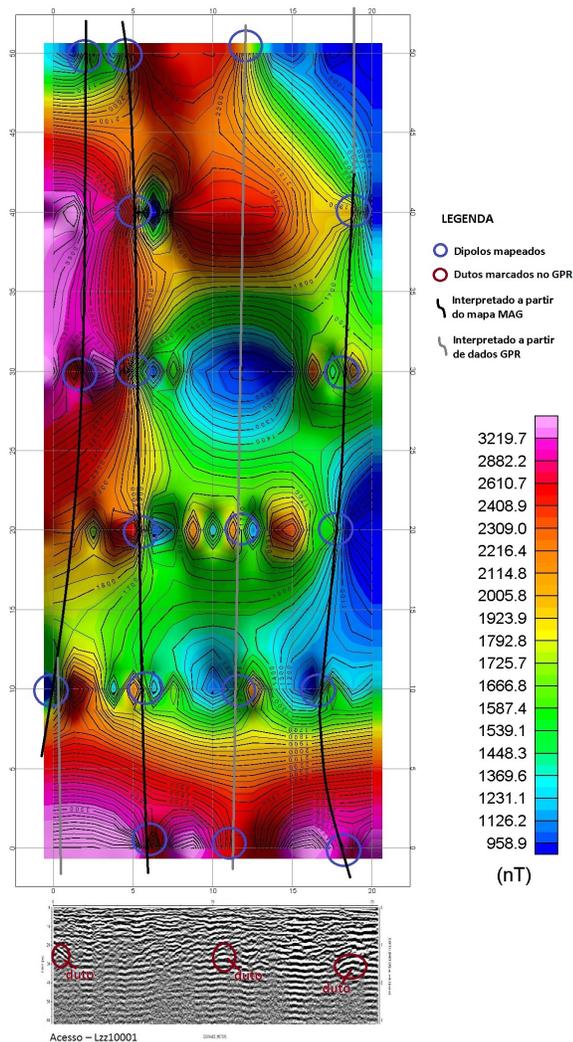


Figure 7: Integração do mapa de anomalia magnética total com o radargrama da linha L01, ambos realizados perpendiculares aos dutos e adjacentes ao Rio Una: notar como os dados se complementam com diferentes informações entre os métodos

Referências Bibliográficas

1. Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E. e Keys, D. A.; Applied Geophysics. Cambridge University Press, 1990.
2. Richard J. Blakely; Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications. Cambridge University Press, 1996.