



Utilização do GPR 3D bi-polarizado na localização de um BOP soterrado devido a colapso de terreno no Campo de Fazenda Belém, Bacia Potiguar.

*Pedro Xavier Neto¹, pedroxavier@petrobras.com.br, e Walter Eugênio de Medeiros^{2,3}, walter@dfe.ufrn.br

1- PETROBRAS/UN-RNCE/ATEX/PS, Natal, RN.

2- Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG/UFRN, Natal, RN.

3- Depto. de Física Teórica e Experimental– UFRN/CCET, Natal, RN.

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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.

Resumo

O GPR utiliza antenas para irradiar a energia eletromagnética para o meio geológico. Esta energia, ao se propagar no meio geológico, sofre reflexão quando encontra interfaces com contrastes de impedância eletromagnética (interface litológica, objetos enterrados, etc) e é recebida pela antena receptora. A energia refletida por um alvo é função da amplitude e da direção de vibração (polarização) do campo eletromagnético incidente. Isso implica que o receptor é sensível à direção de vibração do campo eletromagnético e, portanto, sensível à morfologia ou disposição espacial do alvo.

Aproveitando essa característica do GPR foi realizado um levantamento bipolarizado 3D, com antena bistática de 80 MHz, objetivando localizar um equipamento BOP (*blow out prevention*) que havia caído em uma dolina aberta quando da perfuração de um poço em Fazenda Belém-Ce na Bacia Potiguar.

Os resultados obtidos mostraram que o levantamento com as antenas paralelas à linha (PL) se mostrou mais adequado à detecção do BOP bem como permitiu uma melhor atenuação dos ruídos de fontes superficiais.

Introdução

O GPR utiliza antenas para irradiar a energia eletromagnética para o meio geológico. Virtualmente todos os tipos de antenas de GPR são dipolos elétricos que formam um conjunto transmissor-receptor. O campo eletromagnético irradiado é caracterizado por atributos descritivos tais como: amplitude, fase, frequência e direção da vibração dos campos elétrico e magnético (polarização). Já a energia refletida por um alvo é função da amplitude e da direção de vibração (polarização) do campo eletromagnético incidente. Enquanto a antena transmissora irradia energia em diferentes direções, a antena receptora é sensível à direção de vibração dos campos elétrico e magnético, respondendo de forma diferente à diretividade da energia refletida pelo alvo (Radzevicius, 2001). Essa seletividade direcional do sinal do GPR tem sido utilizada em estudos de

anisotropia do meio, para atenuar ruídos de fontes superficiais, na detecção de alvos 1-D (dutos, fraturas verticais), ou em situações nas quais não se conhece a priori a posição do alvo em subsuperfície.

Aproveitando essa característica do GPR foi realizado um levantamento bipolarizado 3D, com antena bistática de 80 MHz, objetivando localizar um equipamento BOP (*blow out prevention*) que havia caído em uma dolina aberta quando da perfuração de um poço em Fazenda Belém. Não se sabia a profundidade em que o equipamento se encontrava nem a sua posição de jazimento. Em vista disso foi parametrizado um levantamento 3D bipolarizado com antenas bistáticas de 80 MHz. Um *pattern* foi realizado com as antenas dispostas perpendicularmente às linhas (*perpendicular broadside-PR*), enquanto o outro foi feito com as antenas paralelas às linhas (*parallel broadside-PL*).

Os resultados obtidos mostraram que o levantamento com as antenas paralelas à linha (PL) se mostrou mais adequado à detecção do BOP bem como permitiu uma melhor atenuação dos ruídos de fontes superficiais.

Contextualização do problema de colapso de terreno em Fazenda Belém

O campo de Fazenda Belém localiza-se na porção oeste da Bacia Potiguar terrestre. A região caracteriza-se por uma topografia bastante plana, sendo recoberta pela Formação Barreiras, e por sedimentos Quaternários. Subjacente à Formação Barreiras ocorre o calcário da Formação Jandaíra (Cretáceo) cujo topo, muito irregular, reflete uma paleo-topografia associada a processos de karstificação. Em vários locais no campo, existem históricos de colapsos de terreno associados à dissolução do substrato calcário, que na área é recoberto por sedimentos da Formação Barreiras, com espessuras que variam de 5 a 30 metros. As estruturas de colapso, a depender de seu porte e da profundidade, podem comprometer edificações, paredes de diques, tanques, postes, etc. O aparecimento dessas estruturas de colapso está relacionado diretamente com a desestabilização, provocada pelo fluxo de água que se infiltra no solo, carreando consigo a cobertura superficial arenosa resultando no surgimento de dolinas.

Durante a perfuração de um poço de desenvolvimento no campo de Fazenda Belém, em janeiro de 2003, ocorreu um súbito desmoronamento do terreno onde a sonda de perfuração estava locada, provocando seu basculamento e a queda de vários componentes do aparato de perfuração, dentre eles uma

válvula BOP (*blow out prevention*), figura 1. O BOP é um equipamento de segurança que permite seccionar a coluna de perfuração em caso de vazamento de gás ou outras contingências.

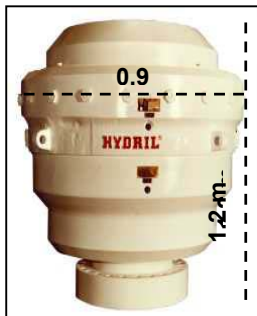


Figura 1- Um equipamento BOP semelhante a este, caiu em uma dolina aberta quando da perfuração de um poço no campo de Fazenda Belém. O BOP possui cerca de 1.2 m de altura e uma largura de 0.9m.

A equipe de perfuração efetuou manobras de emergência e conseguiu estabilizar a sonda, que ficou suspensa apenas pela super-estrutura. A dolina que se abriu com o colapso de terreno foi então preenchida com o seguinte volume de material, que também soterrou o BOP.

- 72 m³ de pedras para alicerce
- 24 m³ de areia grossa
- 60 bbl de pasta de cimento
- 12 m³ de brita

A equipe conseguiu retirar a sonda da locação e um outro poço gêmeo foi perfurado ao lado, afastado cerca de 50 metros da locação original.

Alguns meses depois resolve-se tentar resgatar o BOP soterrado. O primeiro passo para isso era localizar o BOP e determinar a sua profundidade de jazimento, a fim de que a equipe de engenharia da PETROBRAS pudesse elaborar um plano de escavação seguro e eficiente, de modo a não por em risco a integridade das pessoas e do próprio BOP.

Foi então solicitado o apoio da equipe de Geofísica da UFRN, ligada ao Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG), que cedeu um equipamento de GPR GSSI SIR-2, para tentar localizar o BOP. Não se sabia a profundidade em que o equipamento se encontrava e nem a sua posição de jazimento. Também era esperado um alto grau de ruído cultural no dado de GPR, em função da presença de postes, cercas, tubulações enterradas e superficiais, etc. Em vista disso optou-se pela realização de um levantamento 3D bi-polarizado com antenas bistáticas de 80 MHz.

O efeito de polarização das antenas do GPR já foi estudado e utilizado por outros autores tais como: Roberts (1994), Guy et. Al (1999), Radzevicius (2000), Lehman et. Al (2000), van der Kruk et. Al (2001).

O presente trabalho representa uma utilização pioneira de utilização do GPR 3D bi-polarizado na resolução de uma demanda interna da PETROBRAS.

Descrição do levantamento

O levantamento foi realizado com antenas bistáticas de 80 MHz, e constou de 21 linhas (*in-lines*) espaçadas de 0.6 m. O intervalo de traços em cada linha foi de 0.3 m (*cross-lines*). O tempo de registros (*range*) foi de 1000 ns e a razão de amostragem de 1 amostra/ns.

Foi feita a demarcação e posicionamento plano-altimétrico das linhas e colocado piquetes de madeira no início e fim de cada linha (figura 2).



Figura 2 – Demarcação e levantamento plani-altimétrico do 3D de GPR.

Foram realizados dois levantamentos 3D. O primeiro levantamento foi realizado com as antenas dispostas perpendicularmente às linhas (*perpendicular broadside-PR*), enquanto o segundo levantamento foi feito com as antenas paralelas às linhas (*parallel broadside-PL*) (figura 3).

Processamento e interpretação dos dados

O processamento dos dados foi realizado utilizando-se o software PROMAX 3D, segundo a metodologia de Xavier Neto e Medeiros (2002), e constou das seguintes etapas:

- Conversão para o formato seg y;
- Correção para *zero-offset*;
- Dessaturação, objetivando corrigir o efeito de indução eletromagnética existente entre as antenas;
- Gridagem e composição do *dataset* 3D;
- Correção dos efeitos de propagação;
- Análise de velocidades
- Filtragem F-K
- Migração 3D
- Filtragem de frequências

Após processados, os dados foram carregados em *workstations* e interpretados com os softwares SeisX e VoxelGeo

Resultados

A figura 4 apresenta o resultado do imageamento com as antenas paralelas à linha (PL), enquanto que a figura 5 mostra o resultado obtido com as antenas perpendiculares à linha (PR). Percebe-se que o levantamento com as antenas paralelas às linha (PL) se mostrou mais adequado à detecção do alvo (figura 4), bem como permitiu uma melhor atenuação dos ruídos de fontes superficiais. O levantamento PR, se mostrou mais susceptível aos ruídos superficiais, gerando um imageamento com baixa razão sinal/ruído, o que obliterou a detecção do alvo.

O BOP foi localizado no cruzamento da *in-line* 7 com a *cross-line* 21 a uma profundidade em torno de 8 m. É possível notar que a presença do BOP não está bem caracterizada nas *in-lines* do levantamento PR (figura 5), ao contrário do que ocorreu quando foi utilizada a configuração com as antenas paralelas à linha (figura 4). A figura 6 mostra o cubo 3D do levantamento PL com um corte horizontal do BOP.

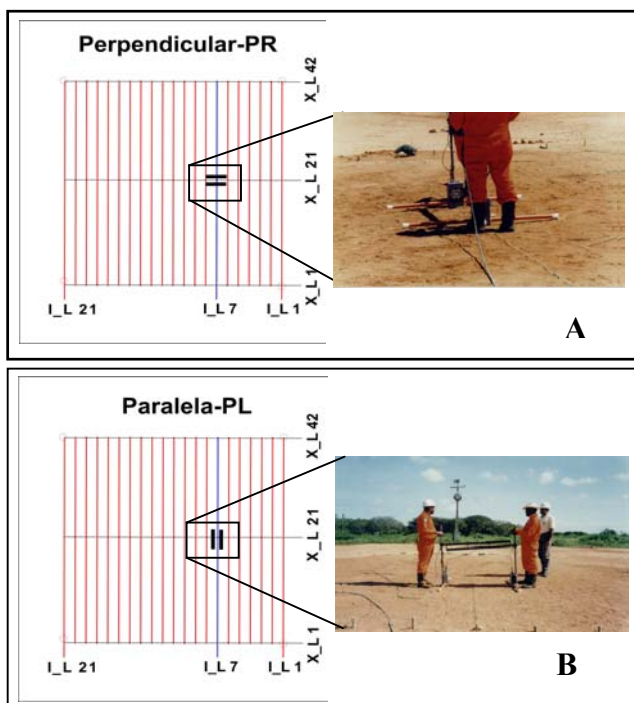


Figura 3 – Configurações de arranjos de antenas de GPR. Em (A) as antenas foram dispostas perpendicularmente à linha de registro (*perpendicular broadside-PR*). Em (B) as antenas estão paralelas à linha de registro (*parallel broadside-PL*).

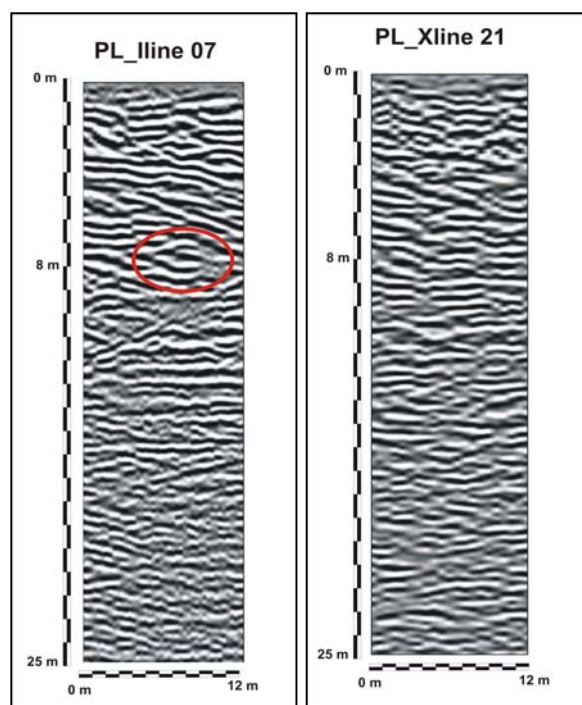


Figura 4 - Painéis de radargramas da configuração de antenas paralelas à linha de aquisição (arranjo PL). O BOP foi localizado no cruzamento da *in-line* 7 com a *cross-line* 21. Na *in-line* 7 é possível identificar a presença do BOP a uma profundidade em torno de 8 m.

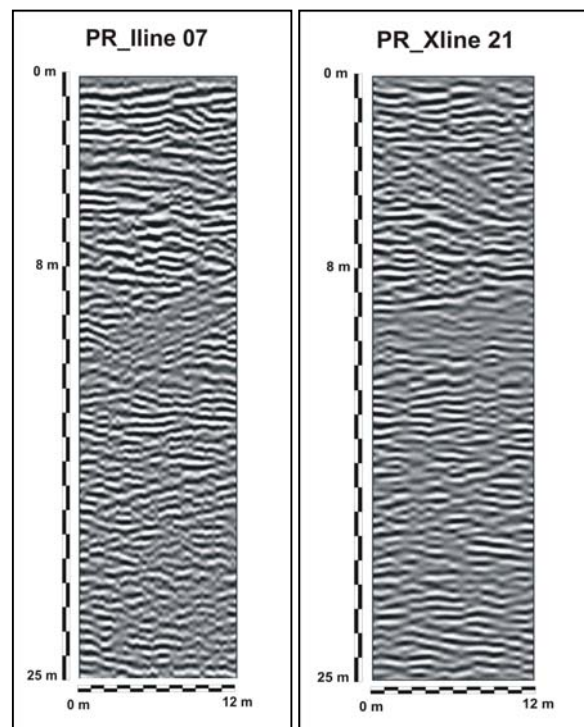


Figura 5 - Painéis de radargramas da configuração de antenas perpendicular a linha de aquisição (arranjo PR).

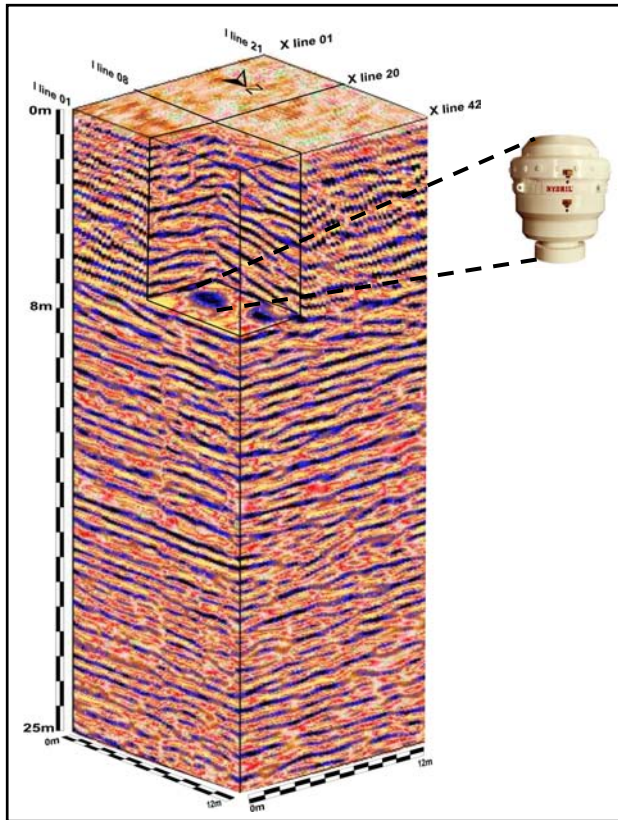


Figura 6 - Cubo 3D do levantamento realizado com o arranjo PL. O BOP foi localizado a uma profundidade em torno de 8 m. O BOP foi localizado no cruzamento da *in-line* 7 com a *cross-line* 21

Conclusões

A utilização do levantamento 3D bi-polarizado mostrou-se eficiente na localização de alvos que possuam alguma polarização dimensional, isto é, tenham uma dimensão maior do que outra (comprimento maior do que a largura, por exemplo). No caso retratado no presente trabalho o BOP foi melhor imageado com o arranjo de antenas dispostos paralelamente à linha de aquisição.

Esta técnica de levantamento também permite atenuar os ruídos que atingem lateralmente a linha de aquisição, resultando em uma melhor performance do GPR em áreas ruidosas (como áreas industriais por exemplo).

Referências

Guy, E., Daniels, J., and Radzevicius, S., 1999, Demonstration of using crossed dipole GPR antennae for site characterization: *Geophysical Research Letters*, 26, 3421-3424.

Lehman, F., Boerner, D., Holliger, K., and Green A., 2000, Multicomponent georadar data: Some important implications for data acquisition and processing: *Geophysics*, 65, No 5, 1542-1552.

Radzevicius, S. J. 2000. Dipole Antenna properties and their effects on ground penetrating radar data. Phd Thesis. Ohio University 153 p

Robersts, R. L., 1994, Analysis and Theoretical Modeling of GPR polarization data, PhD Thesis, Ohio State University, Columbus, Ohio, 429 p.

Van der Kruk, J., 2001, Three dimensional imaging of multi-component ground penetrating radar data, PhD Thesis, Delft University Of Technology, 242 p.

Xavier Neto, P. e Medeiros, W. E. de, 2002, Processamento e interpretação de dados 3D de GPR: Aplicação na localização de estruturas de dissolução e colapso na ETO/ETE do campo de Fazenda Belém-Bacia Potiguar. VIII Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro-RJ, Res. Exp.