



Imageamento da subsuperfície rasa com GPR nas vizinhanças de fontes naturais existentes no município de São Sebastião do Passé-BA

Marcy A. Borges, Marco Barsottelli Botelho, Jacira C. F. Lucas, Universidade Federal da Bahia - CPGG

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th 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

We employ the geophysical method named GPR (Ground Penetrating Radar) to investigate the shallow subsurface in the vicinity of natural water sources in São Sebastião do Passé, Bahia.

In these surveys, we used an antenna with center frequency of 200 MHz, using a constant offset configuration. It were acquired 14 profiles in four localities of the city: Banco de Areia, Capivara e Água Preta where outcrops the sediments of São Sebastião Formation and Km 2 where outcrops the Barreiras Group. The data were processed using a basic flow, which includes: the application of gains, time domain filtering, conversion to depth and static correction.

The radargramas processed were then interpreted, making it possible to identify lithologic contacts, sedimentary structures such as laminations and stratification, and also reflectors corresponding to the shallow water table. It was still possible to determine the saturated zone through the reflection pattern, as also were found buried pipes and wires, as revealed by diffraction hyperbolae. Finally, we proved the applicability of the method in characterizing heterogeneity of electrical and electromagnetic properties associated with the geological structures in the shallow subsurface.

Introdução

O GPR (*Ground Penetrating Radar*) gera pulsos curtos de energia eletromagnética, e é considerado um método geofísico que fornece alta resolução das estruturas rasas em sub-superfície. Ele opera nas frequências de 10 a 1000 MHz, vide Davis e Annan (1989). O pulso eletromagnético se propaga no solo a partir de uma antena transmissora e, ao mesmo tempo, uma antena receptora detecta as ondas que são refletidas abaixo da superfície. Ou seja, quando um pulso de radar encontra uma interface que marca o contraste de impedância eletromagnética entre camadas, ocorre a transmissão, reflexão, refração e, também, difração da energia deste pulso. O tempo gasto entre a transmissão do pulso e a chegada dos eventos de reflexão é proporcional à

profundidade destas interfaces situadas na subsuperfície, e também, às velocidades de propagação da onda eletromagnética nas camadas. O GPR tem sido usado com êxito para detectar a presença de água, localizar cavidades do solo, ou estruturas geológicas de subsuperfície rasa. O GPR também vem sendo cada vez mais usado em investigações arqueológicas e situações de vazamentos subterrâneos em dutos de óleo e gás. Vide Daniels (1998).

Uma das aplicações mais promissoras do GPR é no mapeamento de lençol freático e de contaminantes, como hidrocarbonetos. A detecção do lençol freático é possível devido à grande mudança na constante dielétrica do solo quando de seco ele passa a saturado. Quando uma rocha está saturada com água, o contraste de impedância eletromagnética entre a zona saturada e a insaturada causa uma forte reflexão do pulso de radar. Desta maneira, o nível freático pode ser detectado na maioria dos casos. A escolha adequada da frequência da antena permite atingir uma boa profundidade de penetração sem perder resolução espacial. Em nosso caso, as antenas de 200 MHz atenderam nossos requisitos de resolução e profundidade de penetração.

O método pode ser aplicado com êxito em pesquisas geológicas rasas com profundidade de até 50 metros. A vantagem do método é sua resolução vertical e lateral em ambientes de alta resistividade. A restrição principal do método é a penetração limitada em meios condutivos como argilas, água salgada ou contaminada. Sendo esta técnica condicionada pelas propriedades elétricas do meio principalmente a constante dielétrica e a condutividade elétrica, o radar se mostra extremamente sensível à presença de água e torna-se uma ferramenta importante em investigações hidrogeológicas, como pode ser comprovado no trabalho de Greaves et al (1996).

Os perfis GPR foram adquiridos nas proximidades de fontes naturais com o objetivo de determinar o nível freático e obter imagens da subsuperfície rasa para caracterizar a heterogeneidade do meio, identificando estruturas sedimentares como estratificações e planos de acamamento, contatos litológicos (entre areia e argila) e corpos enterrados (tubos e fios elétricos).

Localização e Geologia da Área

Neste trabalho, as aquisições dos dados foram realizadas nas circunvizinhanças da cidade de São Sebastião do Passé na Bacia do Recôncavo sobre o sistema aquífero São Sebastião/Barreiras. A localização da cidade de São

Sebastião do Passé em relação à cidade do Salvador é mostrada no mapa da Figura 1.

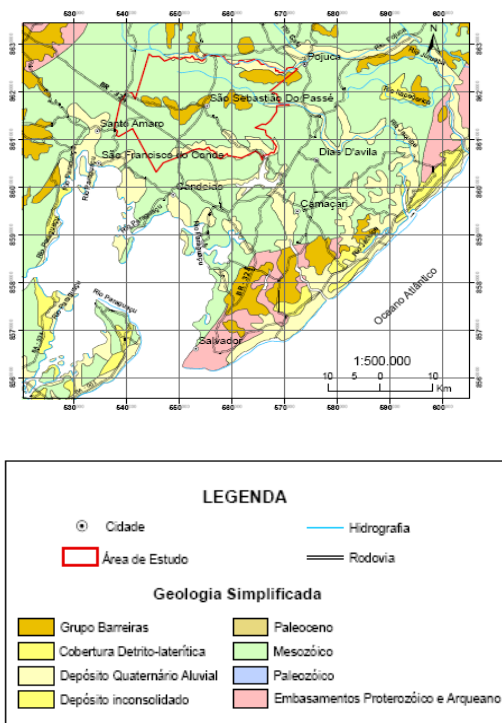


Fig. 01 – Mapa geológico mostrando a área de estudo (linha vermelha) em torno de São Sebastião do Passé e seu posicionamento a NW de Salvador.

A cobertura sedimentar da área estudada é composta por sedimentos da Formação São Sebastião, do Grupo Barreiras e depósitos quaternários aluviais, vide a Fig. 1. Mais informações sobre a geologia podem ser obtidas nos trabalhos de Ghinone(1979) e Caixeta et al (1994).

Método

Todos os dados de GPR levantados neste trabalho foram adquiridos com o equipamento SIR SYSTEM 2000 da GSSI utilizando uma antena com frequência central de 200MHz, com a configuração de afastamento constante. Foram realizados 14 perfis de radar em quatro localidades do Município de São Sebastião do Passé. Os perfis foram levantados transversalmente e longitudinalmente em relação às fontes naturais de água.

O processamento de dados tem como objetivo melhorar a visualização da subsuperfície, corrigir erros e assim aumentar a confiabilidade nos dados. Para tanto, realizam-se procedimentos como: filtragens, definição do tempo zero, ampliações de amplitudes, a fim de produzir uma seção de radar que represente a subsuperfície com o máximo de realidade possível. As principais etapas de um processamento básico, tal como o realizado neste trabalho, consiste em :

1) Aplicação de ganho :

O controle de ganho é utilizado para permitir visualizar as amplitudes dos refletores em qualquer tempo de registro do radargrama. Compensa a redução de amplitude do sinal adquirido, devido à divergência esférica, partição de energia nas interfaces e atenuação da onda no meio de propagação, realçando os refletores mais profundos. No radargrama registrado no Km 2, foi aplicado um ganho AGC com uma janela de 50ns e uma deflexão no espaçamento de traço equivalente a 1,7 .

2) Redefinição do tempo zero

Essa etapa consiste em redefinir a posição do tempo zero. Deve ser feita a fim de reduzir o efeito da onda aérea na escala de tempo, evitando interpretações errôneas acerca das profundidades dos refletores .

3) Análise espectral

Esta etapa consiste em analisar o conteúdo de frequência do dado, para verificar se está dentro da faixa de frequências compatível com a antena utilizada.

4) Filtragem

No radargrama Km2A foi aplicada uma filtragem passabanda de 6 a 480MHz, com filtro tipo Parzen com mergulhos de 24db/oct com 255 pontos. Esse filtro é bastante utilizado, pois conserva apenas o conteúdo de frequência num determinado intervalo pré-definido, compatível com a frequência da antena empregada.

5) Conversão em profundidade

Antes da conversão foi realizada uma análise de velocidades por ajuste hiperbólico. Foram encontrada velocidades $v = 0,10m/ns$ na zona saturada e $v = 0,12m/ns$ na zona seca. O ajuste hiperbólico dos eventos de difração permitem estimar a velocidade da onda eletromagnética no pacote sedimentar acima do ponto difrator. A velocidade de $v = 0,12m/ns$ foi utilizada para fazer a conversão em profundidade.

Resultados

O perfil mostrado na Figura 2 tem 101,0 metros de extensão e atingiu 4,0 metros de profundidade. Observa-se um refletor a 0,5 metros de profundidade (marcado de amarelo), o qual foi interpretado como sendo o nível freático. Ele foi revelado pela continuidade de refletores subhorizontais que definem seu posicionamento. O contato litológico (linha tracejada preta), indica o limite de um pacote de areia saturado sobre um pacote composto provavelmente por um material fino (argiloso). O padrão de reflexão da areia com diversos refletores mais longos (2 a 10 m) se diferencia do padrão mais caótico e com pequenos refletores (0,5 a 2,0 m) da base. Pode-se observar que o perfil do GPR corta transversalmente um canal que se prolonga ao longo do vale. Observa-se, novamente, que nos corpos de areia saturado de água os refletores referentes ao acamamento dos sedimentos apresentam amplitudes mais fortes. O aquífero onde a comunidade locou a fonte está sobreposto a um pacote aluvionar arenoso.

Entre 48 e 56 metros do comprimento do perfil (linha preta em forma de arco) verifica-se uma estrutura que

corresponde a uma ponte. É possível, também, verificar a presença de tubos enterrados entre as posições de 56 e 60 metros de distância (pontos verdes). E, principalmente, observam-se estratificações ou acamamentos sub-horizontais apresentando pequenas inclinações (marcados de preto) sugerindo a deposição de areia para dentro do corpo do canal.

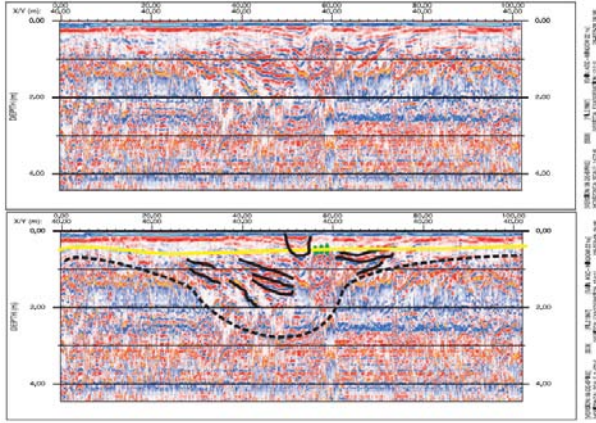


Fig. 02 – Radargrama registrado com antena de 200 MHz com $DT = 0,8 \text{ ns}$ e $DX = 0,10 \text{ m}$, corta um vale situado na localidade de Água Preta, revelando um paleocanal.

O perfil de 25,0 m, denominado Capivara1, na Fig.03 foi adquirido descendo topograficamente da estrada em direção a fonte, observa-se um aumento de amplitude no final do perfil devido ao solo arenoso encharcado de água ao redor da fonte e além do fenômeno de reverberação. Na figura 3, observa-se um refletor a 1,0 metro de profundidade (marcado de amarelo), o qual representa o nível freático. O contato litológico (tracejado de preto) separa provavelmente um pacote de areia superficial saturada de um material mais fino (argiloso). Outros refletores (marcados de preto) representam as estratificações ou planos de deposição.

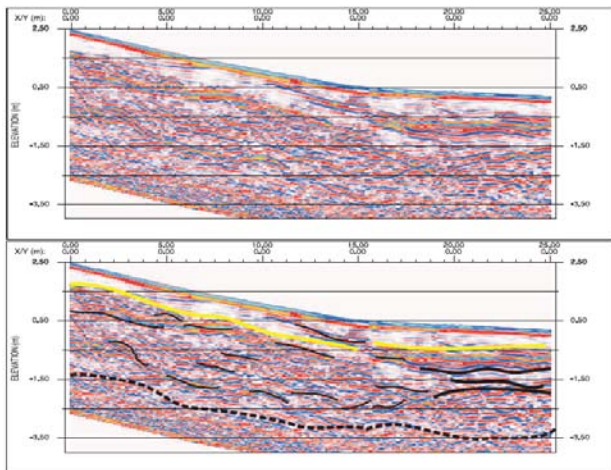


Fig. 03 – Radargrama registrado com antena de 200 MHz com $DT = 1,0 \text{ ns}$ e $DX = 0,10 \text{ m}$, situado na localidade de Capivara.

Levantamos um segundo perfil na localidade de Água Preta, o qual é perpendicular ao mostrado na Fig. 02, e tem apenas 23 metros de extensão, com profundidade de investigação de aproximadamente 6m, como mostrado na figura 4. Este perfil cruzou na perpendicular o radargrama AguaP01 em direção a uma fonte natural. Vide a Fig. 5. Observa-se ao longo deste perfil reflexões mais fortes, possivelmente associadas à camada de areia saturada, cuja base está delimitada pela linha tracejada de preto. Este corpo arenoso se prolonga até 3,0 metros de profundidade. Verifica-se, também, o que pode ser o contato entre duas litologias distintas (tracejado de preto). Nos primeiros 3,0m de profundidade, observa-se um material arenoso com estratos dispostos horizontalmente (marcado de preto) e, logo abaixo, um material com granulometria mais fina. O refletor (marcado de amarelo) representa o nível freático pois delimita uma zona de baixa e alta reflexão. Aproximadamente a 6 metros e a 11 metros de distância (marcado de verde), notam-se corpos enterrados que podem ser tubulações. Na porção final do perfil observa-se um aumento da profundidade da camada arenosa. Deve-se ter cuidado para não confundir o padrão de reflexão da camada de areia saturada com a reverberação de reflexões no poço ali presente.

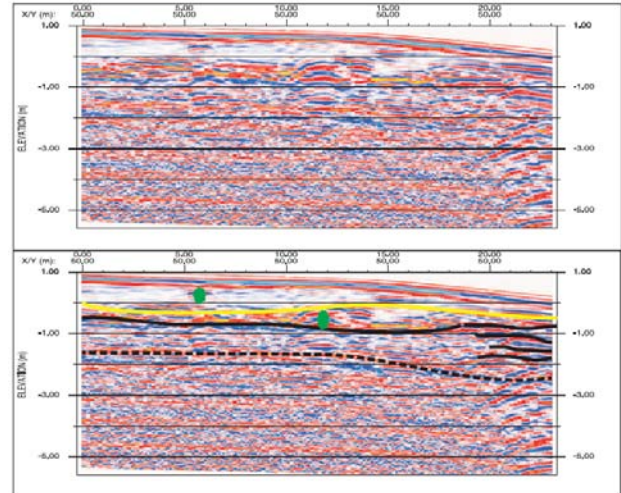


Fig. 04 – Radargrama registrado com antena de 200 MHz com $DT = 0,8 \text{ ns}$ e $DX = 0,10 \text{ m}$, situado na localidade de Água Preta, terminando junto a um poço..



Fig. 05 – Direção do perfil AguaP02, perpendicular ao AguaP01, terminando em uma fonte natural.

Este perfil mostrado na Fig. 6, foi adquirido bem próximo a fonte, com uma extensão de 53,0 metros e profundidade de 5,0 metros. Observam-se várias hipérboles de difração que podem estar associadas a corpos enterrados (talvez troncos). Está bem nítido o contato (tracejado de preto) entre duas litologias, separando o pacote de areia correspondente ao aquífero de um segundo pacote, provavelmente argiloso, visto que a continuidade do sinal praticamente desaparece e depois reaparece descartando a hipótese de ruídos. O nível freático (marcado de amarelo) está muito bem definido em torno de 1,0 metro de profundidade, o que foi comprovado por poço. Foi possível também detectar tubulações enterradas (elipse verde).

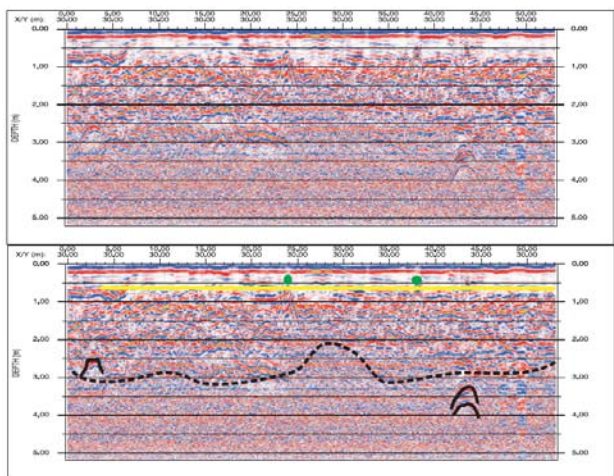


Fig. 03 – Radargrama Capivara4 registrado com antena de 200 MHz com DT = 1,0 ns e DX= 0,10 m. Levantado na parte baixa do terreno, nos permite observar um padrão de reflexão mais grosseiro correspondente ao aquífero aflorante e um segundo padrão mais fino, correspondente a um sedimento mais pelítico.

Conclusões

O método geofísico GPR permite uma investigação da subsuperfície rasa com uma resolução alta, com baixo custo de aquisição e de tratamento de dados, num curto período de tempo. É uma ferramenta excelente no imageamento de subsuperfícies, principalmente em ambientes eletricamente resistivos.

Os radargramas obtidos nas localidades de Água Preta e Capivara apresentaram boa qualidade, apresentando refletores mais bem definidos. Na análise dos dados, foi possível identificar contatos litológicos entre camadas arenosas e camadas argilosas, alguns com ótima resolução, como se pode observar no radargrama Capiva4 (tracejado de preto). O contato entre as zonas seca e saturada (nível freático) foi definido pelos refletores que delimitavam zonas de baixa e alta reflexão, como indicado no radargrama AguaP02 (linha amarela). Estratificações e planos de deposição também foram revelados nas litologias presentes.

No radargrama AguaP01, o perfil cortou transversalmente um canal e foram observados acamamentos sub-horizontais e inclinados, sugerindo a deposição de areia para dentro do referido canal. Hipérboles de difração (ver Capivara 4) foram associadas às areias grossas com cascalho ou outros detritos enterrados. Verificou-se ainda um aumento de amplitude do sinal nos perfis que atravessaram regiões em que o solo estava encharcado de água ao redor das fontes naturais, além do fenômeno de reverberação do poço (ver Aguap02). Para o objetivo proposto neste trabalho, de visualizar as estruturas geológicas rasas, os resultados obtidos foram satisfatórios. O GPR mostrou-se eficaz na definição do nível freático, na caracterização litológica, no mapeamento de estratificações e planos de acamamento e na localização de objetos enterrados, tais como, tubulações e fios elétricos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CPGG/IGEO/UFBA pela infraestrutura de apoio a esta pesquisa. Em particular ao Prof. Roberto Argolo pelo fornecimento dos veículos necessários às viagens de campo. Os autores também agradecem ao CNPq pelo equipamento de radar (GPR) e antenas fornecidos a nossa instituição através do projeto 554459/05-1.

References

Caixeta, J. M.; Bueno, G. V.; Magnavita, L. P. e Feijó, F. J., 1994. Bacias do Recôncavo Tucano e Jatobá, *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 8:163-172.

Daniels, D. J., 1998. Introduction to subsurface radar, vol. 135(f,4), IEE proceedings.

Davis, J. L. e Annan, A. P., 1989. Ground-penetration radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy, *Geoph. Prosp.*, 37:531-551.

Ghinone, J., 1979. Geologia dos sedimentos fanerozóicos do estado da bahia, Governo do Estado da Bahia, Coordenação da Produção Mineral. pp. 24-117.

Greaves, R. L.; Lesmes, D. P.; Lee, J. M. e Toksoz, M. N., 1996. Velocity variations and water content estimated from multi-offset ground-penetration radar, *Geophysics*, 61, pp.683 – 695.