

Deconvolução Preditiva de Perfis de Georadar Obtidos no Lago da Represa Serra Azul - Copasa, Minas Gerais

Paulo Roberto Antunes Aranha - Departamento de Geologia - IGC/UFMG

Milton José Porsani - Labgel - CPGG/UFBA

Ricardo Figueira de Carvalho - Pós-Graduação em Geografia - IGC/UFMG

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.

Resumo

O método de deconvolução preditiva é bastante utilizado no processamento de dados sísmicos para atenuação de reflexões múltiplas associadas à reverberação da energia sísmica na lâmina d'água. No presente trabalho demonstramos a eficiência do método de deconvolução preditiva multicanal (DPM) na atenuação de reflexões múltiplas em perfis de georadar adquiridos sobre lâmina d'água.

Introdução

A bacia hidrográfica do Serra Azul compreende uma região com vários contribuintes hídricos, cujas nascentes abastecem o reservatório de mesmo nome, e que teve seu volume regularizado, se tornando um dos mais importantes mananciais de água da RMBH (Figura 1). Esta bacia com aproximadamente 263 km² é formada pelo Ribeirão Serra Azul, cujo curso principal e suas nascentes estão localizadas no alto da Serra de Itatiaiuçu e Serra dos Caboclos, áreas estas pertencentes aos municípios de Igarapé e Itaúna, respectivamente. A este curso principal vão se integrando outros de vazões semelhantes, como o Ribeirão do Diogo, os córregos do Potreiro, do Curralinho, do Jacu, do Brejo e da Estiva. Tendo o reservatório uma forma dendrítica, em função da rede hidrográfica original (Carvalho, 2003).

A geologia da região apresenta formações pré-cambrianas, com unidades estratigráficas do Super Grupo Rio das Velhas ao norte (Grupo Nova Lima), rochas do Supergrupo Minas (formações Cercadinho, Fecho do Funil, e Formação Sabará). Nestas formações, predominam, respectivamente, quartzitos e filitos cinzentos ferruginosos, filitos e filitos dolomíticos, e sericita-xistos e clorita xistos.

O sistema Serra Azul localiza-se no eixo S-SE da Serra do Curral, do Quadrilátero Ferrífero, cujo relevo montanhoso com escarpas abruptas e declividades superiores a 45%, mantém as cotas altimétricas em torno de 1.000

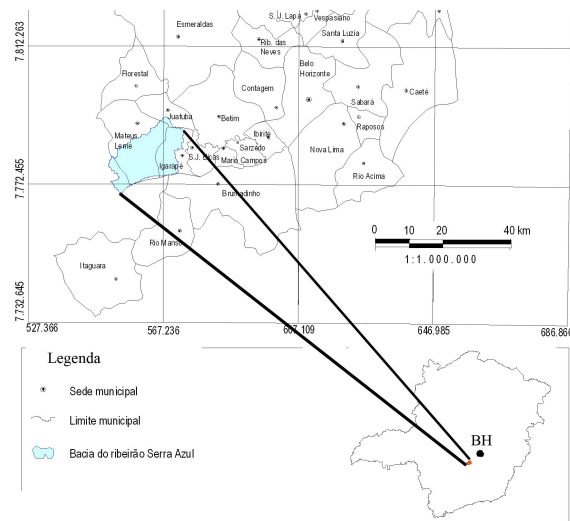


Figura 1: Mapa de localização da bacia do córrego Serra Azul, MG, Brasil.

a 1.430 m. Gomide (1983) esclarece que estas áreas de intensas explorações minerárias resultam e concorrem para o assoreamento de nascentes, inviabilizando, inclusive, parte de inúmeras propriedades rurais, dispondo ainda e significativo passivo de sedimentos, potencialmente a serem carregados em direção ao reservatório de Serra Azul.

As unidades aplainadas do relevo são recobertas por sedimentos clásticos e detríticos, com granulometria variando entre as areias e seixos, sendo estes depositados ao longo dos cursos d'água, em cotas altimétricas em torno de 800 m. São observados vários depósitos de origem coluvionar e eluvionar, mais recentes, do quaternário, constituídos por itabiritos e hematitas (alguns sob cimentação de limonita), e outros depósitos de canga limonita e laterita ferruginosa.

No reservatório Barragem de Serra Azul o Georadar foi aplicado em seções dos braços contribuintes, com o objetivo de verificar a espessura do aporte de sedimentos carregados ao lago, suas feições internas e os contatos geológicos, bem como efetuar uma checagem das medidas batimétricas levantadas convencionalmente.

As seções apresentaram as múltiplas reflexões que podem atrapalhar a interpretação correta dos eventos primários presentes na seção. Estas múltiplas são resultantes da reflexão da onda-EM na interface entre a água e a superfície, após esta se refletir no fundo da represa.

Uma vez que a interface ar-água é um excelente refletor devido ao contraste entre as constantes dielétricas desses dois meios. Para amenizar esse problema na interpretação utilizam-se algumas estratégias de processamento de dados tais como: deconvolução determinística (Gottsche et al, 1994; Xia et al, 2003) ou estatística (Neves et al, 1995; Moutinho et al, 2005; Porsani and Ursin, 2007; Lima et al, 2008).

Neste trabalho apresenta-se a aplicação da deconvolução baseada na recursão de Levinson (Porsani & Ursin, 2007) para a atenuação das múltiplas presentes nas seções de radar.

Metodologia

Os perfis foram obtidos ao longo de braço da represa onde o córrego Diogo deságua na represa. (Figura 2) O equipamento de Georadar, da Mala Ramac, foi colocado sobre o barco de madeira, material que não causa interferência na emissão e recepção das ondas EM emitidas, de modo que as antenas ficassem de modo transversão à direção de aquisição (Figura 3). Foram utilizadas antenas de 100 MHz, com amostragens realizadas a cada 0,10m, sendo medida pelo hip chain, com uma linha ligada à margem de forma a promover o disparo da onda na distância pré-determinada no *hip chain* à medida que a mesma embarcação se afastava do ponto inicial.

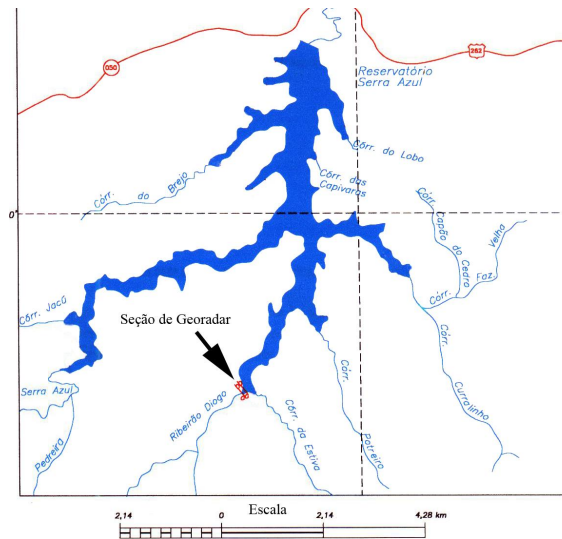


Figura 2: Mapa de localização da seção de Georadar no córrego Diogo que deságua na represa Serra Azul.

Aa embarcação cortava o braço contribuinte no sentido transversal ao curso, sendo a proa puxada por um auxiliar e a popa direcionada por outro ajudante, de forma a não permitir o desvio de rumo do barco.

As condutividades das águas do reservatório de Serra Azul são baixas e nos padrões para águas tropicais. Foi observado que no período de estratificação aumenta nos valores do hipolímnio, paralelo a realização do processo de mineralização da matéria orgânica. Estes valores são de 29,5 mho/cm para o mês de Maio no hipolímnio e de

20 mho/cm para o epilímnio. O que faz com que a velocidade da onda EM na água seja de aproximadamente 32 μ s. Esta velocidade também foi aferida pela cota da água no momento da aquisição.

Os dados foram processados utilizando os seguintes passos: dewow, marcação do tempo zero, muting, para retirada da onda superficial, ganho linear e ganho exponencial 1,66 db por oitava. O período da múltipla foi obtido com a interpretação da seção, isto é, obtendo-se o tempo de chegada da onda refletida no fundo do lago e dobrando-se este valor. Em seguida foi realizada a deconvolução preditiva com a atenuação das múltiplas reflexões. Após esta etapa os dados foram processados no gradix, com apenas a filtragem gaussiana.



Figura 3: Foto da aquisição dos dados de Georadar com barco na represa Serra Azul. Observa-se no primeiro plano o ajudante segurando a corda para guiar o barco obtido com antena de 100 MHz. Observa-se a múltipla do fundo do lago.

Filtragem Preditiva Multicanal

Os filtros preditivos multicanais são soluções de sistemas de equações matriciais que levam em conta a correlação espacial entre as reflexões múltiplas presentes nos canais laterais. A teoria multicanal pode ser obtida da teoria monocanal pela substituição apropriada de escalares por matrizes (Porsani e Ursin, 2007). A seguir exemplificamos para o caso de dois canais.

Considerando z_t como o sinal desejado e x_t e y_t como traços de entrada, o dado estimado, $\tilde{z}(t)$, pode ser representado pela expressão,

$$\tilde{z}(t) = a(t) * x(t) + b(t) * y(t).$$

A expressão para o erro é dada por

$$e_t = z_t - \tilde{z}_t = z_t - a(t) * x(t) - b(t) * y(t).$$

Reescrevendo a expressão acima para um filtro de três coeficientes, temos

$$\tilde{z}_t = \sum_{k=1}^3 x_{t-k+1} a_k + \sum_{k=1}^3 y_{t-k+1} b_k,$$

ou na forma matricial,

$$\begin{pmatrix} \tilde{z}_0 \\ \tilde{z}_1 \\ \tilde{z}_2 \\ \vdots \\ \tilde{z}_m \\ \vdots \\ \vdots \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 & y_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_1 & y_1 & x_0 & y_0 & 0 & 0 \\ x_2 & y_2 & x_1 & y_1 & x_0 & y_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_m & y_m & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & x_m & y_m & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_m & y_m \end{bmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ b_1 \\ a_2 \\ b_2 \\ a_3 \\ b_3 \end{pmatrix} \quad (1)$$

A expressão para o erro pode ser escrita da seguinte forma:

$$\mathbf{e} = \mathbf{z} - \mathbf{W}_0 \mathbf{h}_0 - \mathbf{W}_1 \mathbf{h}_1 - \mathbf{W}_2 \mathbf{h}_2 \quad (2)$$

onde,

$$\mathbf{h}_{j-1} = \begin{pmatrix} a_j \\ b_j \end{pmatrix}, \quad j = 1, 2, 3,$$

$$\mathbf{W}_0^T = \begin{bmatrix} x_0 & \dots & x_m & 0 & 0 \\ y_0 & \dots & y_m & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\mathbf{W}_1^T = \begin{bmatrix} 0 & x_0 & \dots & x_m & 0 \\ 0 & y_0 & \dots & y_m & 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$\mathbf{W}_2^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & x_0 & \dots & x_m \\ 0 & 0 & y_0 & \dots & y_m \end{bmatrix}, \quad (5)$$

A forma ampliada das equações normais pode ser representada como segue,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_{-1} & \mathbf{R}_{-2} \\ \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_0 & \mathbf{R}_{-1} \\ \mathbf{R}_2 & \mathbf{R}_1 & \mathbf{R}_0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{h}_0 \\ \mathbf{h}_1 \\ \mathbf{h}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{W}_0^T \mathbf{z} \\ \mathbf{W}_1^T \mathbf{z} \\ \mathbf{W}_2^T \mathbf{z} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

onde,

$$\mathbf{R}_0 = \mathbf{W}_j^T \mathbf{W}_j, \quad j = 0, 1, 2,$$

$$\mathbf{R}_1 = \mathbf{W}_j^T \mathbf{W}_{j+1}, \quad j = 0, 1,$$

$$\mathbf{R}_2 = \mathbf{W}_j^T \mathbf{W}_{j+2}, \quad j = 0,$$

$$\mathbf{R}_j = \mathbf{R}_{-j}^T, \quad j = 0, 1, 2.$$

A matriz dos coeficientes na equação (6) é do tipo bloco-Toeplitz e a solução desse tipo de sistema de equações normais pode ser obtida com a recursão de Levinson multicanal (Robinson, 1967, Porsani e Ursin, 2007). Vale salientar que, ao invés de escalares, temos blocos de matrizes quadradas com dimensão $n_c \times n_c$, onde n_c representa o número de canais a serem utilizados na filtragem.

Resultados

Ao se observar o perfil de georadar (figura 4) nota-se a presença da reflexão do fundo do lago, o qual é irregular, apresentando um canal, que é devido a ação de corrente produzida pela drenagem que deságua no lago. Observa-se também outro refletor mais abaixo que é igual ao refletor anterior, porém numa maior profundidade, está é a múltipla. No início da seção, entre 20 e 30m observa-se outra reflexão com o formato de

um canal, o que na realizada é um paleo-canal. A reflexão múltipla presente dificulta a visualização de outras feições.

Para se testar a eficiência do algoritmo realizou-se teste com o número de traços a serem utilizados na deconvolução, como também o intervalo de ajuste do filtro - L -. O melhor resultado foi utilizando o número de traços igual a 5 e o percentual de aumento em relação ao período igual a 7,5%.

Após a aplicação da deconvolução, observa-se que a múltipla presente foi fortemente atenuada (Figura 5), em toda a extensão da seção, fazendo com que outros eventos primários pudessem ser interpretados de forma mais precisa.

Conclusão

O algoritmo se mostrou bastante eficaz na atenuação das múltiplas presentes nas seções. Os melhores resultados nesta atenuação foram utilizando como parâmetros 5 traços adjacentes para a recursão, e o comprimento do filtro de predição igual aumentado em 7,5%. O algoritmo é rápido e bastante eficaz na filtragem dos eventos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CPGG, CNPQ e à Copasa-MG.

Referências

Carvalho, R.F. Avaliação do uso e ocupação do solo na bacia do ribeirão serra azul e as consequências no reservatório de abastecimento da copasa- mg. Dissertação de mestrado. Pós-graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGC/UFMG. Belo Horizonte, MG. 303p.

Gottsche, F.M., Stolte, C., Nick, K.P., 1994. Two-sided deconvolution: a method to improve the temporal resolution in radardata. Extended abstracts of 56th meeting of European Association of Exploration Geophysicists, p. 49. Vienna.

Luiz Alberto Souza LIMA; PORSANI, M. J.; MACIEL, Rosângela ; SILVA, Michelângelo Gomes da, 2008, Multiple attenuation in seismic data acquired across the continental slope. Revista Petroquímica, Petróleo, Gás & Química, v. 303, p. 60-69.

Moutinho, L., Porsani, J.L., Porsani, M.J., 2005. Deconvolução preditiva de dados de GPR adquiridos sobre lâmina d'água: exemplo de caso do rio Taquari, Patanal Matogrossense. Revista Brasileira de Geofísica 23(1), 61-74.

Neves, F.A., Roulston, M.S., Miller, J.A., 1995. Source signature deconvolution of ground penetration radar data. Revista Brasileira de Geofísica 13 (2), 143-153.

Porsani, M. J. e Ursin, B., 2007, Direct multichannel predictive deconvolution. Geophysics, 72(2), p. H11-H27.

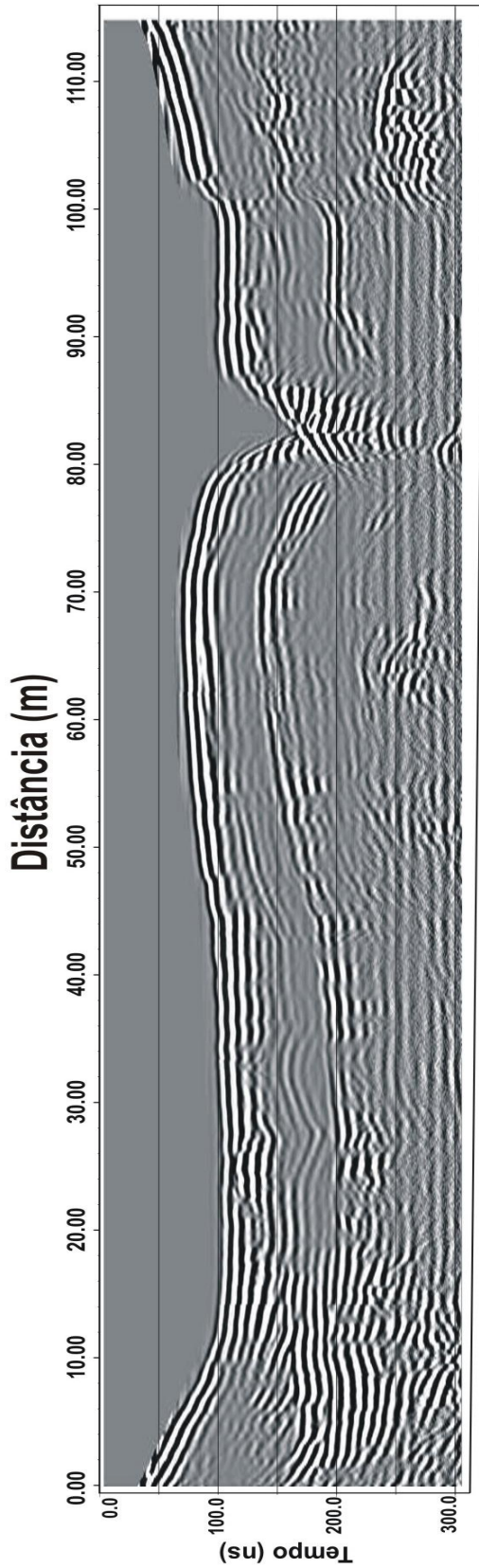


Figura 4: Radargrama original.

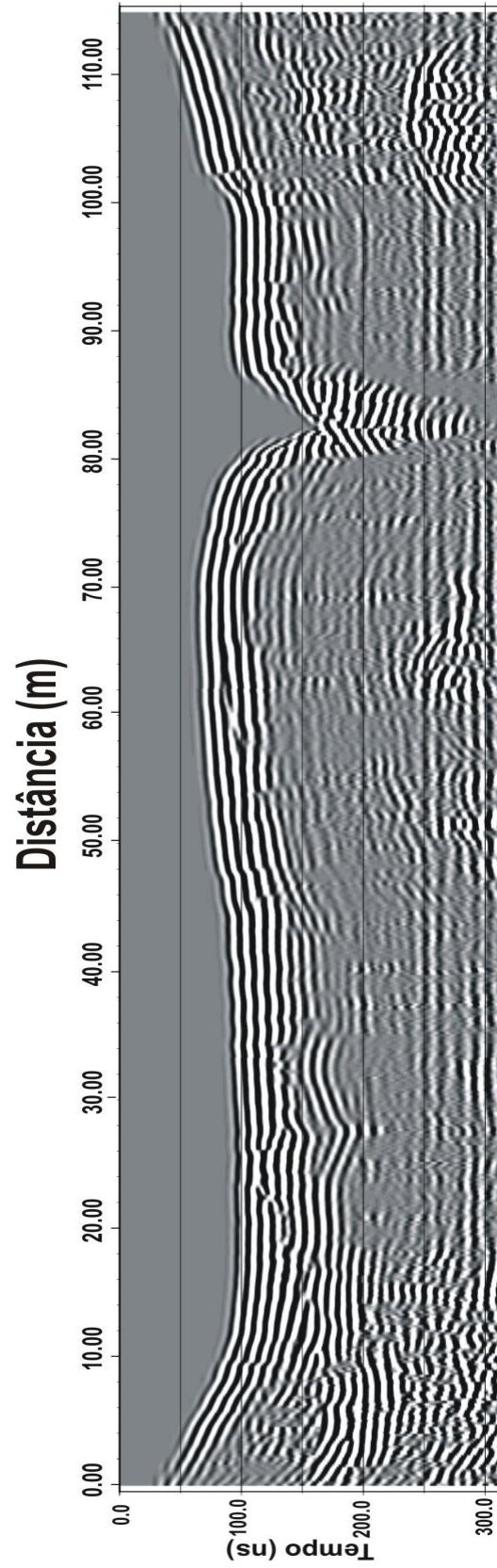


Figura 5: Radargrama filtrado mostrando o resultado da deconvolução preditiva multicanal. Nota-se a atenuação da múltipla.