



# 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

## ALGORITMO DO MÉTODO WHLP-CRS PARA ATENUAÇÃO DE MÚTIPLAS

L. W. B. Leite<sup>1</sup>, F. J. C. Alves<sup>2</sup>, G. G. Callapino<sup>3</sup>, P. H. W. Hubral<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correa nº 1, Guamá, CEP 66.075-910, Belém-Pará, lbleite@ufpa.br.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correa nº 1, Guamá, CEP 66.075-910, Belém-Pará, fjca@ufpa.br.

<sup>3</sup> Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correa nº 1, Guamá, CEP 66.075-910, Belém-Pará, german@ufpa.br.

<sup>4</sup> Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correa nº 1, Guamá, CEP 66.075-910, Belém-Pará, peter@ufpa.br.

**Resumo** – Nas bacias sedimentares da região Amazônica, a geração e o acúmulo de hidrocarboneto está relacionada com a presença de soleiras de diabásio. Estas rochas possuem grande contraste de impedância com a rocha encaixante, o que resulta na geração de múltiplas externas e internas de amplitude semelhante às das primárias. Estas múltiplas podem predominar sobre as informações oriundas de interfaces mais profundas, dificultando o processamento, a interpretação e o imageamento da seção de sísmica.

Neste trabalho, realizamos a atenuação de múltiplas em seções sintéticas fonte-comum (FC), através da combinação dos métodos Wiener-Hopf-Levinson de predição (WHLP) e o de empilhamento superfície-de-reflexão-comum (CRS), denominando-o de WHLP-CRS. O operador de deconvolução é calculado com as amplitudes reais do sinal sísmico traço-a-traço para dar eficiência na atenuação de múltiplas. A identificação das múltiplas é feita na seção de afastamento-nulo (AN) simulada com o empilhamento CRS, utilizando o critério da periodicidade entre primária e suas múltiplas repetidas. Os atributos da frente de onda, obtidos através do empilhamento CRS, são utilizados para deslocar as janelas móveis no domínio tempo-espaço, e calcular o operador WHLP-CRS para a atenuação da múltipla na seção FC.

Palavras-Chave: Atenuação de múltiplas; CRS; Deconvolução.

**Abstract** – In the sedimentary basins of the amazonic region, the generation and accumulation of hydrocarbons are related to the presence of diabase sills. These rocks have a large contrast of impedance with the host formations, which results in the generation of external and internal multiples with amplitudes similar to the primaries. These multiples can predominate over the information originated at the deeper interfaces, making difficult the processing, the interpretation and the imaging of the seismic section.

In the present work, we have performed multiple attenuation in synthetic common-shot (CS) time sections, through the combination of the Wiener-Hopf-Levinson for prediction (WHLP) and the common-reflection-surface stack (CRS) methods, here denominated WHLP-CRS. The deconvolution operator is calculated from the real amplitudes of the seismic signal trace-by-trace, in order to give efficiency in the multiple attenuation. The multiple identification is performed in zero-offset (ZO) section simulated from the CRS-stack using the periodicity criteria between the elected primary and its possible repeated multiple. The wavefront attributes, obtained by the CRS-stack, are used to shift the windows in the time-space domain, and to calculate the WHLP-CRS operator for the multiple attenuation in CS section.

Keywords: Multiple suppression; CRS; Deconvolution.

## 1. Introdução

Este artigo apresenta uma estratégia que une a teoria de Wiener-Hopf-Levinson de previsão (WHLP) (Meskó, 1984; Peacock e Treitel, 1969) com o método de empilhamento CRS (superfície-de-reflexão-comum) (Mann, 2002) para atenuar múltiplas na configuração de fonte-comum (FC). Utilizamos a teoria do raio para calcular as seções sísmicas (SEIS88; Hubral e Krey, 1983), e os modelos utilizados possuem interfaces plano-inclinadas ou com curvaturas. A interpretação das múltiplas externas é feita na função autocorrelação da seção de afastamento-nulo (AN) segundo o critério de periodicidade entre a primária e sua múltipla.

A atenuação de múltiplas na configuração FC tem a vantagem dos operadores serem calculados com as amplitudes reais, do sinal e evita os efeitos indesejáveis da seção processada. O método WHLP-CRS utiliza janelas móveis que se deslocam no tempo-espço, a partir dos atributos da frente de onda, e introduzem a periodicidade necessária entre primária e as múltiplas para o cálculo do operador WHLP.

Os modelos utilizados simulam trechos da bacia sedimentar da região amazônica que possui até três soleiras de diabásio (Eiras 1998), e são responsáveis pela geração de múltiplas com altas amplitudes que podem mascarar o sinal sísmico oriundo das camadas mais inferiores.

## 2. Motivação Geológica

O preenchimento sedimentar das bacias intracratônicas da Amazônia Brasileira é composto por seqüências paleozóicas recobertas por seqüências mesozóica e cenozóica. As seqüências paleozóicas estão dobradas e falhadas, e intrudidas por diques e soleiras de diabásio (Eiras, 1998). Estas rochas intrusivas possuem velocidades sísmicas relativamente muito mais altas em relação as rochas sedimentares encaixantes, variando de 4000 m/s a 6000 m/s, sendo a Bacia Sedimentar do Solimões um exemplo típico desta descrição (Figura 1). Estas propriedades são transferidas para os modelos utilizados para simulações. As seqüências mesozóicas e cenozóicas apresentam poucas perturbações tectônicas, e estão praticamente subhorizontalizadas. As velocidades sísmicas nestas seqüências sedimentares variam entre 1700 m/s e 2300 m/s.

A motivação central deste trabalho reside em que a presença (geração e o acúmulo) de hidrocarbonetos nas bacias sedimentares da região Amazônica está diretamente relacionada com as soleiras de diabásio. A alta impedância dos contatos (sedimento/intrusiva) causam grande diminuição de amplitude no sinal sísmico transmitido, e geram múltiplas de grandes amplitudes que obscurecem as informações desejadas abaixo das soleiras. Por este motivo, existe a necessidade do estudo de métodos de atenuação de múltiplas nestas Bacias para melhorar a imagem sísmica do subsolo, e dar melhor condição de interpretação das rochas geradoras e das estruturas armazenadoras de hidrocarbonetos (óleo e gás).

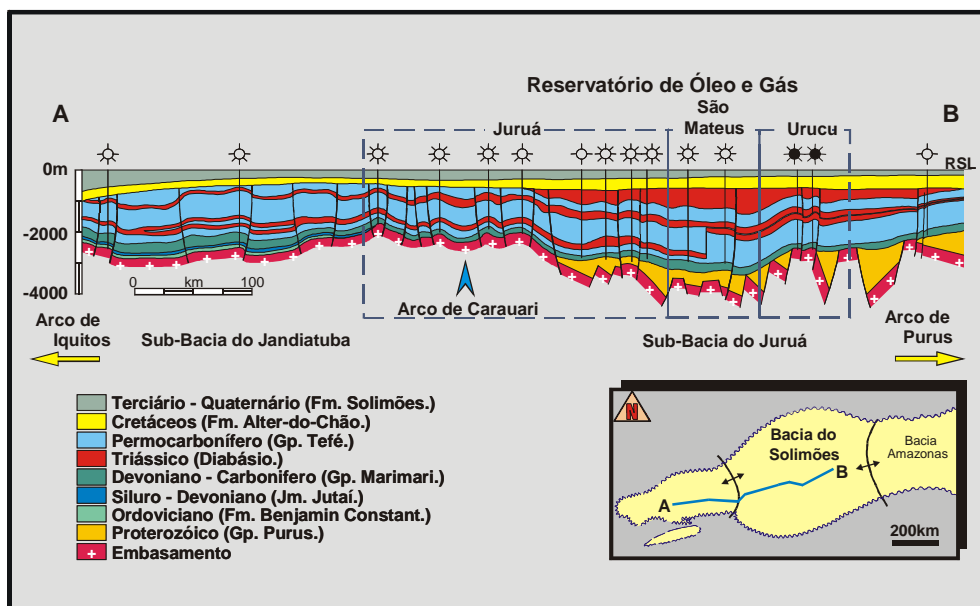


Figura 1. Seção geológica da Bacia do Solimões para simulação sísmica.

### 3. Operadores de Empilhamento em 2D

O novo método de empilhamento CRS é atrativo por não apresentar uma restrição forte quanto a presença de interfaces com curvatura, e de ser relativamente independente do modelo de velocidades. Os atributos da frente de onda no método CRS são estimados diretamente dos dados em multicobertura, o que o torna essencialmente prático. (Trappe et al, 2001)

A superfície de empilhamento no método CRS é descrita através da teoria paraxial do raio, e o operador CRS é função dos atributos cinemáticos de duas frentes de ondas hipotéticas: a onda ponto-de-incidência-normal (NIP), e a onda refletor-em-explosão (ou onda-normal, N) (Hubral, 1983). A onda NIP se propaga de forma ascendente a partir de uma fonte (pontual em 3D, linha em 2D) localizada num ponto de reflexão  $R$  do refletor. A onda N é ascendente a partir do refletor incluindo o ponto  $R$ , e interpretada como uma frente de onda inicial com curvatura igual à curvatura local do refletor.

Os 3 atributos cinemáticos das ondas hipotéticas NIP e N usados no empilhamento SRC são relacionadas ao raio normal emergente no ponto  $x_m = X_0$ , e são: O ângulo de emergência ( $\beta_0$ ) da onda observada; a curvatura  $K_{NIP}$  (ou o raio de curvatura  $R_{NIP} = 1/K_{NIP}$ ) da onda NIP, e a curvatura  $K_N$  (ou o raio de curvatura  $R_N = 1/K_N$ ) da onda N.

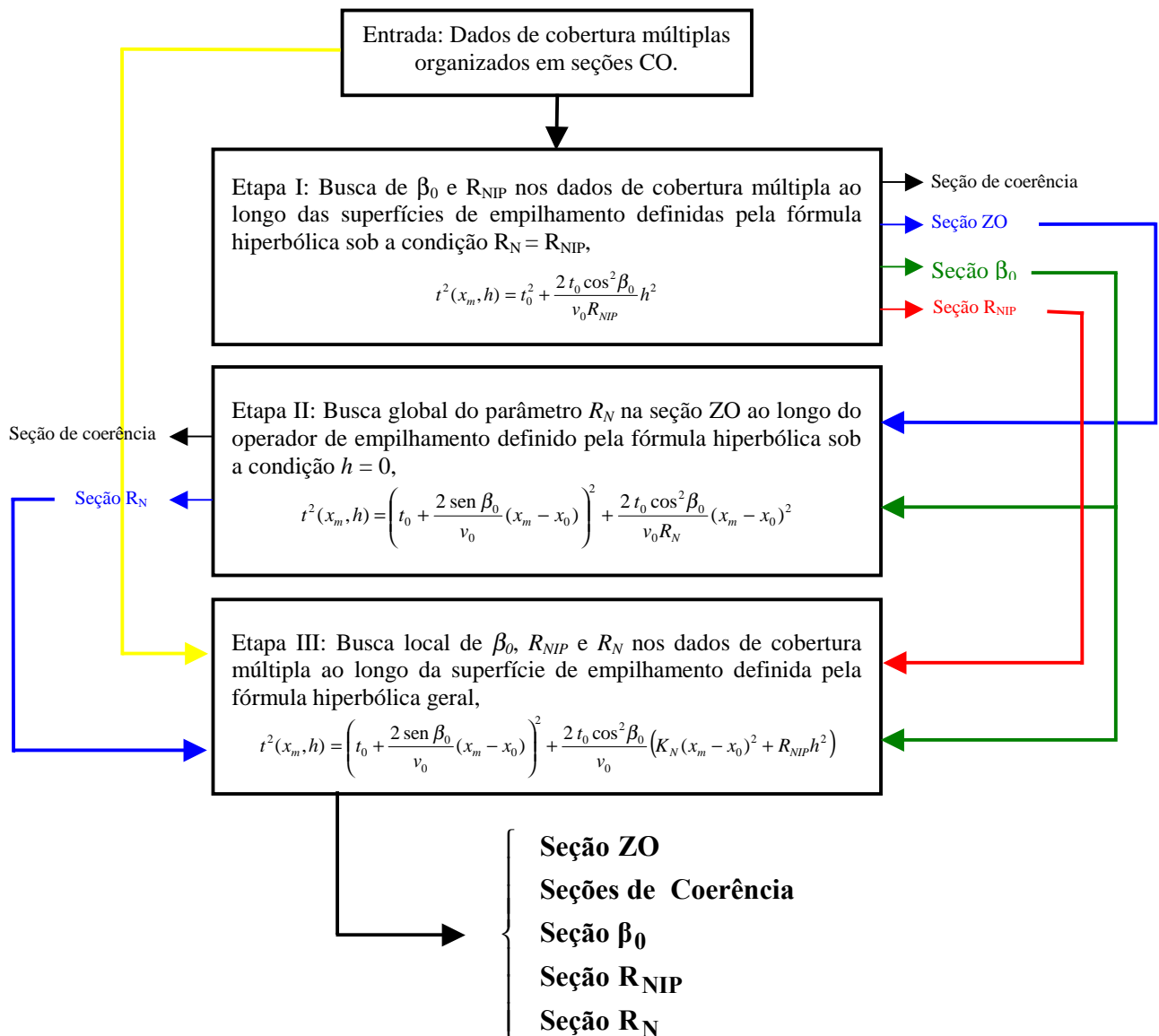


Figura 2. Fluxograma do processamento SRC. Como resultados finais obtêm-se uma seção AN, uma seção de coerência e uma seção para cada um dos três atributos.

A equação para a aproximação hiperbólica dos tempos de trânsito dos raios de reflexões primárias na vizinhança de um raio central normal, aplicável para configurações CMP, é dada por:

$$t^2(x_m, h) = \left( t_0 + \frac{2 \sin \beta_0}{v_0} (x_m - x_0) \right)^2 + \frac{2 t_0 \cos^2 \beta_0}{v_0} \left( \frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}} \right), \quad (1)$$

onde  $t_0$  é o tempo-duplo ao longo do raio central,  $v_0$  é a velocidade próxima a superfície ao redor de  $X_0$ ,  $h$  é o meio afastamento fonte-receptor,  $x_m$  é a abscissa para o ponto-médio-comum,  $x_m = x_0$  é o ponto de referência ao longo de  $x_m$ ,  $P_0(x_0, t_0)$  localização na seção afastamento-nulo (Figura 3). A Figura 2 apresenta o fluxograma do cálculo da seção de afastamento-nulo e dos atributos da frente de onda.

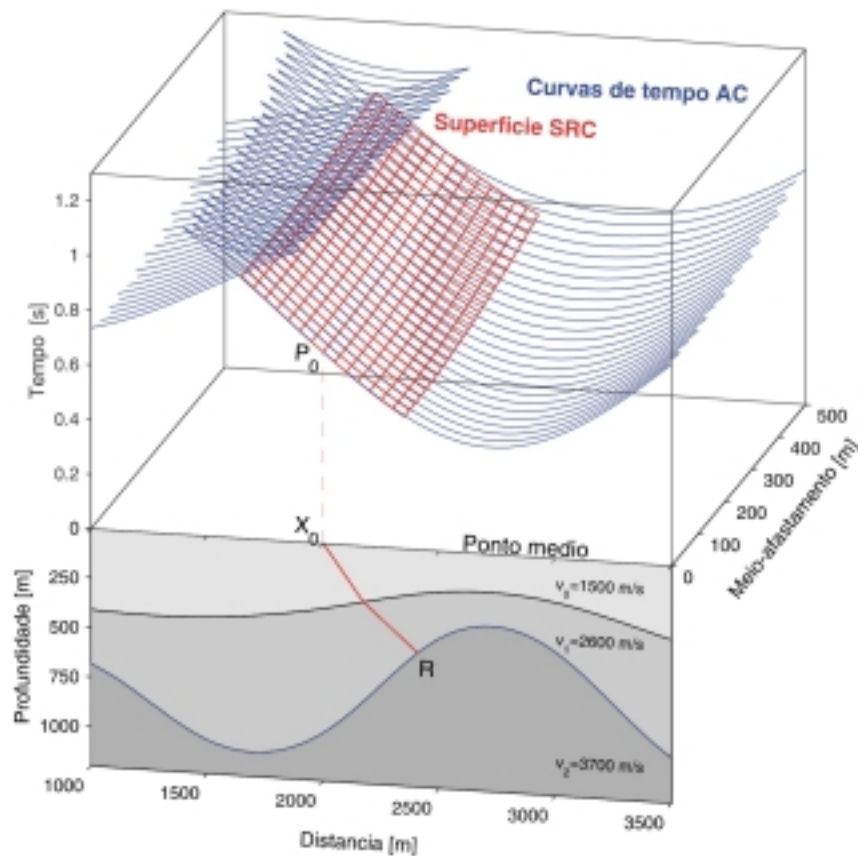


Figura 3. **Parte inferior:** Modelo composto por três camadas homogêneas, com um raio de afastamento-nulo (linha de cor vermelha). **Parte superior:** Superfície de cobertura múltipla (linhas de cor azul) correspondente às reflexões da segunda interface. As linhas de cor vermelha definem a superfície de empilhamento CRS, correspondente ao ponto de reflexão  $R$ . O operador foi calculado com a aproximação hiperbólica para o tempo de trânsito. (Hoecht, 1998).

#### 4. Equação WHLP-CRS

O método aqui empregado é uma parte específica de análise de série temporais (finitas caracterizadas) chamada predição linear. Os coeficientes do filtro WHL são obtidos a partir do ajuste no sentido dos mínimos-quadrados entre as funções  $z_k$  (sinal desejado) e  $y_k$  (saída real) (Peacock e Treitel, 1969; Robinson e Treitel, 1969; Meskó, 1984; Makhoul, 1978; Berkhout & Zaanen, 1979). A função objeto é expressa pela variância dos desvios  $z_k - y_k$  na forma:

$$e(h_j) = E \left\{ (z_k - y_k)^2 \right\}, \quad (2)$$

para ser minimizada em função dos coeficientes  $h_i$  do filtro. Esta operação resulta nas equações normais:

$$\sum_{i=0}^{P-1} h_i \phi_{gg}(j-i) = \phi_{zg}(j), \quad (j=0,1,2,\dots,P-1). \quad (3)$$

O princípio do WHL permite estabelecer vários filtros de deconvolução (ao impulso, suavização, predição, casados e conformação). No entanto, o filtro descrito neste trabalho corresponde à forma de predição (WHLP). Assim sendo, considerando que o desejado é  $z_k = g_{k+T}$ , isto é,  $z_k$  é dita como uma predição deslocada de  $g_k$  para a distância de predição  $T$ , o que resulta em:

$$\sum_{k=0}^{N-1} h_k \phi_{gg}(j-k) = \phi_{zg}(j), \quad (j = 0, 1, \dots, N-1). \quad (4)$$

Na presente estratégia, a equação normal WHLP é modificada para que o operador de predição seja calculado com a informação janelada no extremo inferior por  $W_1(x_m, h; T_{hyp})$ , e no superior por  $W_2(x_m, h; T_{hyp})$ . Esta janela se desloca e se modifica no tempo e no espaço com base no tempo-duplo de trânsito  $T_{hyp} = T_{hyp}(x_m, h; T_0, K_n, K_{nip}, \beta_0, V_0)$ , que tem por finalidade introduzir a periodicidade entre a primária e sua múltipla de primeira ordem.

A equação normal é modificada para a configuração CMP, e expressa por:

$$\sum_{k=0}^{N-1} h_k \phi_{gg}(l-k; x_m, h, T_{hyp}) = \phi_{gg}(l+T; x_m, h, T_{hyp}), \quad (5)$$

onde  $W_1 \leq l \leq W_2$ . O operador é calculado e posteriormente aplicado na própria janela temporal-espacial traço-a-traço. A periodicidade entre uma primária e sua múltipla é definida pela relação:

$$W_2(x_m, h; T_{hyp}) - W_1(x_m, h; T_{hyp}) = 2T + 2\lambda, \quad (6)$$

onde  $T$  é a periodicidade, e  $\lambda$  é o comprimento do pulso. A aplicação do filtro WHLP-CRS é explicada com auxílio do fluxograma mostrado na Figura 4. (Alves, 2002).

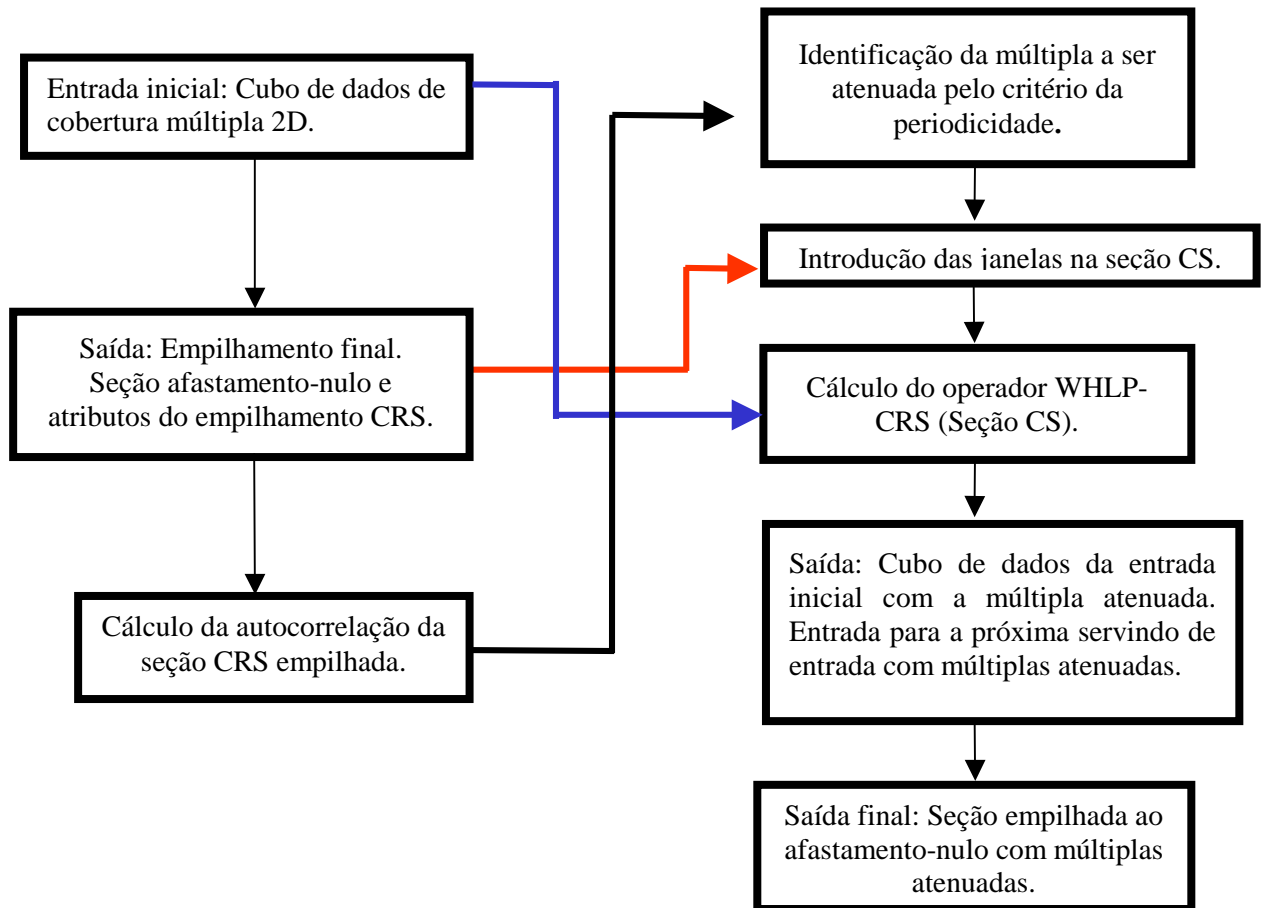


Figura 4. Fluxograma do algoritmo para atenuação de múltiplas com o método WHLP-CRS.

## 6. Conclusões

O operador só é aplicado no domínio do tempo em seções de afastamento-nulo onde há periodicidade entre primárias e múltiplas e modelos contendo apenas interface plano-horizontal. O uso de janelas móveis expande a teoria do operador WHLP atenuação de múltiplas no domínio do tempo em configurações onde não há periodicidade entre primária e múltipla, é o caso das configurações CS e CMP, e possibilita tratar nestes domínios seções de modelos com interfaces plano-inclinadas ou com curvaturas.

Em um trabalho paralelo a este (Alves et al, 2003) demonstramos que a teoria e o algoritmo aqui apresentados são coerentes e produzem bons resultados.

A extensão do método convencional WHLP para admitir o modelo de empilhamento CRS é muito atrativo, o que faz o método WHLP-CRS totalmente baseado nos dados.

As dificuldades que se podem apresentar estão relacionadas a conflitos (cruzamentos) entre primárias e múltiplas, e às pequenas separações entre primárias e múltiplas.

A possibilidade de aplicação do método para identificação de múltiplas não foi abordada, neste trabalho.

## 4. Agradecimentos

Os autores agradecem ao convênio PRH-ANP/MME/MCT-UFPA pelo apoio financeiro que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

## 5. Referências

- Alves, F. J. C. *Atenuação de Múltiplas Através do Método WHLP-CRS*. Tese de Doutorado (em fase de conclusão). 2002.
- Berkhout, A. J. e Zaanen, P. R. A. *Comparison Between Wiener Filtering, Kalman Filtering and Deterministic Least Squares Estimation*. *Geophysical Prospecting*, v. 24, n. 3, p. 141-197. 1979.
- Eiras, J. F. *Tectônica, Sedimentação e Sistemas Petrolíferos da Bacia do Solimões, Estado do Amazonas*. Em: *Searching for Oil and Gas in the Land of Giants. The Search Magazine, Edição Especial sobre o Brasil*. Schlumberger, Argentina S.A. 1998.
- Hoecht, G. *Common-Reflection-Surface Stack*. Tese de Mestrado, University of Karlsruhe, Institute of Geophysics. Universidade Karlsruhe, Alemanha. 1998.
- Hubral, P. *Computing true amplitude reflections in a laterally inhomogeneous earth*: *Geophysics*, v. 48, n. 8, p. 1051-1062. 1983.
- Hubral, P. e Krey, T. *Interval Velocities from Seismic Reflection Time Measurements*. Kenneth L. Larner. Western Geophysical Company. Houston, Texas. 1980.
- Makhoul, J. *Linear prediction: a tutorial review*. In D. G. Childers (ed), "Modern Spectral Analysis", IEEE Press, p. 99-118. 1978.
- Mann, J. *Extensions e Applications of the Common-Reflection-Surface Stack Method*. Tese de doutorado. Universidade de Karlsruhe, Alemanha. 2002.
- Meskó, A. *Digital Filtering: Application in Geophysical Exploration for Oil*. Londres, Inglaterra. Pittman Advanced Publishing Program. 1984.
- Peacock, K. L., e Treitel, S. *Predictive deconvolution: Theory and practice*. *Geophysics*, v. 34, p. 155-169. 1969.
- Robinson, E. A. e Treitel, S. *Principles Of Digital Wiener Filtering*. *Geophysical Prospecting*, v. 15, n. 3, p. 311-333. 1969.
- SEIS88, Cerveny, V.; Psencisk, I. e Molokov, I.A. *Program package for raytracing*. Univerzita Karlova, Praga, Checoslováquia. 1988.
- Trappe, H., Gierse, G. e Pruessmann, J. *Case studies show potential of Common-Reflection-Surface stack – structural resolution in the time domain beyond the conventional NMO/DMO stack*. *First Break*, v. 19, n. 11, p. 625-633. 2001.