

## Processamento e imageamento de dados sísmicos marinhos

Hamilton M. Lima Júnior<sup>1</sup>, Lourenildo W. B. Leite<sup>1</sup>, Björn Z. Heilmann<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Federal do Pará - UFPa, Brasil.

<sup>2</sup>CRS4, Center for Advanced Studies, Research and Development in Sardinia.

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society, held in Salvador, Brazil, November 24-28 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11<sup>th</sup> 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

**This study was conducted on issues of imaging and processing of real marine seismic data obtained in the Atlantic eastern Brazilian continental shelf. The central application aims at interpretation of sedimentary basins in order to obtain an image of subsurface by stack and migration methods for petroleum exploration. The geological model is described in marine environments of Brazilian passive basins, and the models justify the presence of layers with curved interfaces, and also horizontal structures that serve as guides to interpret geometrically complex structures with different shapes as anticlines, synclines, horizontal and vertical discontinuities.**

The selected real data used in this work is a marine line that is part of a set of seismic data from the Atlantic coast of eastern Brazil. This data is characterized by: a length of 38km; the ocean bottom line varies from 300m to 1500m depth; the multiples between the free surface and the ocean bottom are always present and strong; the stacked sections show differential spectral content; and the minimum offset section was used to establish a general picture that serves as a guide to obtain results for further processing and imaging techniques.

The flowchart of the CRS-based data driven stacking method becomes an integral part of the seismic data processing, and its attributes allows for further processing and migration applications.

### Introdução

Este trabalho foi desenvolvido em temas de processamento e imageamento de dados sísmicos marinhos reais obtidos na plataforma continental atlântica brasileira. A aplicação é voltada a bacias sedimentares com o objetivo de se obter uma imagem da sub-superfície através de métodos de empilhamento e migração. O modelo geológico descrito corresponde a ambientes marinhos da costa atlântica brasileira, e os modelos são justificados pela presença de camadas com interfaces curvas, e por camadas sub-horizontais que servem de guia para o delineamento de estruturas com formas geométricas complexas do tipo anticlinais, sinclinais e de descontinuidades horizontais e verticais.

O dado real selecionado para apresentação neste trabalho é uma linha marinha que faz parte de um conjunto de dados sísmicos que se caracteriza pôr ter comprimento de 38km; a linha de fundo do mar varia entre 300m a 1500m de profundidade; as múltiplas entre a superfície livre e o fundo do mar estão sempre presentes; as seções empilhadas mostram conteúdo espectral diferenciado; as seções de afastamento mínimo foram usadas para estabelecer a forma geral que serve de guia para obtenção de resultados do processamento e do imageamento.

O fluxograma do processamento realizado neste trabalho usa a tecnologia WIT/CRS (*Common Reflection Surface*), onde o empilhamento é a parte central de referência do processo (Mann, 2002; Müller, 1999; Jäger, 1999).

### Etapas do processamento

As várias etapas foram realizadas no sistema CWP/SU (Cohen et al., 2005), bem definidas e sempre com o objetivo de melhorar a relação sinal/ruído nas imagens da sub-superfície, e resumidas no fluxograma dado a seguir

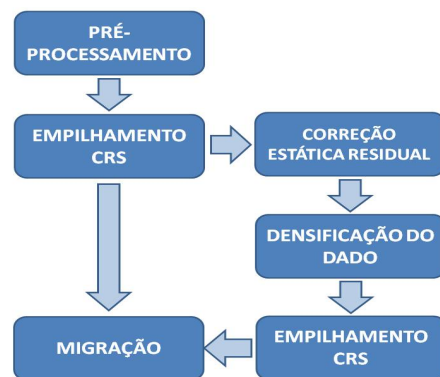


Figure 1: Fluxograma mostrando as etapas principais do processamento sísmico realizado nos dados.

### Pré-processamento

As etapas principais do pré-processamento são mostradas no fluxograma da Figura 2. O pré-processamento iniciou com o acerto da geometria, continuou com o silenciamento, depois com as filtragens  $f$  e  $f - k$ , seguido da deconvolução preditiva visando atenuar múltiplas livres (Yilmaz, 1987). Nesta etapa é realizada a análise do dado quanto à presença de efeitos indesejáveis como, por exemplo, ondas de superfície e do ar e ruídos ambientais (ver Figura 3).

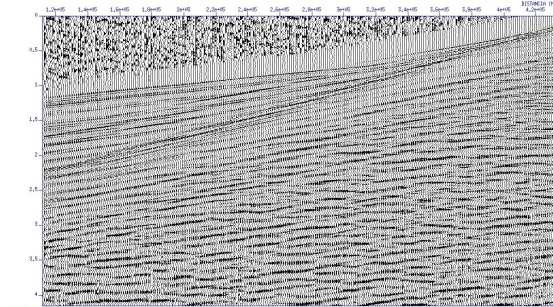


Figure 2: Fluxograma mostrando as etapas principais do pré-processamento realizado nos dados.

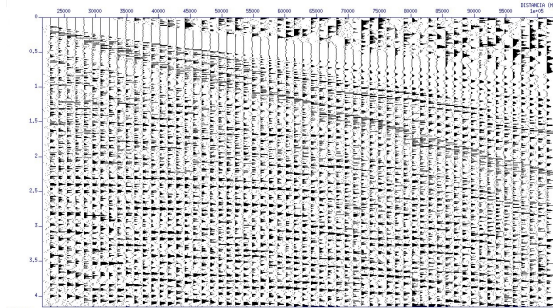
A configuração de trabalho é a ponto-médio-comum (ver Figura 3) que tem a propriedade de promover a redundância do dado, aumentando assim a relação sinal/ruído. A relação entre as coordenadas fonte-receptor é dada pelas seguintes equações :

$$x_m = \frac{x_S + x_G}{2} \quad e \quad h = \frac{x_G - x_S}{2}, \quad (1)$$

em que  $x_S$  representa a posição da fonte,  $x_G$  a do receptor,  $x_m$  o ponto médio e  $h$  o meio-afastamento fonte-receptor, respectivamente.



(a) Exemplo do dado na configuração fonte-comum com ganho. Observe-se a presença de ruído na parte superior da seção .



(b) Exemplo do dado na configuração ponto-médio-comum com ganho. Observe-se a presença de ruído na parte superior da seção .

Figure 3: Seções mostrando as diferenças visuais entre as configurações fonte-comum (a) e ponto-médio-comum (b).

Uma das etapas iniciais do pré-processamento é o

silenciamento do topo dos traços (ver Figura 4), uma vez que isto torna parte dos traços e das seções limpas sem a necessidade de filtragens. Exemplos de efeitos indesejáveis são as ondas de superfície e a onda direta que se propagam na camada d’água, bem como a do ar, e não precisam ser levadas ao longo do processamento.

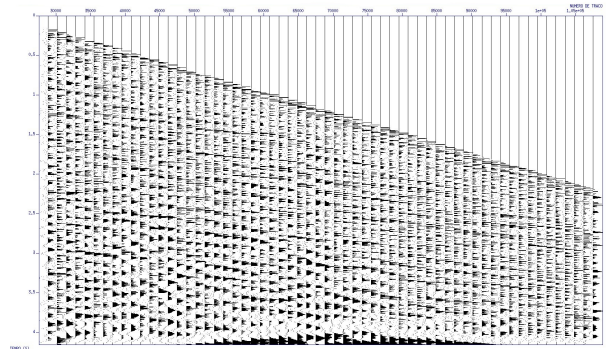
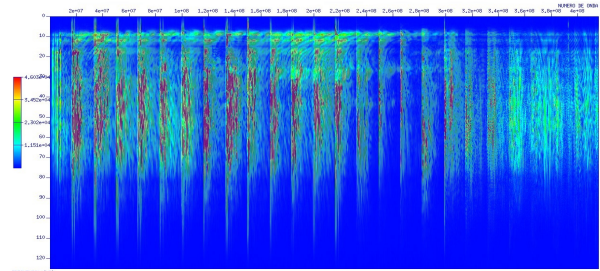
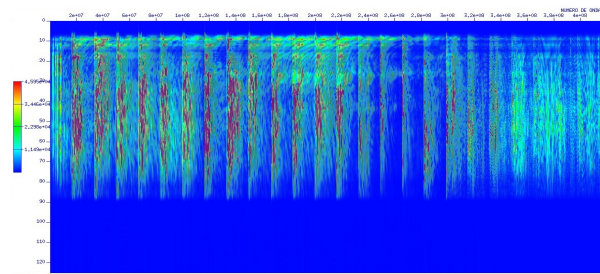


Figure 4: Seção CDP mostrando o silenciamento efetuado no topo dos traços.

O primeiro filtro aplicado ao dado (ver Figura 5(a)) foi o banda-passante trapezoidal  $f$  com cantos seleccionados nas frequências  $f_1 = 5$ ,  $f_2 = 8$ ,  $f_3 = 85$  e  $f_4 = 90$  Hertz. Esta seleção foi para cortar ruído de baixa frequência, tais como ondas de superfície e ruídos de alta frequência, como ruídos ambientais (ver Figura 5(b)). Além disso, a energia sísmica importante para o imageamento é considerada confinada na banda de frequência de aproximadamente 10 a 70 Hertz, com frequência dominante ao redor de 30 Hertz.



(a) Espectro de frequência do dado sem filtragem banda-passante.



(b) Espectro de frequência do dado com filtragem banda-passante.

Figure 5: Espectros mostrando o dado antes (a) e depois (b) da filtragem  $f$  com o filtro banda-passante.



O segundo filtro aplicado ao dado foi o filtro  $f-k$ , (em que  $f = \frac{1}{T}$ ,  $T = \text{período}$ ,  $k = \frac{1}{\lambda}$ ,  $\lambda = \text{comprimento de onda}$ ) onde os eventos podem ser separados em função da velocidade aparente. A técnica da transformada de Fourier 2-D é aplicada para que haja a transformação entre os domínios  $t-x$  e  $f-k$ , e para a filtragem  $f-k$ . A forma de separação dos eventos no plano  $f-k$  foi feita através de linha reta,  $f = vk$  ( $v$  é a velocidade do evento), desenhada a partir da origem da seção. Neste plano, a condição de contaminação por amostragem (*aliasing*) fica evidente ao longo do eixo  $k$ , e a análise e o desenho do filtro segue traçados inclinados. Sendo assim, o filtro selecionado é caracterizado pelas inclinações de quatro retas  $s_1 = -0.00000714285$ ,  $s_2 = -0.0000009$ ,  $s_3 = 0.0000009$  e  $s_4 = 0.00000714285$  (em que  $s = \frac{1}{v}$  é a vagarosidade) (ver Figura 6). Esta filtragem tem a finalidade de suprimir ruídos coerentes que interferem nos eventos de reflexão primária das seções como múltiplas, ondas de superfície e difrações.

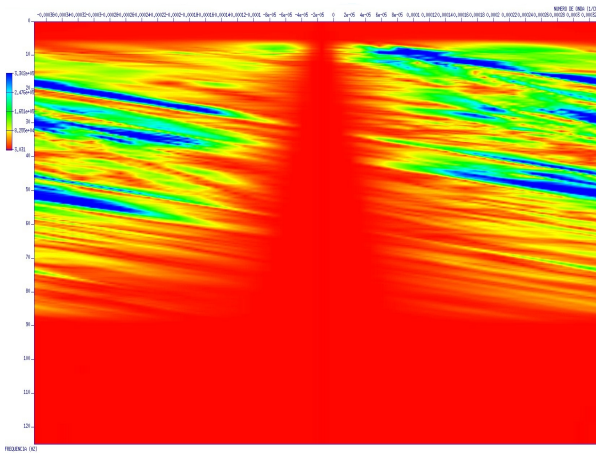


Figure 6: Espectro  $f-k$  de amplitude mostrando também a forma do filtro trapezoidal aplicado ao dado. Cortando no topo e no centro.

A deconvolução preditiva aplicada foi voltada à atenuação de múltiplas livres (entre a superfície livre e o fundo do mar, múltiplas de período longo) (Peacock et al., 1969), onde a idéia básica desta deconvolução é a estimativa de um filtro inverso  $h(t)$  a um pulso  $p(t)$  de fase mínima que quando convolvido anule  $p(t)$  numa posição  $t+T$ . A teoria básica é a Wiener-Hopf para obtenção do filtro no discretizado, cujo problema é colocado a partir da equação do ajuste no sentido dos quadrados-mínimos na forma da expectância:

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

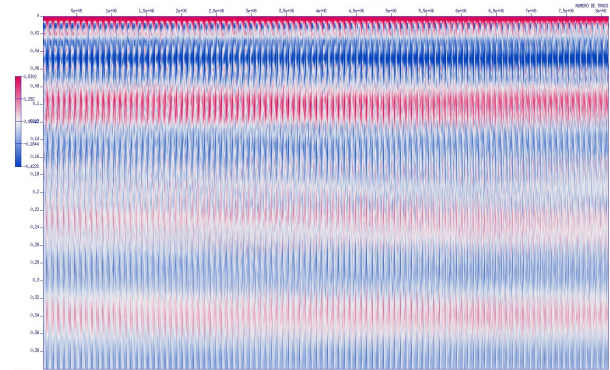
minimizado segundo  $\frac{\partial e(h_j)}{\partial h_j} = 0$ , que resulta em:

$$\sum_{i=0}^{P-1} h_i \bar{\phi}_{ff}(j-i) = \bar{\phi}_{zf}(j), \quad (j = 0, 1, 2, \dots, P-1), \quad (3)$$

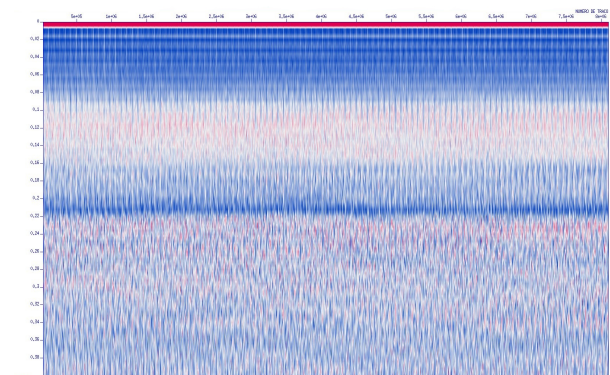
onde  $\bar{\phi}_{ff}$  é a autocorrelação (ver Figura 7(a)) estocástica do traço  $f_i$  da seção sísmica,  $h_i$ , é o filtro desejado para ser aplicado na forma:

$$h_T(i) = \left( \overbrace{1, 0, 0, \dots, 0}^{T-1 \text{ zeros}}, -h_0, -h_1, -h_2, \dots, -h_{P-1} \right) \quad (4)$$

onde  $T$  é a distância de predição que é uma informação a priori dada em função da profundidade marinha, e o comprimento  $P$  medido nas seções autocorrelação (ver Figura 7(b)).



(a) Autocorrelação completa do dado antes da aplicação da deconvolução preditiva, para definição do corte do filtro.



(b) Autocorrelação do dado após a aplicação da deconvolução preditiva mostrando o resultado do corte para a definição do filtro.

Figure 7: As seções mostram a autocorrelação do dado real antes (a) e depois (b) da aplicação da deconvolução preditiva.

## Processamento

Esta etapa consta da aplicação da tecnologia WIT/CRS que inicia com empilhamento 2-D para simular seções de afastamento-nulo, como uma alternativa ao método convencional de empilhamento CMP 1-D. Enquanto que no empilhamento 1-D se obtém um modelo de macro-velocidade sem correção de mergulho, no empilhamento 2-D a velocidade é uma informação a priori e relacionada aos pontos  $P_0(x_0, t_0)$  na proximidade da linha sísmica de aquisição (ver Figura 8). O operador de empilhamento CRS depende de três parâmetros para definir uma superfície de empilhamento, e que são determinados através dos dados de multi-cobertura por métodos de busca automática que envolvem medidas de coerência, e requer uma estratégia que utilize casos particulares das aproximações de segunda ordem dos tempos de trânsito em termos dos parâmetros cinemáticos das ondas  $NIP$  e  $N$ , desdobrando em problemas mais simples que envolvem um ou dois parâmetros desconhecidos (ver Figura 9).

A aproximação do tempo de trânsito do operador CRS segue a teoria paraxial do raio (Červený, 2001;

Bortfeld,1989; Schleicher et al. 2007), onde o raio central de referência é o raio de afastamento-nulo. A equação é dada por:

$$t_{CRS,hip}^2(x_m, h) = \left( t_0 + \frac{2 \sin \beta_0}{v_0} (x_m - x_0) \right)^2 + \frac{2t_0 \cos^2 \beta_0}{v_0} \left( \frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}} \right) \quad (5)$$

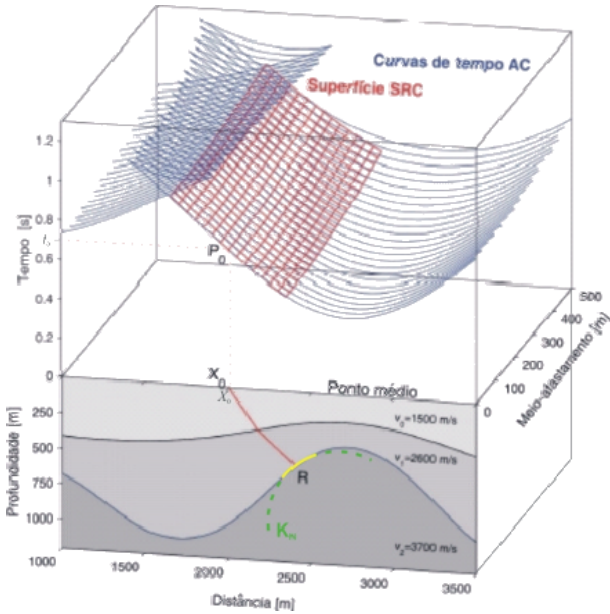


Figure 8: Superfície do operador de empilhamento CRS.

Esta aproximação é considerada independente de um modelo de macro-velocidade, por admitir a velocidade  $v_0$  conhecida próxima à linha de aquisição sísmica num ponto independente  $P_0(x_0, t_0)$ , e independente do comprimento de onda do pulso-efetivo em propagação. Com as coordenadas  $x_m$  e  $h$ , o trio de parâmetros cinemáticos  $\beta_0$ ,  $R_{NIP}$  e  $R_N$  são determinados para um ponto de amostragem  $P_0(x_0, t_0)$ . Os atributos resultantes do empilhamento CRS ( $\beta_0$ ,  $R_{NIP}$  e  $R_N$ ) fornecem, no domínio temporal, informações sobre o refletor no ponto de incidência normal e a curvatura do arco refletor em explosão. Particularizações da equação (5) são úteis na estratégia do empilhamento CRS para definir a sequência na determinação dos parâmetros para iniciar a busca automática dividida em etapas.

As medidas de coerência dos empilhamentos são feitas pela função semblance do tipo:

$$S(t_0; x_0, v_0) = \frac{\sum_{t=t_0-\frac{\delta t}{2}}^{t_0+\frac{\delta t}{2}} \left[ \frac{1}{n_{x_m}} \sum_{x_m=x_0-\frac{\delta x}{2}}^{x_m=x_0+\frac{\delta x}{2}} \frac{1}{n_h} \sum_{h=h_0}^{\delta h} A(x_m, h, t; v_0) \right]^2}{\sum_{t=t_0-\frac{\delta t}{2}}^{t_0+\frac{\delta t}{2}} \frac{1}{n_{x_m}} \sum_{x_m=x_0-\frac{\delta x}{2}}^{x_m=x_0+\frac{\delta x}{2}} \frac{1}{n_h} \sum_{h=h_0}^{\delta h} [A(x_m, h, t; v_0)]^2} \quad (6)$$

Nesta equação (6) acima, a trajetória  $t(x)$  para o empilhamento é dada em diferentes formas, e descritas

a seguir, a partir da equação (5) para resolver a solução inicial ( $\beta_0^{ini}, R_{NIP}^{ini}, R_N^{ini}$ ). Acoplado a equação (6), é usado um algoritmo de otimização do tipo Poliedro Flexível (*Flexible Polyhedron Search*) (Nelder; Mead, 1965) para busca automática do parâmetro em destaque.

A fórmula do tempo de trânsito na equação (5) depende de três parâmetros desconhecidos  $\beta_0$ ,  $R_{NIP}$  e  $R_N$ . Esta dependência pode ser simplificada particularizando a equação (5) para a configuração CMP, o que significa fazer  $x_m = x_0$ , para se obter a seguinte equação:

$$t_{CMP,hip}^2(x_m = x_0, h) = t_0^2 + \frac{2t_0 \cos^2 \beta_0}{v_0 R_{NIP}} h^2, \quad (7)$$

Com isto, a equação (7) acima depende de apenas um parâmetro  $q$ , que é a combinação de  $\beta_0$  e  $R_{NIP}$ , e se escreve:

$$q = \frac{\cos^2 \beta_0}{R_{NIP}}, \quad (8)$$

Nesta argumentação, a equação do empilhamento CMP é dada por:

$$t^2(h) = t_0^2 + \frac{4}{v_{EMP}^2} h^2. \quad (9)$$

Comparando as equações (7) e (9), se destaca a velocidade de empilhamento  $v_{EMP}^2$  dada por:

$$v_{EMP}^2 = \frac{2v_0 R_{NIP}}{t_0 \cos^2 \beta_0} = \frac{2v_0}{t_0} \frac{1}{q}. \quad (10)$$

Usando a equação (7), o parâmetro  $q$  é determinado para toda amostra  $t_0$ , onde uma quantidade de valores do parâmetros  $q$  é testado, e cada valor de  $q$  define uma hipérbole na família CMP pré-empilhamento. O valor do parâmetro  $q$  que produzir o maior valor de coerência é armazenado como um valor inicial  $q^{ini}$ . O somatório ao longo das hipérboles do pré-empilhamento produz a seção empilhada CMP, o que a faz ser denominada de Empilhamento Automático CMP, visto que é equivalente ao processo de empilhamento convencional CMP, porém usando a equação (7), e com um processo de otimização automática para marcar o parâmetro  $q$  de empilhamento. Um dos resultados do Empilhamento Automático CMP é uma seção coerência dos valores de coerência selecionados ao longo das hipérboles. A seção coerência é usada para controle de qualidade, e os valores indicam a qualidade do ajuste da hipérbole ao evento no dado pré-empilhado. Por meio da equação (10), o parâmetro  $q$  pode ser expresso em termos da velocidade de empilhamento (ver Figura 9).

Na configuração AN, onde ( $h = 0$ ), a equação (5) pode ser reduzida a:

$$t_{AN,hip}^2(x_m, h = 0) = \left( t_0 + \frac{2 \sin \beta_0}{v_0} (x_m - x_0) \right)^2 + \frac{2t_0 \cos^2 \beta_0}{v_0 R_N} (x_m - x_0)^2, \quad (11)$$

Para traços na família AN a descrição do tempo de trânsito depende somente de dois parâmetros ( $\beta_0$  e  $R_N$ ). Na aproximação de primeira ordem em  $(x_m - x_0)$  a equação (11) pode ser simplificada para a forma uni-paramétrica dada por:

$$t_{AN,hip(1)}(x_m, h = 0) = t_0 + \frac{2 \sin \beta_0}{v_0} (x_m - x_0), \quad (12)$$



Esta equação depende do ângulo de emergência  $\beta_0$ , e é válida para valores pequenos da distância ( $x_m - x_0$ ), enquanto as equações (5) e (11) são válidas para termos de segunda ordem. A restrição à primeira ordem é equivalente a configuração  $R_N \rightarrow \infty$  na equação (11) (ver Figura 9).

A partir da equação (12), um ângulo de emergência inicial  $\beta_0^{ini}$  é determinado para cada amostra  $t_0$  usando o Semblance e busca automática num intervalo de valores de ângulos  $\beta_0$ , onde o ângulo de emergência que produzir o maior valor de coerência é o armazenado.

Os valores de  $q^{ini}$  e  $\beta_0^{ini}$  substituídos na equação (8) produz o valor inicial para o raio de curvatura  $R_{NIP}$  da onda *NIP*.

O próximo parâmetro inicial a ser determinado é  $R_N^{ini}$  usando a equação (11), o Semblance e a busca automática. A busca é idêntica ao processo de busca do ângulo de emergência inicial  $\beta_0^{ini}$ , onde é usada a equação (11). Um número de valores  $R_N$  num intervalo são testados, onde o valor de  $R_N$  que produzir o maior valor de coerência é o armazenado (ver Figura 9).

Para toda amostra  $P_0(x_0, t_0)$ , os valores iniciais do trio de parâmetros de empilhamento ( $\beta_0^{ini}, R_{NIP}^{ini}, R_N^{ini}$ ) estão disponíveis para a busca conjunta da otimização não-linear. A terna ( $\beta_0^{ini}, R_{NIP}^{ini}, R_N^{ini}$ ) define uma superfície de empilhamento CRS no domínio ( $x_m - h - t$ ) com base na equação (5). O somatório do dado pré-empilhado ao longo destas superfícies é atribuído à amostra  $P_0(x_0, t_0)$  produzindo uma seção empilhamento inicial CRS. Este resultado também resulta numa seção coerência para o empilhamento CRS Inicial. Esta seção é usada para estimar a qualidade do ajuste inicial entre as superfícies de empilhamento CRS e o evento no dado pré-empilhado.

Para encontrar o melhor trio de parâmetros CRS, os valores iniciais estimados são usados como entrada no algoritmo de otimização do tipo Poliedro Flexível. Este processo é robusto e avalia funções -objeto sem o uso de derivadas. Na estrutura do empilhamento CRS, a busca por Poliedro Flexível é aplicado a partir dos valores iniciais que são usados para confinar o processo de busca em torno de um máximo global (ver Figura 9).

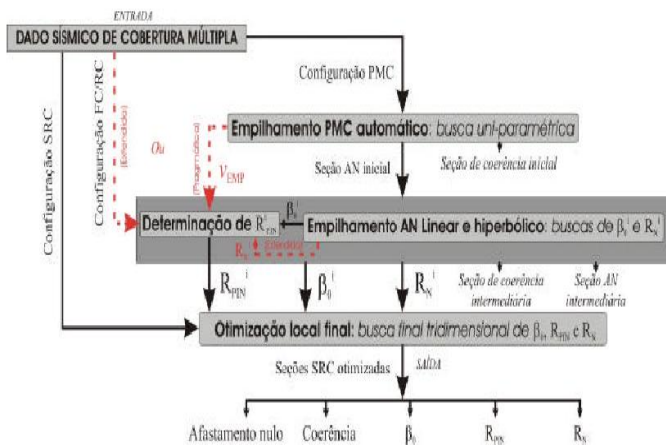


Figure 9: Fluxograma do processamento CRS mostrando as etapas da estratégia de busca dos parâmetros.

Após a obtenção do empilhamento Otimizado, uma forma de melhorar a relação sinal/ruído é a Correção Estática Residual (CER) baseada nos atributos CRS. Esta técnica consiste em corrigir famílias fonte-comum e sensor-comum em relação ao correspondente traço de afastamento-nulo usando a técnica de correlação finita em torno do ponto  $t_0$ . As figuras 10 e 11 são resultados com a CER, justificado do ponto de vista da teoria da comunicação e servem para mostrar a relação sinal/ruído (Koglin, 2005; Heilmann, 2007).

Um outro método para melhorar a relação sinal/ruído é a Densificação Pré-empilhamento dos Dados (DPD) baseada nos atributos CRS (Baykulov; Gajewski, 2007). Esta técnica consiste na interpolação de ponto-médios na malha CMP resultando na construção de super-famílias CRS (*CRS supergathers*), onde o raio de Zona de Fresnel Projetada é uma forma de calcular a extensão lateral na super-família. As Figuras 12 e 13 são resultados com a DPD, e servem para mostrar a evolução da relação sinal/ruído (Lima, 2009).

**Resultados**

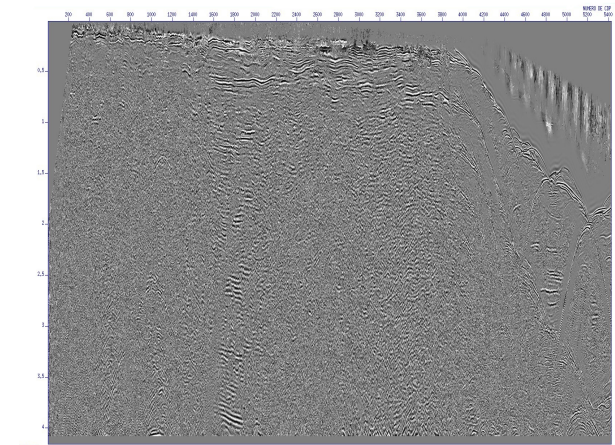


Figure 10: Seção empilhada otimizada CRS com Correção Estática Residual.

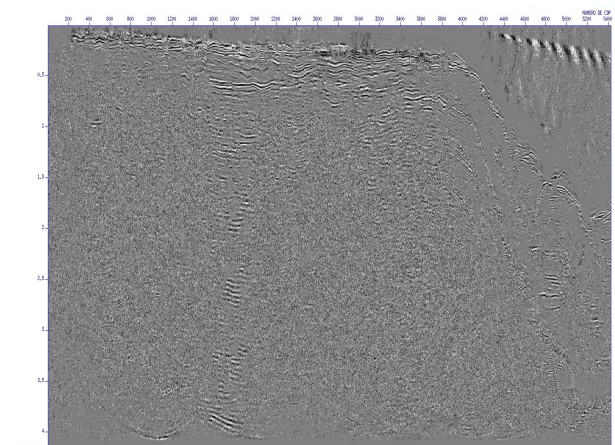


Figure 11: Seção migrada otimizada CRS tipo Kirchhoff no tempo após Correção Estática Residual.

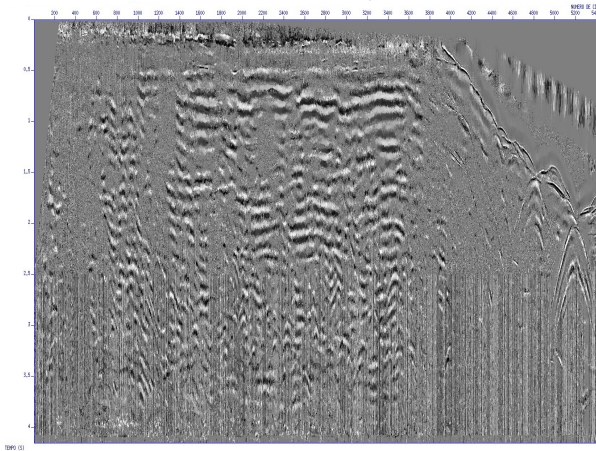


Figure 12: Seção empilhada otimizada CRS com DPD.

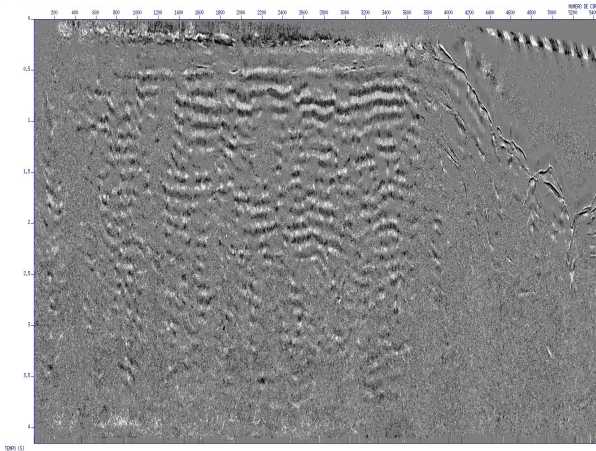


Figure 13: Seção migrada otimizada CRS tipo Kirchhoff no tempo com DPD.

## Conclusões

As seções obtidas são o resultado de uma intensa atenção a dados marinhos, e constou de três fases principais: pré-processamento, processamento e imageamento.

A primeira fase constou do acerto da geometria, silenciamento, filtragens, deconvolução preditiva voltada a atenuação de múltiplas da superfície livre, e observou-se a melhora da relação sinal/ruído nas seções resultantes, condição necessária para evolução na fase posterior.

A atenção central do presente trabalho foi o imageamento através da tecnologia WIT/CRS, onde a técnica central é o empilhamento que tem como sub-produtos os atributos da frente de onda. Como etapa posterior foi aplicado duas técnicas baseadas nos atributos, e que constaram da Correção Estática Residual (Figuras 10 e 11) e a Densificação Pré-empilhamento dos Dados e, como resultado automatizado, a migração CRS tipo Kirchhoff no tempo mostradas nas figuras 12 e 13. As etapas principais desta fase constaram da obtenção e análise das seguintes seções de empilhamento: Automático CMP, Busca ZO (linear e hiperbólica), Inicial e Otimizado. A evolução do processo é visualizada através da análise

das figuras sequencialmente geradas, onde é evidente a melhora sistemática da relação sinal/ruído esboçado pela continuidade dos eventos refletores.

A aplicação da técnica para aumentar a densificação da malha CMP, através do pré-empilhamento dos atributos CRS, teve como objetivo aumentar a resolução da seção empilhada, o que foi observado no empilhamento final e na análise do bi-espectro  $f_t$  versus  $f_x$ .

A aplicação da técnica de Correção Estática Residual para o dado marinho foi justificada pela teoria da comunicação, em vez de conceitos físicos, geométricos e topográficos voltados à fonte e aos sensores no levantamento marinho. Sendo assim, a conceituação foi diretamente dirigida à teoria da correlação para explicar e ajustar distorções devido à fonte e aos sensores. Como resultado, se pode observar evolução na geração das figuras do empilhamento e do imageamento.

Na interpretação, as seções resultantes do empilhamento e imageamento podem ser divididas em 4 partes: a primeira parte superior correspondente à camada d'água; a segunda correspondente à parte superior da bacia sedimentar; a terceira caracterizada pela variação de tipos de estruturas; e a quarta mais inferior correspondente ao embasamento cristal.

As seções de empilhamento e imageamento produzidas (Figuras 10, 11, 12 e 13) permitiram o reconhecimento de estruturas nas formas de falhas normais, reversas e lítricas, anticlinais e sinclinais, bem como descontinuidades horizontais e verticais. Além do mais, é possível a marcação de intrusões de grande porte que vai do embasamento até o nível mais superior.

Como trabalho posterior aos aqui desenvolvidos e voltados ao processamento e imageamento, se faz necessário uma composição voltada à interpretação geológica das unidades reconhecíveis nas seções resultantes do empilhamento e da migração.

## Referências

- Baykulov, M.; Gajewski, D.**, 2007, Prestack seismic data enhancement with crs parameters. WIT, n. 11, p. 50-61.
- Bortfeld, T.**, 1989, Geometrical ray theory: Rays and traveltimes in seismic system (second-order approximations of the traveltimes). Geophysics, v. 54, n. 342, p. 342 - 349.
- Červený, V.**, 2001, Seismic Ray Theory, Cambridge: Cambridge University Press.
- Cohen, J. K. and Stockwell, J. J. W.**, 2005, CWP/SU: Seismic Un\*x release n.39: a free package for seismic research and processing,
- Heilmann, B. Z.**, 2007, CRS-Stack-based seismic reflection imaging for land data in time and depth domains, Tese (Doutorado), Karlsruhe University. Germany.
- Jäger, R.**, 1999, The Common-Reflection-Surface Stack: Theory and Applications. Tese (Mestrado), Karlsruhe University. Germany.
- Koglin, I.**, 2005, Estimation of Residual Static Time Shifts by means of the CRS-based Residual Static Correction Approach. Tese (Doutorado), Karlsruhe University.

Germany.

**Lima, H. M.**, 2009, Processamento e Imageamento de Dados Sísmicos Marinhos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geofísica da Universidade Federal do Pará, Belém.

**Mann, J.**, 2002, Extensions and Applications of the Common Reflection Surface Stack Method. Tese (Doutorado), Karlsruhe University. Germany.

**Müller, T.**, 1999, The Common Reflection Surface Stack Method - Seismic imaging without explicit knowledge of the velocity model. Tese (Doutorado), Karlsruhe University. Germany.

**Nelder, J.; Mead, R.**, 1965, A Simplex method for function minimization. Computer Journal, v. 7, p. 308 - 313.

**Peacock, K. L.; Treitel, S.**, 1969, Predictive Deconvolution: Theory and Practice. Geophysics, v. 34, n. 2, p. 155 - 169.

**Schleicher, J.; Tygel, M.; Hubral, P.**, 2007, Seismic True-amplitude Imaging. Society of Exploration Geophysicists. Tulsa, USA.

**Yilmaz, O.**, 1987, Seismic Data Processing. Society of Exploration Geophysicists.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à PETROBRAS e à FINEP pelo apoio à pesquisa. Agradecemos ao Prof. Dr. D. Gajewski e a M. Baykulov pelo uso do programa de computador da técnica PDE, e consideramos estes autores como co-autores no presente trabalho. O autor Hamilton M. Lima agradece ao CNPQ pelo apoio financeiro dado através de bolsa de estudo.