



Aplicação da técnica WCDP em dados sísmicos de Bacias Paleozóicas.

Emanoel H.C. Gomes, PETROBRAS S/A, Brasil, Roseane M Misságia, Viatcheslav Priimenko, Sérgio A.M.Oliveira, LENEP/UENF, Brasil, Andrey Kremlev, RAS, Rússia, Djalma M. Soares Filho, Lino B. Teixeira, Ricardo R.S. Bragança, PETROBRAS S/A, Brasil.

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 were 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.

Abstract

In this paper we present and discuss a strategy to image complex geologic targets. There is used the WCDP method based on the strong solution of the inverse scattering problem of acoustic waves considered in Born approximation. We also present an efficient parallel computational implementation to be used for real seismic data processing and show some results of its application to seismic data from two Brazilian Paleozoic Basins.

Introdução

Durante as últimas décadas, Beistein et al., (2001) fizeram uso da idéia básica do método de perturbação de Born, como uma solução aproximada para resolver o problema inverso acústico multidimensional. A suposição mais básica do método de Born é que as perturbações do modelo de referência permaneçam pequenas. Este requisito deve-se ao fato de que os erros são diretamente relacionados ao valor das perturbações. Ambos os valores, local e total, da variável perturbação contribuem para estes erros, que são reduzidos se o modelo de referência é conhecido e aproximado para a velocidade que focaliza o meio. Neste contexto, um passo essencial no processo do imageamento acústico que se baseia na aproximação de Born é encontrar o campo de onda espalhado a partir de uma função velocidade de referência. A velocidade constante é a escolha mais simples. Entretanto, isto pode não ser uma boa aproximação, e a solução inversa, baseada nesta suposição, produz erros em ambas estimativas de velocidade e focalização, cujo crescimento esta diretamente relacionado a quanto a função velocidade de referência se afasta da velocidade do meio, limitando o uso desta solução para regiões geologicamente comportadas e pequenas profundidades. Neste trabalho utilizamos o método de imageamento "Wave Analogue of the Common Depth Point" WCDP (Kremlev et al., (1985;2001;2002) e Misságia, (2003)), que se baseia em uma forte solução matemática para resolver o problema inverso do espalhamento acústico de ondas sísmicas.

Fluxo de processamento do método WCDP 2D

O fluxo de processamento adotado para implementação do método WCDP 2D em tempo é demonstrado na Figura 1, e pode ser assim itemizado:

1. Entrada - Os dados são sorteados por famílias de tiro comum.
2. Pré-processamento - Realça os eventos refletores em subsuperfície. É importante ter conhecimento do conteúdo de frequência do sinal e assim, se necessário, efetuar um balanceamento espectral dos dados. Para dados terrestres, é preciso aplicar uma correção estática fina, levando-o para um *datum* comum, seguida de uma correção de divergência esférica. Isto, porque ao usarmos informações de amplitude, proveniente de uma velocidade de referência linearmente crescente, ocorre um decaimento algébrico com a profundidade na solução inversa, e esta atenuação limita a profundidade de inversão, (Foster, 1984). Na seqüência, aplica-se uma deconvolução de consistência superficial e, se o dado for marítimo, executa-se uma rotina de atenuação de múltiplas. É importante, em toda essa etapa inicial, ter a preocupação de preservar ao máximo o conteúdo de frequência do sinal, porque a inversão, cujo campo de velocidade de referência melhor se ajusta ao campo observado, deve, em princípio, contemplar todos os resolvíveis componentes vertical do número de onda da função perturbação da velocidade. Neste contexto, a adoção de um filtro de corte das altas frequências provocaria a perda de resolução vertical nos dados migrados.



Figura 1- Fluxograma do pré-processamento e processamento WCDP.

3. Campo de velocidade de referência - quando o gradiente de velocidade varia suavemente com profundidade, o uso de uma função velocidade constante ajusta perfeitamente o campo de onda incidente. No entanto, em regiões com características geológicas complexas, tal suposição conduz a erros. Nesta situação, propomos a paralelização do processo, com respeito à velocidade de referência. Para isso, utilizamos o conceito de *clustering*, ou seja, o agrupamento e uso simultâneo de vários computadores de pequeno porte, cada um executando uma fração do trabalho desejado, (Bragança, 2001); (Soares et al., 2002), conforme Figura 2. Sendo assim, através deste tipo de implementação, obtêm-se várias seções, cada uma obtida a partir de um valor diferente de velocidade de referência, contornando e relaxando a limitação imposta pelo método, provocada pela atenuação da solução inversa, quando a variação da amplitude do campo de onda incidente e o incremento da velocidade do meio extrapolam as premissas do método.

DIAGRAMA SIMPLIFICADO DO CLUSTER SISMOS III

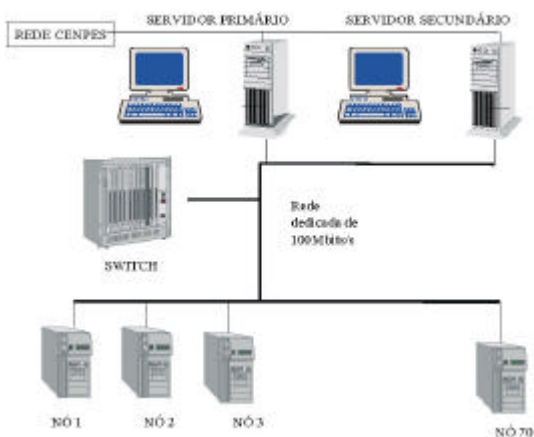


Figura 2 - Diagrama de funcionamento do *cluster* de micros, onde o número de máquinas envolvidas no processo corresponde ao número de velocidades de referência a serem processadas. Extraída de Bragança, (2001).

4. Implementação do procedimento de imageamento WCDP - a parametrização dos dados é baseada em informações sobre a geologia da região e do traço sísmico. Isto porque, um dos principais pré-requisitos para o sucesso do imageamento é definir uma abertura larga o bastante para capturar os sinais refletidos de qualquer reflexão de interesse. A abertura deve ser no mínimo duas vezes tão larga quanto o deslocamento lateral entre o ponto de registro e o ponto de reflexão. Tal procedimento garante que o operador de imageamento atue dentro da região da abertura, contemplando todos os traços que devem participar do empilhamento, cujo espaçamento pode ser igual ao intervalo entre estações e canais, ou interpolado de acordo com o

tamanho do objetivo a ser visualizado. De outra forma, se a superfície de difração for truncada antes de mostrar todo o pulso da reflexão, a utilização da abertura finita pode causar consequências severas no sinal resultante do empilhamento. Especialmente se o meio for geologicamente complexo, pois surge a ocorrência de uma interferência destrutiva entre os sinais contidos na região parcialmente amostrada, gerando um ruído sem forma definida. Após a parametrização, se o gradiente de velocidade e as amplitudes variarem suavemente, o procedimento consiste na implementação do processamento a partir de um único valor de velocidade de referência, caso contrário, na implementação do imageamento em paralelo.

5. No fim do processamento, se for serial, obtemos com uma só velocidade de referência a seção final. No entanto, se o processo for em paralelo, compõe-se à seção final através de uma análise criteriosa das seções resultantes, selecionando a melhor focalização de cada evento. Esse procedimento de composição pode ser resumido da seguinte forma:

- Junção dos arquivos provenientes do imageamento WCDP, para diferentes velocidades de referência. O resultado disto é um arquivo que contém todos os "SGY" parciais, anexados de acordo com uma seqüência definida no arquivo de entrada.
- Reconstrução do *header* do arquivo final.
- Análise e seleção das seções mais bem reconstruídas a partir de diferentes valores de velocidades de referências, e multiplicação de cada traço por uma função ponderadora. Isto resulta em traços que preservam a imagem na região melhor focalizada e atribuem zeros fora dela. Dessa forma, somando-se os traço resultantes de cada seção individual, compõe-se a seção final, onde estão incluídas as melhores focalizações das reflexões presentes nos empilhamentos WCDP parciais. É importante que, ao compor a seção final, se adote uma faixa de transição suave, entre a janela dos dados e o restante do traço a ser zerado, evitando assim, a inclusão de componentes de altas frequências no dado, pois nesta circunstância, estas surgiriam como ruídos, conforme podemos ver na Figura 3. Também é essencial se ter atenção ao escolher as janelas em tempo que englobam as focalizações, sempre visando definir bem a base de cada janela, a fim de que não ocorra nenhum tipo de corte nos refletores a serem anexados a seção em composição. A etapa final consta da escolha de um filtro frequência a ser aplicado traço a traço na seção sísmica composta pela contribuição das seções individuais. Este fato evita a manutenção de pontos mal focados, que marcariam a seção final. Isto pode ocorrer quando temos forte variação lateral de velocidade dentro de uma região de interesse, e nestas circunstâncias se faz necessário priorizar uma reflexão mais forte em detrimento de outra de menor expressão. Este artifício de compor uma seção final através da seleção de reflexões melhores focalizadas em várias outras seções, possibilita o

imageamento das regiões de interesse geológico independente do gradiente de velocidade, profundidade do evento ou variação lateral de velocidade.

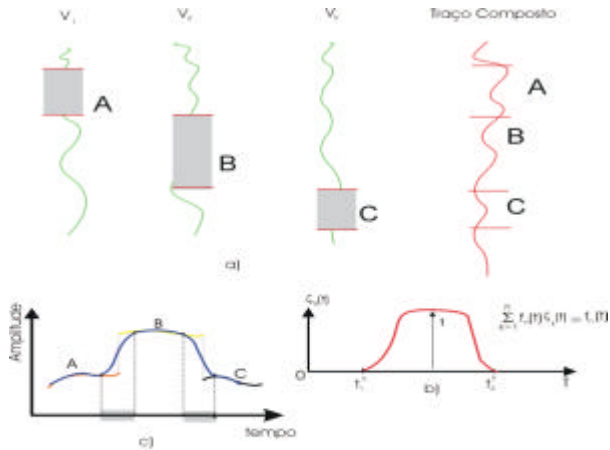


Figura 3 - Esquema elucidando (a) A formação de um traço composto a partir de traços parciais. (b) A função ponderadora aplicada a cada traço parcial, resultando em traços que preservam a imagem na região melhor focalizada e atribuem zeros fora dela. (c) O traço composto onde estão incluídas as melhores focalizações presentes nos empilhamentos parciais

Seqüência Numérica de Processamento do Método WCDP 2D em tempo

A Figura 4 ilustra o fluxograma de implementação numérica do método WCDP 2D em tempo em coordenadas CMP - *offset*(m, l):

- O campo da onda direta é deduzido do campo de onda total, e os dados são transformados de coordenadas (x, x_0) para coordenadas (m, l) . A partir disto, os registros sísmicos contêm somente o campo de onda espalhado $u(m, l, t)$ provenientes das heterogeneidades acústicas do meio.
- Aplicação da transformada de Fourier, com respeito ao tempo, em cada traço do campo de onda espalhado. Ao final, obtêm-se uma representação do campo de onda espalhado no domínio espaço-freqüência $u(m, l, w(q))$. A Figura 5 mostra o volume de dados antes e depois da transformada de Fourier 1D. Antes, o volume de dados expandia-se através dos eixos m, l e t , depois, passa a expandir-se através dos eixos m, l e $w(q)$. Isto possibilita reduzir o campo de onda espalhado original em muitos grupos de dados, onde cada campo é calculado por um único valor de freqüência por vez. Tal grupo de dados é representado por um plano perpendicular ao eixo $w(q)$ no interior do volume de

dados $u(m, l, w(q))$. Assim, o operador linear de focalização pode ser aplicado a um ou mais grupos de dados, cada um com um valor de freqüência diferente.

- Aplicação da transformada de Fourier 2D a $u(m, l, w(q))$ ao longo do eixo m e l . Esta operação transforma o campo de onda espalhado $u(m, l, w(q))$ do domínio do espaço-freqüência para o domínio número de onda - freqüência $\hat{u}(m, n, w(q))$. A transformada de Fourier define m e n como sendo as variáveis dual no domínio da freqüência, correspondentes para m e l , respectivamente.
- Estimativa da função de visualização $b_c(m, t)$, avaliando numericamente a equação integral em cada ponto do plano (m, l, w) , onde $w = w(q)$. Então $b_c(m, t)$ é determinado cada vez que a equação integral é esolvida para um diferente valor de freqüência angular. Os números de onda m e n variam de $-K$ a K . E para cada par (m, n) , o correspondente componente vertical do número de onda é computado por $\sqrt{k^2 - m^2}$ e $\sqrt{k^2 - n^2}$.
- Após a obtenção de uma seqüência de funções $b_c(m, t)$ procedemos ao empilhamento final, formando uma seção composta por todos os valores de freqüência que fizeram parte do processamento.

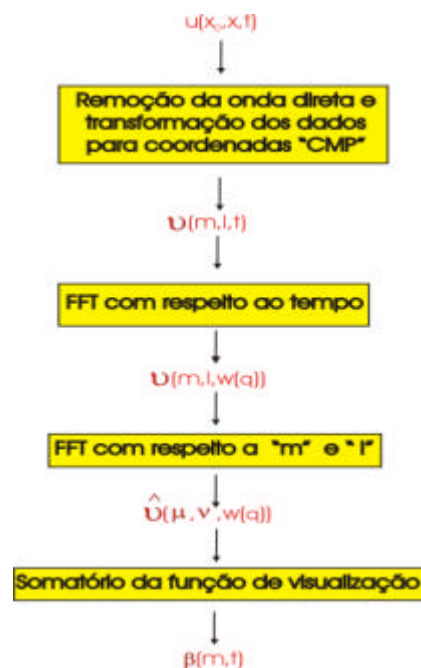


Figura 4 – Procedimento para implementação numérica do algoritmo WCDP 2D em tempo.

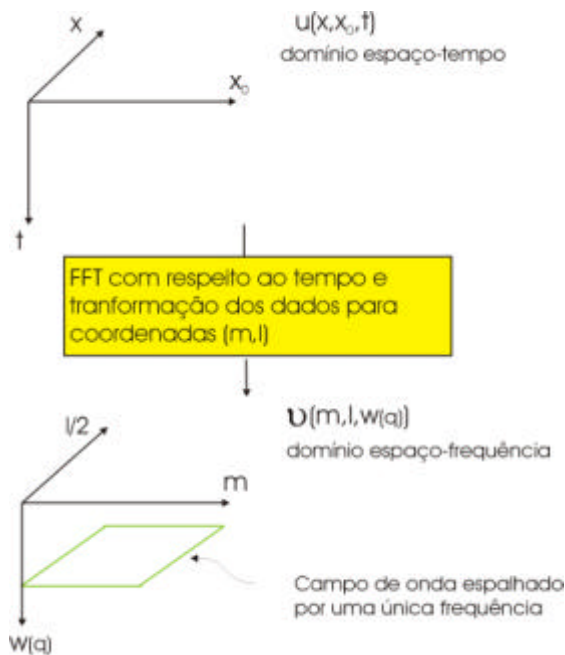


Figura 5 – A FFT do campo de onda espalhado $u(x, x_0, t)$ com respeito ao tempo e transformação dos dados para coordenadas (m, l) , resulta em dados do campo de onda espalhado calculado para um único valor de frequência $u(m, l, w(q))$.

Dados de campo

Historicamente os resultados do imageamento obtido com o processamento dos dados provenientes da aquisição em regiões de Bacias Paleozóicas do tipo B e C, por técnicas NMO-CDP-stack e migração Kirchhoff 2D pré e pós empilhamento, não contemplam uma boa definição do horizonte sísmico correspondente à primeira soleira de diábasio. O efeito provocado por corpos de diábasio próximo a superfície com velocidades intervalares de 6000 m/s produzem uma acentuada aceleração na função velocidade, fazendo com que ocorra cruzamento das hipóteses dos refletores relacionados à discordância do contato mesozóico/paleozóico, (Teixeira, 1988). A aplicação do método WCDP ao dado terrestre da linha B e C, teve como objetivo principal, localizar, posicionar e aumentar o nível de informação do topo da soleira de diábasio.

Resultados

As Figuras 6 e 7, 8 e 9 mostram os resultados das reconstruções das linhas B e C, respectivamente, através da implementação dos métodos WCDP paralelizado e Kirchhoff. Nelas, podemos notar que as melhores reconstruções dos refletores estão associadas a uma velocidade de referência mais próxima da velocidade que focaliza o meio, e quando avaliamos a qualidade dos resultados como um todo, percebemos que o WCDP conseguiu, a despeito da grande variação de velocidade lateral e vertical, focalizar e posicionar de forma estável os refletores dentro destas regiões. As Figuras 6 e 8

ilustram os resultados do processamento das linhas B e C, respectivamente, através do método de migração Kirchhoff. As Figuras 7 e 9 apresentam as seções WCDP resultantes das linhas B e C, após a análise e composição das reflexões que foram melhores focalizadas. Dessa forma, através de uma comparação qualitativa entre os resultados das Figuras 6 e 7, 8 e 9, além das correlações efetuadas com dados de poços, podemos afirmar que, o imageamento WCDP conseguiu focalizar melhor os refletores presentes na região, comprovando a estabilidade do algoritmo na escolha da velocidade de focalização das reflexões, evidenciando e acrescentando informações de detalhes da falha e topo da soleira de diábasio, que estão mal focalizadas na respectiva seção Kirchhoff, conforme mostra a Figura 6 e 8. A partir disto, é importante ressaltar que, os resultados obtidos com o método de migração Kirchhoff estão comprometidos, entre outras coisas, com o *input* de um campo de velocidade, o que não ocorre com o método WCDP, posto que este determina internamente a velocidade de imageamento a partir de uma velocidade de referência uniforme, dentro das condições impostas pela metodologia.

Conclusões

As implementações práticas do método WCDP e sua aplicação em dados terrestres mostraram:

- A escolha adequada dos parâmetros de alta frequência confirma a possibilidade de se recuperar, tanto as bordas suaves, quanto às formas heterogêneas do meio.
- A qualidade final das reflexões depende de quanto e como a configuração fonte-receptor preenche o espectro da função perturbação do campo de velocidade. A boa estabilidade do método na escolha da velocidade de inversão, ao mesmo tempo em que realiza o procedimento de empilhamento do sinal.
- As seções WCDP, resultado da aplicação do método aos dados do Paleozóico, comprovam a sua eficiência na obtenção de imagens de alta-qualidade de dados sísmicos adquiridos sobre estruturas complexas, que geram forte variação lateral e inversão de velocidade dentro da camada.
- Os resultados obtidos usando o método WCDP composto demonstram que o método pode produzir imagens de alta qualidade de estruturas complexas com forte variação de velocidade.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a Petrobras por permitir a publicação deste trabalho. Este trabalho teve apoio do FINEP/CTPETRO/ANP e CENPES/PETROBRAS.

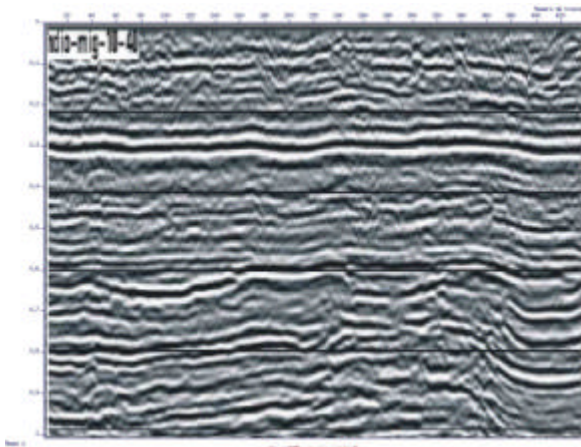


Figura 6 - Janela de visualização da seção resultante da migração pré-empilhamento Kirchhoff 2D em tempo da linha B.

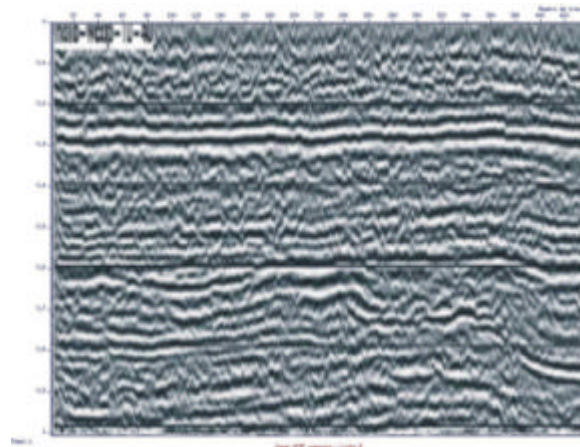


Figura 7 - Janela de visualização da seção final resultante do imageamento WCDP 2D em tempo da linha B. Produto da composição a partir das seções parciais cujos valores de velocidades de referências foram 2300 m/s e 4500 m/s. Observe o bom imageamento da soleira de diabásio no canal 176 e tempo 680 ms.

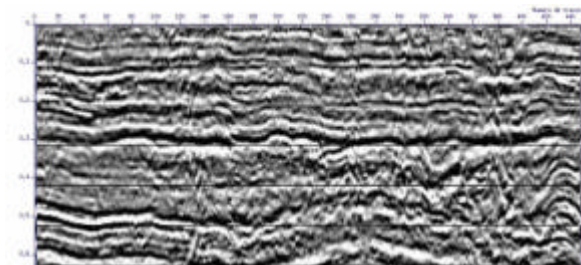


Figura 8 - Janela de visualização da seção resultante da migração pré-empilhamento Kirchhoff 2D em tempo da linha C.

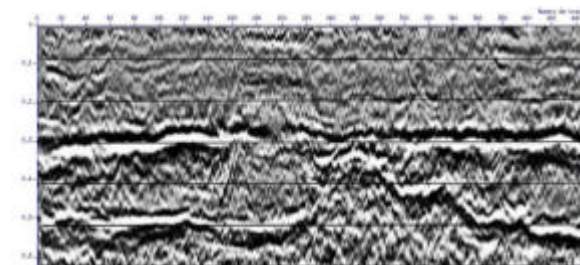


Figura 9 - Janela de visualização da seção final resultante do imageamento WCDP 2D em tempo da linha C. Produto da composição a partir das seções parciais cujos valores de velocidades de referências foram 2200 m/s e 2700 m/s.

Referências

Bleistein N.C.J., Cohen K.J., Stockwell-Jr. J.W., 2001, Mathematics of multidimensional seismic imaging, migration and inversion, Springer-Verlag, New York.

Bragança R.S.N., Bulção A., Soares Filho D.M. e Mansur W.J., 2001, Modelagem Sísmica 3D em *clustering* - Análise de performance. VII Congresso Internacional de Geofísica, Salvador, BA, Brasil

Foster D.F. and Carrion P.M., 1984, Born Inversion with a variable background velocity, *Geophysics*, v.49, n.10, p.1794-1797.

Kremlev A.N., 1985, Wave analog of CDP method, *Geology and Geophysics*, n.10, p.77-86 (in Russian).

Kremlev A.N., Priimenko V.I., Oliveira S.A.M, Misságia R.M., 2002, Practical realization and testing of the wave analog of common depth point method on synthetic and real data, *Bull. of the Novosibirsk Computing Center*,

Russian Academy of Sciences, Ser.: Math. Modelling in Geophysics, 7, pp.59-67 (in Russian).

Misságia R.M., 2003, Improvement, practical implementation and test of WCDP imaging method application to synthetic on real data. PhD thesis. LENEP/UENF, Brasil, 104pp. (in portuguese)

Soares Filho D.M., Priimenko V.I., Oliveira S.A.M., Roseane M. Misságia, Gomes E.C., et al., 2002, Processamento de dado sísmico com técnica de filtragem Proní e imageamento WCDP. Programa LENEP/CCT/UENF - CENPES/PETROBRAS. Contrato: 6502178017. Relatório Final, 159pp.

Texeira L.B., 1988, Estilo Tectônico do Baixo Amazonas, XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia.