



Análise de velocidades no contexto do processamento sísmico: exemplo em dado de baixa multiplicidade

Rodrigo Francis Revorêdo^{*1,2}, Carlos César Nascimento da Silva^{1,3}, Dário Guedes Miranda de Assunção^{1,4}
(¹UFRN/Departamento de Geofísica, ²Bolsista SBGf, ³Professor Orientador, ⁴Bolsista PRH22-BR,)

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th 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

It is common in the hydrocarbon exploration reprocessing of old seismic data, sometimes with a low number of channels and low signal noise ratio. In this context, a crucial and preponderant step to any data processing is the seismic velocity analysis of wave propagation, which is employed in several essential steps of the processing flow, aiming to present a final result with the maximum credibility as possible. In those reprocessing, many times the velocity analysis becomes much more complex and expensive due to low quality of the data, in some cases motivated by the small number of receptor channels used during data acquisition.

This work demonstrates the use of several techniques employed simultaneously and in an integrated way to reach an analysis as nearest as possible to the real velocity field. Despite the increase in total processing time, the method used here, making use of data with a small number of channels, was an effective form of discriminating the real field velocities and reducing uncertainties related to the quality of the processed data.

Introdução

O método da sísmica de reflexão é uma das técnicas mais importantes para o imageamento da subsuperfície com vistas à exploração de hidrocarbonetos com base na relação custo-benefício no que diz respeito à resolução e profundidade de investigação. Além disto, a sísmica de reflexão desempenha um papel muito importante com relação à diminuição dos riscos exploratórios, eliminando incertezas quanto ao potencial de áreas de interesse.

A exploração sísmica pode ser dividida em três estágios fundamentais: aquisição, processamento e interpretação (Yilmaz, O., 2001). O processamento dos dados sísmicos desempenha uma função primordial dentre esses estágios, tendo como principal objetivo produzir imagens sísmicas da subsuperfície que possuam a maior fidelidade possível quanto à sua geologia. Estas imagens sísmicas permitem uma melhor interpretação, podendo gerar também estimativas das propriedades petrofísicas. Ao longo de todo o fluxo de processamento, diversos processos são realizados de forma a tornar a imagem resultante confiável. Neste contexto, diversas etapas

fazem uso do campo de velocidades interpretado, o qual, em algumas situações, é de difícil quantificação, por vezes em função do dado sísmico de baixa qualidade (baixa razão sinal/ruído).

Baseado na premissa que diversos processos utilizam o campo de velocidades, os eventos presentes no dado sísmico podem estar bem ou mal definidos a depender da interpretação correta ou incorreta deste campo. Comumente a determinação do campo de velocidades é um processo continuamente realizado ao longo do fluxo de processamento sísmico e de fundamental importância para uma boa qualidade do dado final.

Utilizando licenças acadêmicas do software ProMax/SeisSpace da Halliburton/Landmark Software & Serviços, versão 5000.0.3.0, foram empregados diversos métodos para análise do campo de velocidades. Para tanto, foram utilizados dados sísmicos reais 2-D buscando, de forma intensiva e exaustiva, uma boa aproximação do campo real de velocidades.

Para esse trabalho foram utilizadas duas linhas sísmicas adquiridas no Oceano Atlântico Sul, próximo à costa do Estado do Rio de Janeiro (Brasil), pelo Instituto de Geofísica da Universidade do Texas (Austin) em 1979.

Exceto quanto ao número de registros (WSA01 com 2654 e WSA01a com 3994), as parametrizações são semelhantes, conforme segue:

- Intervalo de tiro: 50m
- Número de canais: 24
- Espaçamento entre canais: 50m
- Offsets mínimo e máximo 316-1466m

O problema abordado

Devido ao grande desenvolvimento das técnicas de aquisição, os levantamentos sísmicos modernos utilizam um elevado número de canais (diversas centenas a poucos milhares). Porém, em diversas ocasiões, novas aquisições se fazem inviáveis devido à necessidade, por exemplo, da interrupção da produção de campos produtores de hidrocarbonetos, pela presença de obstáculos (plataformas petrolíferas, dentre outros) ou mesmo ruídos que podem comprometer a qualidade do dado sísmico a ser adquirido. Nestes casos específicos, é necessário o reprocessamento de dados antigos, os quais, por vezes, apresentam um pequeno número de canais e baixa razão sinal/ruído.

Tendo em vista estas características (pequeno número de canais usados e baixa razão sinal/ruído) a

interpretação do campo de velocidades no dado utilizado se tornou um desafio. Para tanto, foi necessário o emprego de diferentes técnicas, tais como: CVS (Constant Velocity Stack), CVP (Constant Velocity Panel), ajuste de hipérboles, análise direta da efetividade da correção de sobretempo de NMO e a superposição da seção sísmica sobre o campo de velocidades.

A análise de velocidades sísmicas

A análise de velocidades é um passo essencial para diversas fases do processamento de dados sísmicos de reflexão. Já no início do fluxo de processamento, o campo de velocidades pode ser utilizado para a correção dos efeitos de propagação da onda sísmica, tal como a correção de divergência esférica, processo no qual é corrigida a perda de energia por espalhamento geométrico do campo de ondas propagado. Um outro processo que utiliza o campo de velocidades é a atenuação de eventos de reflexão múltipla, como por exemplo, durante a análise do dado no domínio f-k (frequências temporal e espacial). Neste processo em específico, há a necessidade em separar os eventos de reflexão primária das múltiplas, utilizando como critério discriminatório o mergulho e, para isto, a interpretação do campo de velocidades é preponderante, uma vez que a discriminação dos mergulhos é feita com base na velocidade dos eventos.

O campo de velocidades ainda é imprescindível para a correção do sobretempo normal ou NMO (*Normal Move Out*), bem como para o correto posicionamento de eventos durante a fase de migração sísmica. A figura 1 mostra o fluxograma básico de processamento fazendo uso da migração pré-estaqueamento em tempo, enfatizando os processos de determinação do campo de velocidades preliminar para atenuação de eventos de reflexão múltiplas, bem como para a migração.

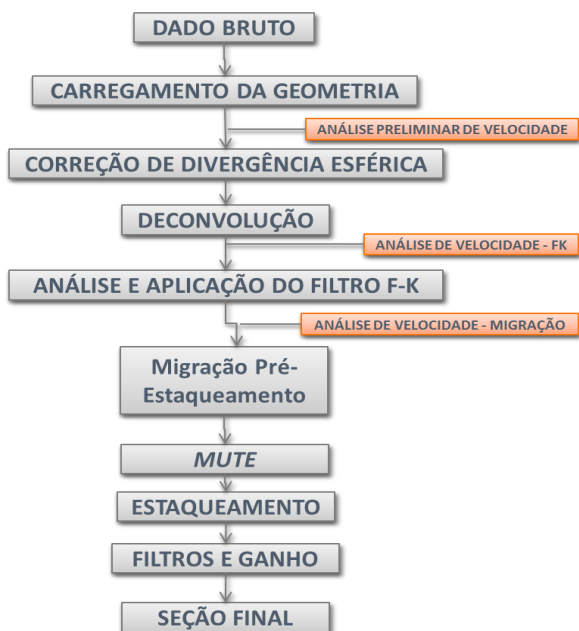


Figura 1. Fluxograma padrão para processamento pré-estaqueamento, ênfase nos processos de análise de velocidade.

Desta forma, para compor o campo de velocidades de forma satisfatória, foram utilizadas de forma integrada distintas estratégias, descritas a seguir:

(a) CVS (*Constant Velocity Stack*) - Consiste em submeter o dado sísmico a empilhamentos horizontais usando uma série de velocidades constantes ao longo de todo o dado para a correção de NMO. Com isto, é possível relacionar a velocidade sísmica correta com a melhor amplitude dos dados empilhados obtidos. De uma maneira prática, são geradas inúmeras seções sísmicas "zero offset", cada qual equivalente a uma velocidade em específico, a depender da parametrização executada. Este método foi utilizado simultaneamente à análise do espectro de velocidades (*semblance*, descrito em seguida), ao CVP (descrito mais adiante) e ao ajuste de hipérboles, na tentativa de diminuir a ambiguidade relacionada ao correto valor da velocidade para cada grupo CDP.

(b) *Semblance* - Também conhecido como análise de espectro de velocidades trata-se de um método baseado no fator de coerência dos dados de reflexão sísmica, onde este fator é dado pela expressão a seguir:

$$C(t, v) = \frac{[\sum_{j=1}^n A_j]^2}{\sum_{j=1}^n A_j^2}$$

Equação 1. Fator de coerência.

no qual t representa o tempo de reflexão, v é a velocidade para correção de NMO, n é o número de amostras somadas e A_j , as amplitudes dos dados CMP. Os resultados obtidos são apresentados na forma de uma matriz *velocidades x tempo*. O valor de coerência indica a eficiência de cada velocidade para corrigir NMO para cada tempo de reflexão (Duarte 2007).

(c) CVP (*Constant Velocity Panel*) - Consiste em realizar a correção de NMO para famílias CMP de acordo com grupos de velocidades constantes. A velocidade que melhor corrigir horizontalmente os eventos será a mais indicada para a posição analisada. Neste trabalho, este processo foi realizado simultaneamente ao *semblance* e ao ajuste de hipérboles (vide a seguir).

(d) Ajuste de hipérboles e aplicação direta de NMO - Durante o processo de análise de velocidade, é possível realizar ajuste de hipérboles aos eventos, de forma integrada a três painéis distintos: um para o *semblance*, outro para o CVP e o terceiro mostra a família CMP onde são ajustadas as hipérboles. Com relação às reflexões, ao longo deste mesmo painel também é possível aplicar a correção NMO para cada reflexão, corrigindo-as conforme a velocidade adotada.

(e) Superposição da seção sísmica sobre o campo de velocidades - Para uma melhor correlação entre o campo de velocidades e o dado geofísico na forma interpretativa, pode-se superpor a seção sísmica sobre o campo de velocidades interpretado, utilizando o efeito da opacidade

e transparência. Este método foi empregado ao final de todos os processos de análise de velocidade para verificar a relação entre os eventos geofísicos e o próprio campo de velocidades adotado, na forma de um controle de qualidade.

Para a análise dos resultados do campo de velocidades, a interpretação foi dividida em três fases: a primeira consistiu na visualização das seções de CVS para auxiliar na determinação das velocidades para cada região do dado; a segunda foi a análise do *semblance* em conjunto com painéis para a correção automática de NMO e a terceira fase consistiu na superposição de seções sísmicas sobre o próprio campo de velocidades interpretado.

Resultados obtidos

A partir da técnica do CVS, observou-se que ao longo de toda a linha WSA-01, no intervalo entre 3000 e 4000ms, a velocidade que melhor empilha os refletores está variando entre 1600 e 1700m/s. Para valores abaixo deste intervalo de velocidades, os refletores sofrem um deslocamento e perda de definição; já para valores acima, os refletores mais rasos são fortemente atenuados. Outra informação importante fornecida pelo CVS foi a velocidade dos eventos de reflexão múltipla, notadamente aquele relacionado à múltipla do fundo do mar de primeira ordem, o qual é bem visualizado na faixa de velocidades de 1400 a 1800m/s (Figura 2).

Já para a linha WSA-01a, os painéis CVS mostraram que o substrato oceânico e as camadas mais rasas do dado apresentavam uma forte diminuição na definição das interfaces quando empilhadas para velocidades superiores a 1750m/s. Também foi possível discriminar as velocidades que melhor imageavam pontos difratores de eventos hiperbólicos e, assim, obter um resultado satisfatório na tentativa de colapsar esses eventos durante a fase de migração. A figura 3 mostra exemplos de painéis CVS para as velocidades de 1400, 1660 e 2000m/s. Nos mesmos é possível visualizar os efeitos provocados ao dado para a variação da velocidade dentro do intervalo indicado.

Outro processo fundamental para uma boa análise de velocidade foi a correção automática de NMO para grupos de CMP. Essa correção possibilita a verificação imediata do efeito de cada velocidade para seu respectivo refletor. Assim é possível saber se a velocidade é inferior, superior ou adequada à velocidade real do evento a partir da horizontalização ou não dos refletores. As Figura 4a e 4b mostram o efeito desta correção ao longo da CDP 2493 na linha WSA-01 e a CDP 3294 na linha WSA-01a. Já a Figura 5 mostra os painéis CVP para a mesma CDP da linha WSA-01, mencionada anteriormente. Para todos os painéis de análise de velocidade (Figuras 4a, 4b e 5), a linha branca no *semblance* e a linha vermelha nos painéis CVP, representam a interpretação do campo de velocidades.

Após a interpretação do campo de velocidades, o mesmo é interpolado de forma a gerar uma imagem a qual, por sua vez é superposta na forma de transparência ao dado sísmico. Com isto, é possível observar a correspondência

entre a interpretação realizada ao longo das CMP's e os eventos sísmicos correlatos.

A análise desta superposição possibilita verificar que há um forte incremento na velocidade a partir do tempo de 5000ms para a linha WSA-01a (Figura 6), possivelmente relacionada à ocorrência de sal nessa área. Além disto, em ambos os dados sísmicos, foi observada forte variação lateral de velocidade, evidenciando complexa estruturação ao longo de todo o dado sísmico.

Considerações

A utilização de vários processos simultâneos para a análise de velocidades mostrou-se uma técnica bastante eficiente para a discriminação do campo de velocidades, principalmente em dados de baixas multiplicidade e razão sinal/ruído, os quais merecem destaque por favorecerem ambiguidade interpretativa. Dentre as técnicas empregadas e diversos aspectos, os painéis CVS contribuíram de maneira essencial para a identificação de eventos de reflexão múltipla. Além disto, a superposição de informações através da técnica de transparência e opacidade entre campo de velocidades e o dado sísmico empilhado possibilitou a validação do campo de velocidades, contribuindo de forma positiva para o controle de qualidade do processamento.

De acordo com os resultados obtidos, baseando-se no fato de que o campo de velocidades é informação crucial no processamento de dados sísmicos em inúmeras etapas, bem como na confiabilidade do dado resultante, percebe-se que o custo relativo à interpretação desta informação fazendo uso de inúmeras técnicas é amplamente justificável.

Agradecimentos

À Halliburton/Landmark pelas licenças acadêmicas do ProMax/SeisSpace. À Sociedade Brasileira de Geofísica (SBGf) pelo apoio à pesquisa e bolsa disponibilizada a um de seus autores. Ao Departamento de Geofísica da UFRN pela infraestrutura cedida. Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Geofísica de Petróleo (INCT-GP). Ao Professor João Medeiros (UFRN/DFTE) pelo apoio técnico computacional. Ao Instituto de Geofísica da Universidade do Texas (Austin) e também aos cientistas Thomas H. Shipley e John W. Ladd pela disponibilidade dos dados sísmicos.

Referências

Duarte, O. O., 2007. Dicionário enciclopédico inglês-português de geofísica e geologia. 3° ed. SBGf, Rio de Janeiro.

Yilmaz, O., 2001. Seismic data analysis: processing, inverting and interpretation of seismic data, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.

Barker, P.F., Buffler, R.T., and Gamboa, L., 1983, Seismic reflection study of the Rio Grande Rise, Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, published by U.S. Govt. Printing Office, vol. 72, p. 499-517.

Gamboa, L. A., Buffler, R.T., and Barker, P.F., 1983, Seismic stratigraphy and geologic history of the Rio Grande gap and southern Brazil basin, Initial Reports of

the Deep Sea Drilling Project, published by U.S. Govt. Printing Office, vol. 72, p. 481-497.

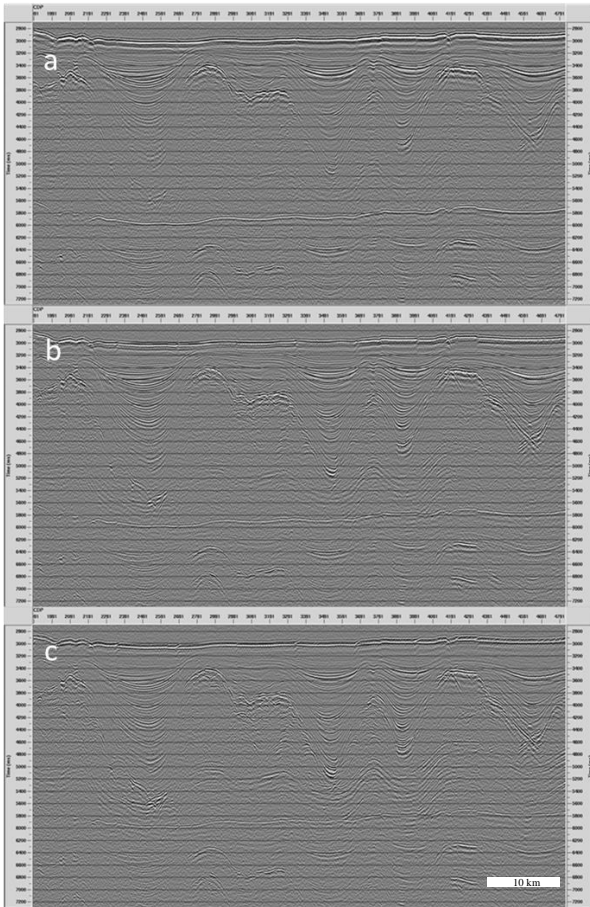


Figura 2. CVS, Linha wsa-01 (a-1450ms; b-1600ms; c-1900ms)

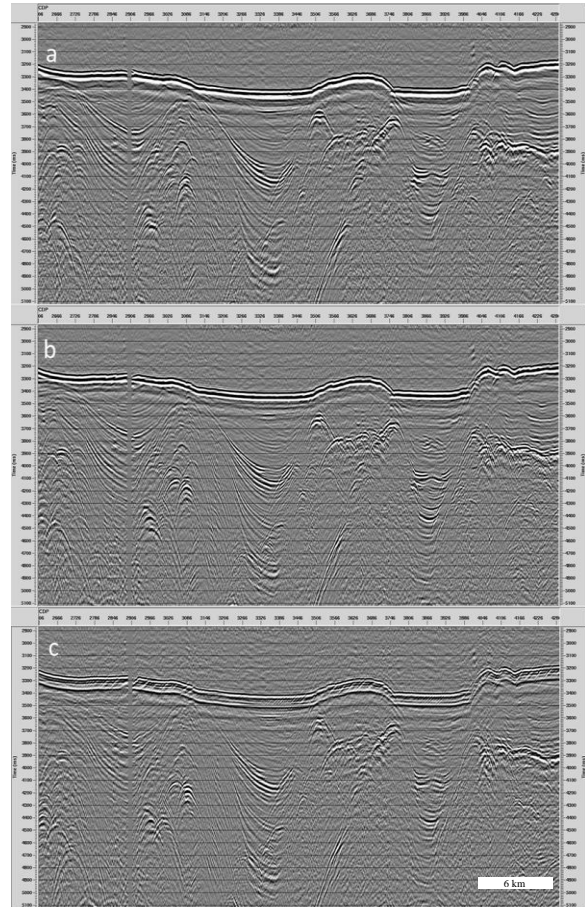


Figura 3. CVS Linha WSA-01^a (a-1450ms; b-1600ms; c-1900ms)

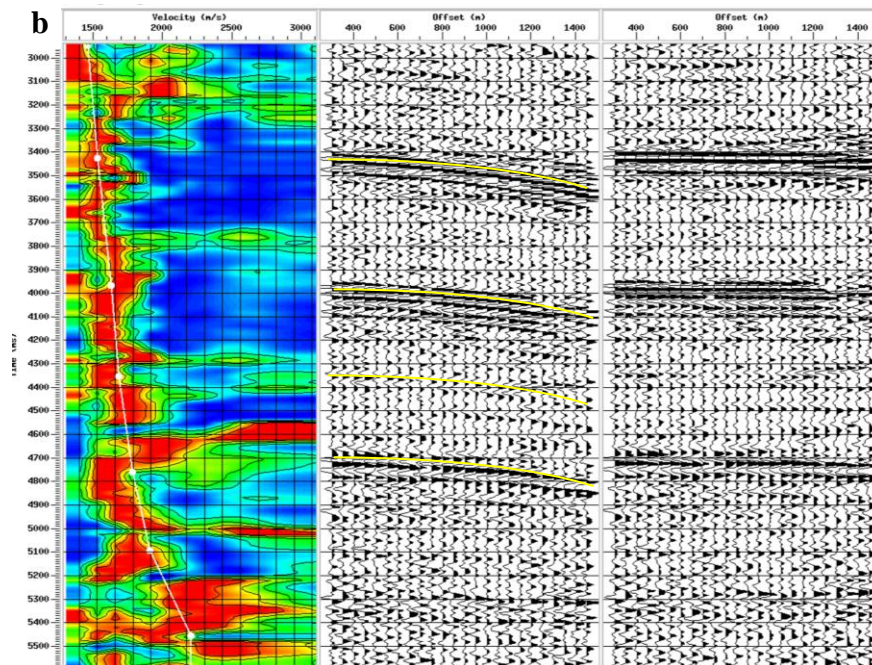
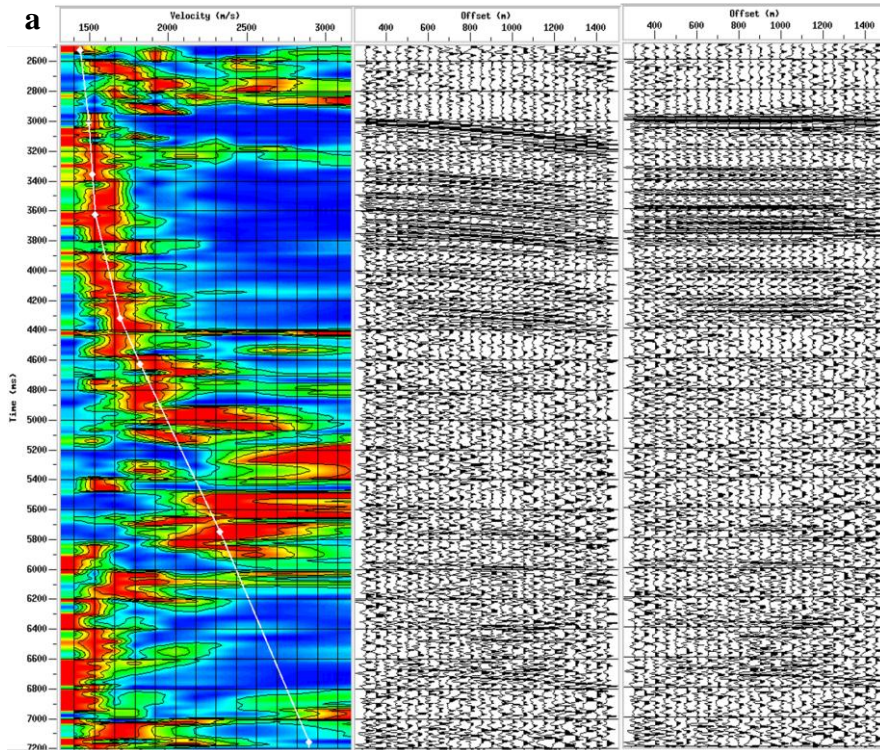


Figura 4. Painel de análises de velocidades (esquerda) com ajuste de hipérboles (central) e correção automática de NMO (direita) para as linhas (a) WSA-01 e (b) WSA-01a.

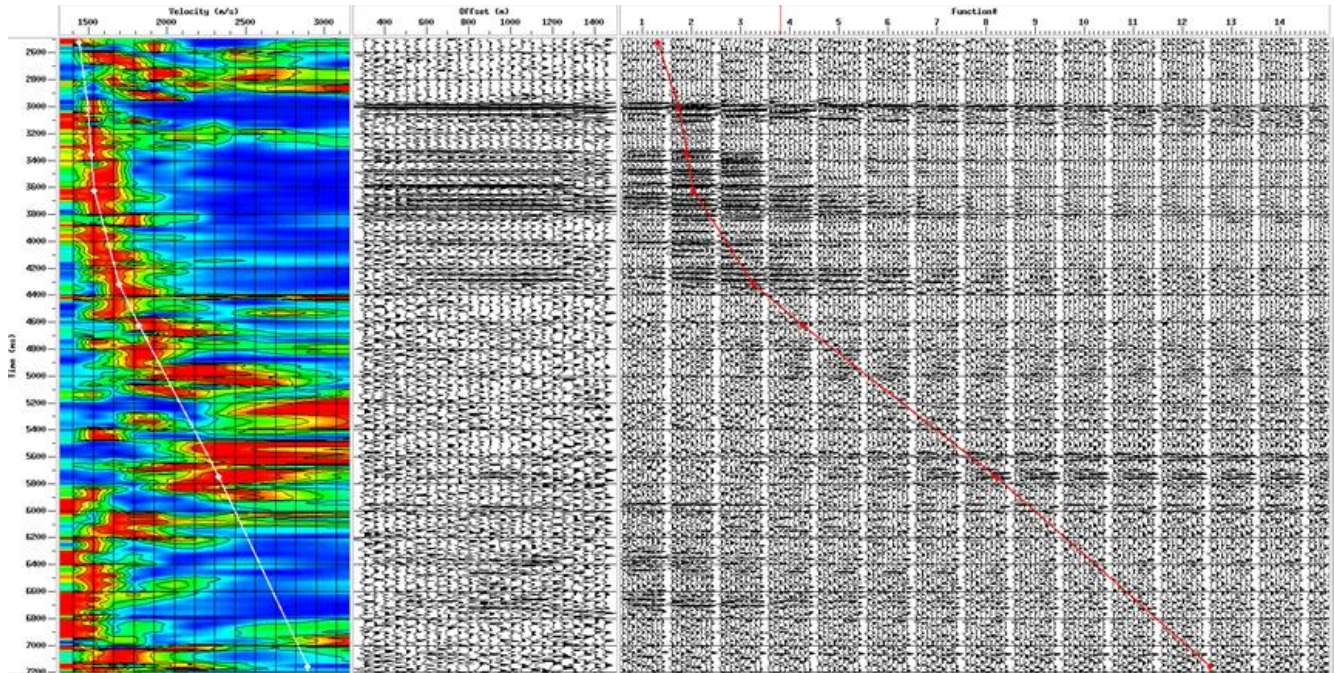


Figura 5. Painel de análises de velocidades (esquerda) com ajuste automático de NMO (central) e CVP (direita).

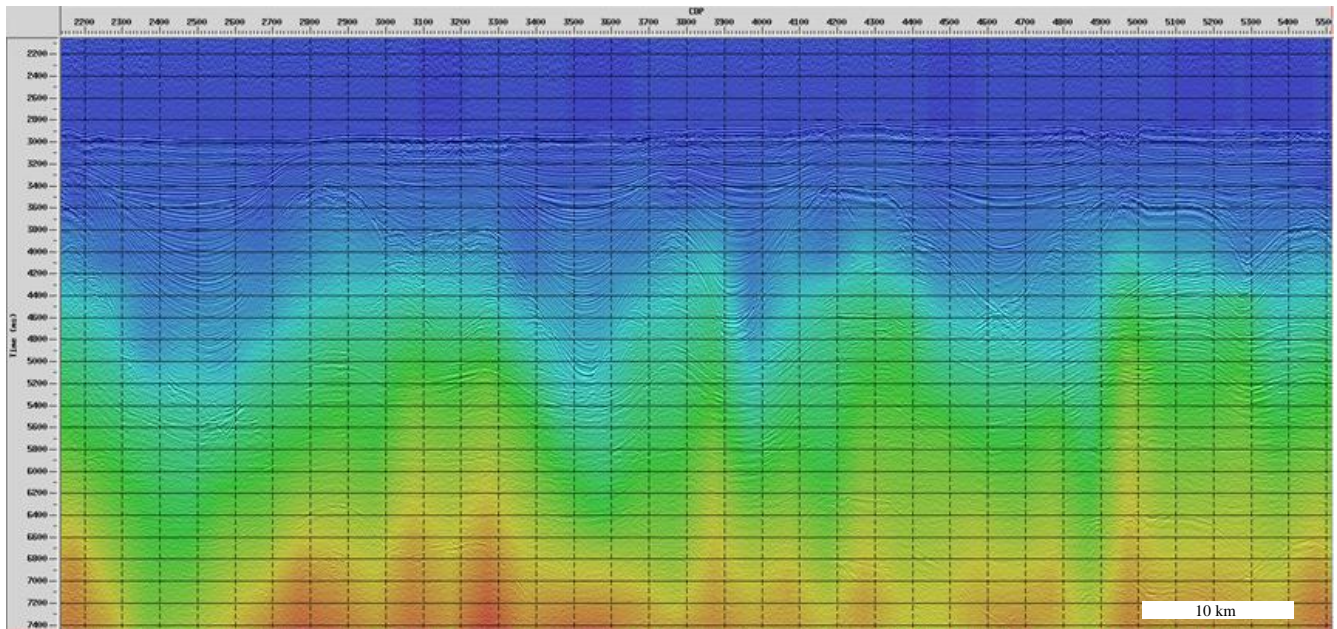


Figura 6. Superposição da seção migrada sobre o campo de velocidades (Linha WSA-01).