

## Processamento CMP de Dados Sísmicos Levantados no Norte da Bacia do São Francisco.

Wilker Eduardo Souza\*, CPGG/UFBA; Marco Antonio Barsottelli Botelho, CPGG/UFBA

Copyright 2015, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 14<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 3-6, 2015. Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 14<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

The São Francisco Basin is a polycyclic Proterozoic basin that represents an interesting challenge to geophysical research considering your complexity and small amount of data. In the 90s, the São Francisco sedimentary basin area was a target of a huge hydrocarbon exploratory campaign, sponsored by PETROBRAS .S.A, that include a series of reflection seismic data acquisition (Programa Sísmico de Santana, April 1994). Some of those reflections seismic lines were acquired by GETA/UFBA with ANP (National Agency of Petroleum).

The present work aimed to processing the seismic line 0027-RL-1932 in São Francisco Basin, using the techniques of seismic method, in order to obtain seismic sections that provide subsurface structures information to the interpreter. The processing Involves different stages organized in a seismic processing flowchart, among which include: geometry, static correction, amplitude correction, deconvolution, velocity analysis, normal moveout correction (NMO), stacking and migration.

### Introdução

Realizamos o processamento da linha sísmica 0027-RL-1932 que faz parte do programa de aquisição de dados sísmico de Santana, realizado pela PETROBRAS. S. A. na década de 90. O processamento de dados sísmicos é uma etapa de grande importância nos métodos sísmicos de reflexão, sendo alvo de grandes investimentos da indústria de petróleo. Ele é responsável pela boa qualidade das imagens sísmicas que por sua vez revela a geometria da geologia em subsuperfície.

A Bacia de São Francisco, a despeito de existirem levantamentos há mais de uma década, ainda é uma fronteira exploratória, merecedora de muita atenção e trabalhos na prospecção de hidrocarbonetos.

### Aquisição dos dados

O levantamento dos dados sísmicos foi realizada empregando um arranjo *Split spread*, no qual o ponto de

tiro ocupa a posição central em relação às estações receptoras. A configuração da aquisição apresenta *offset mínimo* de 50 metros e 100 geofones equidistantes de 25 metros. Semelhante ao afastamento entre os receptores, o intervalo entre os pontos de tiros foi de 25 metros. Os receptores registram com um intervalo de amostragem constante de 2ms, com um tempo de registro de 5s, que corresponde ao comprimento do traço sísmico. A Figura 1 ilustra o lançamento que compõe o arranjo descrito acima.

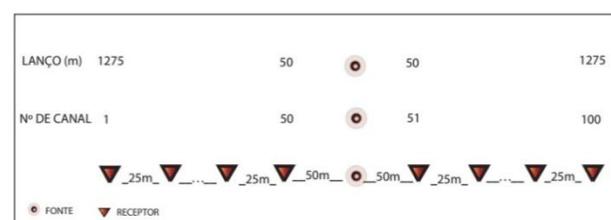


Figura 1 – Parâmetros do arranjo *split-spread* simétrico

A linha sísmica localizada na porção baiana da Bacia do São Francisco (Figura 2) faz parte de um conjunto de dados adquiridos na Agência Nacional do Petróleo (ANP) pelo Grupo de Estratigrafia Teórica e Aplicada (GETA) para fins de desenvolvimento acadêmico. A linha sísmica foi obtida no ano de 1997 pela equipe sísmica da PETROBRAS S. A., com o objetivo de avaliar o potencial petrolífero da bacia.

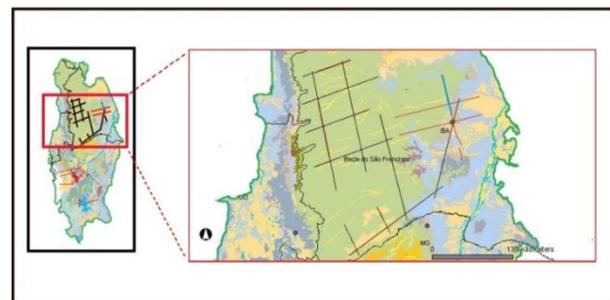


Figura 2 – Imagem obtida através do BDEP, modificada, em azul está a linha sísmica 0027-RL-1932.

### Processamento sísmico

O processamento sísmico foi realizado utilizando o *software* SeisSpace desenvolvido pela Landmark Graphics Corporation e dividido em duas etapas: o pré-processamento e o processamento avançado. O pré-processamento dedica-se em organizar os dados derivados da aquisição e tratar problemas capazes de comprometer a qualidade dos resultados através da redução de ruídos, correção estática, correção de

amplitude, deconvolução e balanceamento espectral. No processamento avançado, encontram-se as etapas mais complexas do processamento sísmico. Inicialmente é feita uma análise de velocidade, correção de NMO, empilhamento e por último a migração.

### Pré-processamento

Os arquivos inicialmente salvos em formato SEG-Y, foram convertidos para o formato próprio do SeisSpace, e então foi feita a geometria, que tem como função registrar a posições exatas de cada fonte e seus respectivos receptores, os tipos de arranjos utilizados, a elevação das fontes e receptores e o número de tiros realizados durante o levantamento.

Na etapa da edição, os dados foram inspecionados visualmente no domínio do tiro, visando aqueles com uma baixa razão sinal ruído, traços com amplitude nula, que possa vir comprometer a qualidade dos resultados (Torres, 2008).

Aliada às variações de espessura e velocidade de propagação das ondas elásticas, comumente presente na parte mais superior da superfície terrestre, conhecida como Zona de Baixa Velocidade (ZBV), tem-se as variações topográficas da superfície que produzem deslocamentos nos tempos de chegada das reflexões, que podem deteriorar a qualidade da seção sísmica caso não sejam corrigidas. A correção estática é a correção dos efeitos dos deslocamentos dos tempos de chegada das reflexões causadas pela ZBV e pela topografia. A Figura 3 apresenta uma maneira simplificada de exemplificar os efeitos da topografia e da ZBV separadamente em uma seção sísmica. Para isso, considerou três situações distintas de um levantamento com afastamento nulo (*zero-offset*) feito sobre um modelo geológico com um refletor horizontal em subsuperfície.

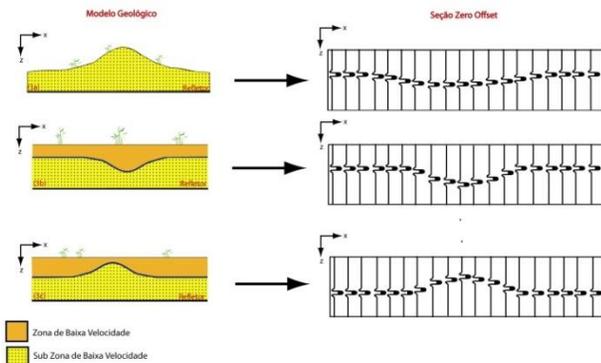


Figura 3 – Efeitos da topografia e da ZBV em um refletor horizontal. Modificado de Amorim e Gontijo, 2010.

Uma vez que os dados de reflexão sísmica são gerados a partir de energia próxima à superfície, os sinais captados pelos geofones certamente irão conter todas as informações pertinentes à ZBV. Isso significa que os próprios dados de reflexão sísmica contêm as informações necessárias para o cálculo das correções estáticas, sendo necessário apenas resgatar essas informações por algum processo de interpretação desses dados.

A correção estática foi realizada seguindo três etapas:

1. *Picking* das primeiras quebras do sismograma – tem por objetivo o mapeamento automático dos tempos das primeiras quebras de todos os traços do sismograma. A edição manual foi necessária quando o módulo automático não obteve resultados satisfatórios.
2. Cálculo das correções estáticas – nesta etapa, são calculados os tempos de atraso causados pela topografia e pela ZBV capazes de atenuar os erros estáticos contidos nos traços sísmicos.
3. Aplicação da correção estática – aplica a correção estática calculada na etapa anterior.

O *datum* flutuante é calculado através da suavização das estáticas e multiplicação por uma velocidade de reposição ( $V_r$ ). O objetivo de obter os dados no *datum* flutuante é a minimização dos erros estáticos melhorando a análise de velocidade e a correção NMO, diminuindo a possibilidade de se ter estruturas falsas. A passagem dos dados do *datum* flutuante para o *datum* final geralmente é feita na etapa de empilhamento. A Figura 4 mostra um plote das elevações do terreno, do *datum* flutuante e do *datum* final da linha sísmica utilizada neste trabalho.

A fim de facilitar a visualização da etapa de correção estática, a Figura 5(a) traz um sismograma apenas com a geometria e a edição dos traços. Já a Figura 5(b) mostra o mesmo sismograma após a aplicação da correção estática.

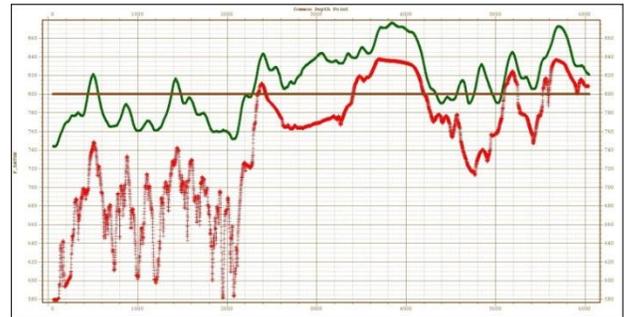


Figura 4 – Topografia da linha sísmica (linha vermelha), *datum* flutuante (linha verde) e *datum* final (linha marrom).

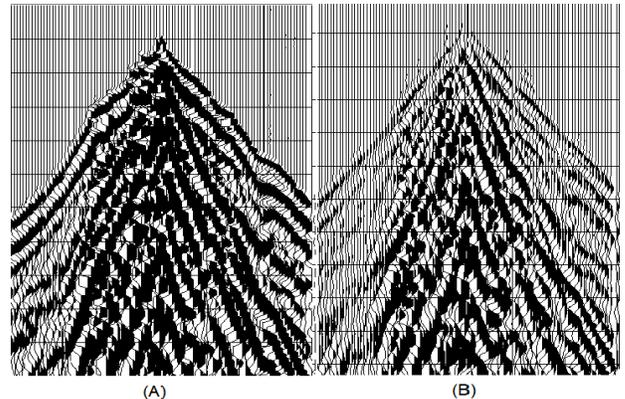


Figura 5 – Sismogramas antes (A) e depois da correção estática (B).

O dado sísmico bruto mostra um acentuado decaimento da amplitude com o tempo. Sendo assim, a correção de amplitude faz-se necessária devido a vários fatores que contribuem para a perda de energia e atenuação do sinal sísmico com o tempo de propagação da onda elástica no interior da terra, aos quais podemos destacar segundo Abreu (2005) a divergência esférica, a absorção, as perdas por transmissão entre as interfaces, reflexões múltiplas, curvatura da superfície do refletor e dispersão. A Figura 6 mostra um sismograma antes (A) e depois (B) da correção de divergência esférica.

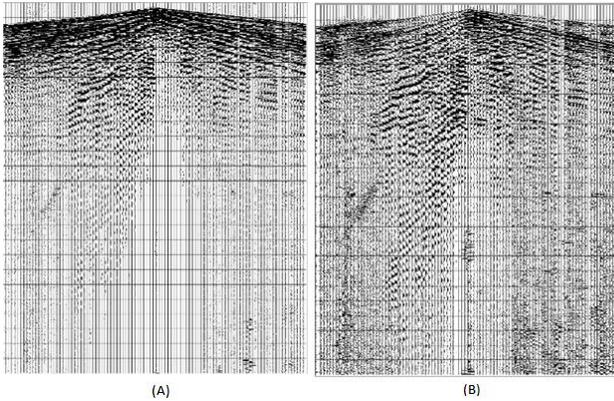


Figura 6 – Sismograma antes (A) e depois (B) da correção de divergência esférica.

A deconvolução do pulso ou filtragem inversa foi utilizada com objetivo de recuperar a resposta impulsiva terrestre a partir do sismograma. Associado a isso, ele também consegue melhorar a resolução temporal ou vertical do traço sísmico. Com isso, há uma melhor definição do topo e da base de pacotes mais delgados. A ideia básica desse processo é a estimativa do filtro inverso, o qual é convolvido com o pulso sísmico básico originando um impulso. Dessa forma, o filtro deve ser capaz de fornecer a resposta impulsiva da terra quando aplicado ao traço sísmico.

A deconvolução do pulso no SeisSpace foi feita a partir de duas etapas. Na primeira, são geradas janelas de deconvolução, no domínio do tiro, que engloba as porções dos sismogramas cujo aparecimento de eventos de reflexão seja evidente. Dentro das janelas o cálculo da autocorrelação dos traços é realizado com a finalidade de encontrar o filtro inverso. Na segunda, aplica-se a deconvolução do pulso no dado.

A aplicação do balanceamento espectral em dados contaminados por ruídos, tais como a onda aérea e o ground roll, cujos padrões são caracterizados por frequências anômalas, resulta na maioria das vezes, num aumento do sinal, uma vez que as componentes do espectro são levadas a um mesmo nível o que causa o decréscimo da energia total desses ruídos.

Os procedimentos para o balanceamento espectral dos dados sísmicos são os seguintes:

1. Conversão dos dados de entrada  $X(t)$  para o domínio da frequência  $X(\omega)$  via transformada de Fourier 1D;
2. É realizada uma decomposição espectral, ou seja, os dados são separados em bandas de frequência  $\Delta X(\omega)$ . O intérprete define o comprimento de cada banda  $n$ , selecionando as frequências de corte e passagem de um ou mais filtros passa-banda;
3. As bandas de frequências são separadamente transformadas para o domínio do tempo  $\Delta X(t)$  via transformada de Fourier inversa. Cada traço original foi decomposto em vários traços, sendo que, cada traço, possui um conteúdo de frequência;
4. Uma função de ganho  $\Delta g(t)$  do tipo AGC – controle de ganho automático é calculada e aplicada  $\Delta X(t) \cdot \Delta g(t)$  para cada traço decomposto, utilizando-se uma janela de tempo especificada pelo intérprete;
5. Após a equalização do dado filtrado  $\tilde{X}(t)$ , é obtido pela soma dos traços decompostos em cada banda de frequência  $\Delta \tilde{X}(t)$ .

A Figura 7 ilustra os passos do balanceamento espectral.

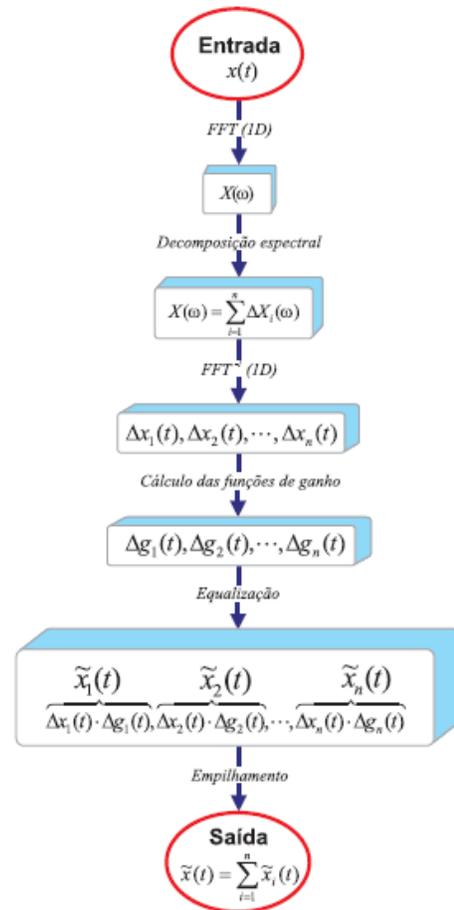


Figura 7 – Fluxograma com as etapas do balanceamento espectral (Silva, 2004).

A Figura 8(A) ilustra um sismograma antes da aplicação da deconvolução e balanceamento espectral e 8(B) após a aplicação dos métodos citados.

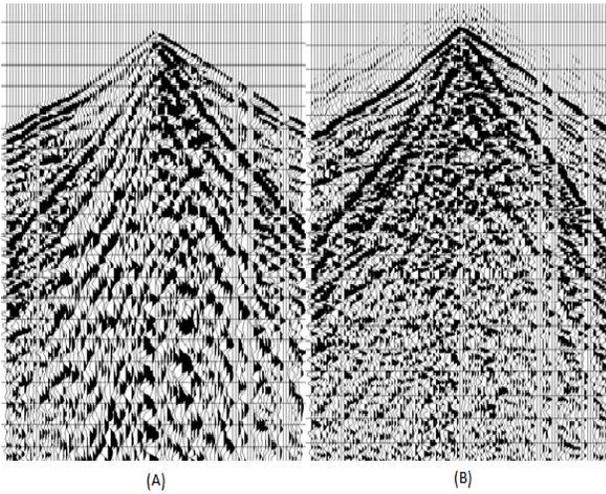


Figura 8 – Sismograma antes da aplicação dos métodos de deconvolução e balanceamento espectral (A) e após a aplicação dos métodos (B).

### Processamento Avançado

Faz-se necessário nessa fase do processamento que os dados pré-processados organizados em família de tiro comum, sejam reorganizadas em famílias de ponto médio comum (CMP - Common Mid Point). No CMP, cada traço individual é atribuído ao ponto médio entre as posições da fonte e do receptor associado a esse traço.

Segundo Rosa (2010), a multiplicidade inerente à técnica CDP faz com que os traços sísmicos de um agrupamento CMP possam ser empilhados de forma a reforçar as reflexões. E, no processo de empilhamento, os ruídos aleatórios são atenuados de forma proporcional a raiz quadrada da cobertura da família CMP, ou seja, do número de traços sísmicos que a compõe.

### Análise de velocidade

Na análise de velocidade procura-se a velocidade que possa horizontalizar cada uma das reflexões hiperbólicas, de modo que ao empilhar os refletores horizontalizados, soma-se as amplitudes de modo construtivo, aumentando-se a razão sinal-ruído. Esta etapa foi executada diversas vezes dentro do fluxograma de processamento, de modo a garantir um refinamento maior das informações.

Durante a análise de velocidade, o conhecimento geológico da bacia é de fundamental importância, uma vez que a cada ponto criado, deve-se ter em mente a litologia esperada para aquele intervalo de tempo. Neste trabalho, utilizou-se como informações auxiliares: dados de poços, que fornecem estimativas sobre a profundidade do embasamento e a velocidade intervalar das informações, além de mapas de anomalia *Bouguer*

(com o fim de observar as partes mais profundas da Bacia do São Francisco, visto que esta é pouco conhecida), e estudos de artigos científicos referentes à área de estudo.

A Figura 9 mostra a interface da análise de velocidade e a correção de NMO com os eventos de reflexão horizontalizados. A velocidade é escolhida no painel de coerência (linha branca).

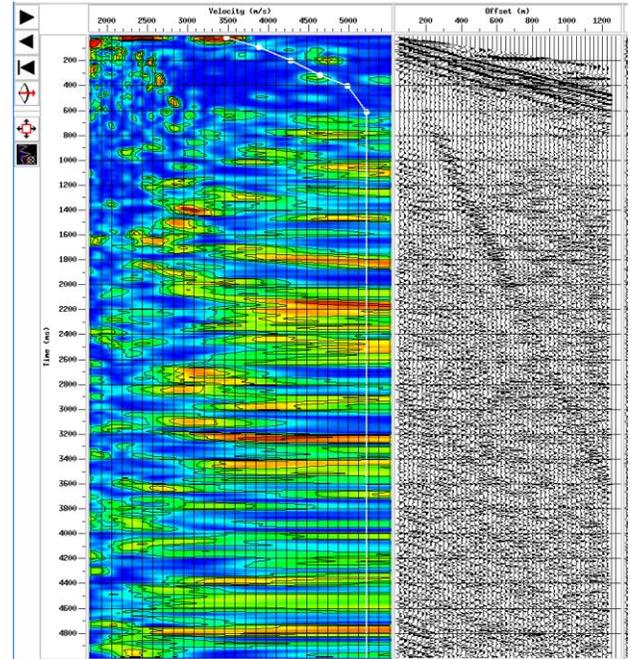


Figura 9 – Análise de velocidade no CDP 930.

A Figura 10 mostra o campo de velocidade RMS, a partir da interpolação linear dos resultados das análises de velocidade dos CDPs avaliados durante a escolha da velocidade preliminar.

### Correção de NMO

Após a análise de velocidade aplica-se a correção de NMO, que tem por finalidade corrigir os deslocamentos dos dados causados pelo afastamento fonte-receptor, considerando que numa camada horizontal com velocidade constante o refletor em função do afastamento tem um formato hiperbólico. Com a correção, tudo se passa como se o ponto de tiro e a estação de geofones ocupassem a mesma posição (afastamento nulo) (Rosa, 2010).

O efeito do estiramento do sinal sísmico dos traços ocorre devido à correção de NMO, e é maior para sinais sísmicos com tempos menores e afastamentos maiores. Para contornar o problema, as regiões dos painéis CMP com pulsos sísmicos atingidos por este efeito serão eliminadas antes de serem realizadas as etapas de processamento subsequentes, em uma etapa interativa denominada de silenciamento (*muting*). Na linha sísmica processada neste trabalho, o *muting* para o processo de análise de velocidade foi aplicado de forma automática.

## Empilhamento

O empilhamento dos dados sísmicos é feito somando todos os traços de uma família CMP, corrigidos de NMO; e ao serem posicionados lado a lado, os diversos traços oriundos das diferentes famílias CMP, tem-se a seção *zero-offset*. O processo de empilhamento tem como consequências a diminuição do tamanho dos dados e aumento da razão sinal/ruído. O sucesso do empilhamento depende de uma boa análise de velocidade que horizontalize os eventos das reflexões primárias. Nessa etapa, gera-se uma primeira imagem da geologia em subsuperfície.

A melhoria da razão sinal-ruído dos dados, nesse caso, dependerá do grau de coerência alcançada nos eventos de interesse (reflexões). Ou seja, o empilhamento produz um traço a partir de cada família CMP, normalizado pela média aritmética, preservando as relações entre as amplitudes.

## Migração *Kirchhoff* em tempo pós-empilhamento

O objetivo da migração é fazer com que uma seção empilhada oriunda da propagação de ondas, seja similar a uma seção geológica em profundidade. A migração move os refletores com mergulho para suas verdadeiras posições em subsuperfície e colapsa as difrações aumentando a resolução espacial produzindo uma imagem sísmica da subsuperfície (Yilmaz, 2001).

Os parâmetros de entrada necessários para efetuar a migração são o campo de velocidade, a abertura do operador que se relaciona com a distância máxima para a qual a energia pode ser espalhada e o ângulo de migração, que determina os ângulos que se deseja decompor. A Figura 11 representa o resultado da migração *Kirchhoff* em tempo pós-empilhamento.

## Conclusões

Embora os dados da linha sísmica 0027-RL-1932, da Bacia do São Francisco, sejam de baixa qualidade, foi possível obter uma boa resolução da seção migrada, a qual permite ao intérprete a visualização dos refletores e das estruturas mais rasas, cujo pacote está, provavelmente, sobre a região do embasamento.

Informações auxiliares sobre a geologia da bacia sedimentar pouco conhecidas e/ou de história geológica complexa, como é o caso da Bacia do São Francisco, são de suma importância no processamento de dados sísmicos. Neste trabalho foram utilizados como dados auxiliares, dados de poço, anomalia *bouguer* e dados coletados em campo.

A determinação correta das correções estáticas constitui uma etapa muito importante do processamento de dados sísmicos terrestres de reflexão, devendo fazer parte das etapas iniciais do fluxo de processamento sísmico.

A filtragem por meio do balanceamento espectral foi determinante para a melhoria da razão sinal-ruído nos dados processados.

Verificou-se na seção final migrada que a porção na parte sul-sudeste (SSE) apresentou melhor resultado quando comparado com a porção norte-noroeste (NNO). Uma possível explicação para o resultado obtido é o fato de a linha sísmica ter sido levantada sobre dois diferentes grupos (Urucuia e Bambuí). A porção NNO está diretamente sobre o Urucuia e a porção SSE sobre uma área erodida com um desnível de aproximadamente 250m, onde aflora rocha calcária e folhelho do Bambuí. Na porção SSE, temos uma boa qualidade dos dados sísmicos. Pelo fato do Grupo Bambuí ser composto predominantemente pela alternância de calcário e folhelho, que são rochas com forte contraste de impedância, observa-se um número maior de refletores sísmicos. Na porção NNO da seção, acreditamos que o solo predominantemente arenoso com muitos seixos oriundos do próprio arenito Urucuia, vai causar a dispersão (e/ou atenuação) do pulso sísmico, prejudicando a visualização das interfaces geológicas na subsuperfície.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao geofísico sênior da PETROBRAS Valdir Andrade Rocha por sua orientação sobre o processamento sísmico utilizando o *software* SeisSpace. Agradecem também ao LAGEP-UFBA e ao GETA-UFBA por ceder à infraestrutura necessária para a realização deste trabalho.

## Referências

- ABREU, A. S. (2005) - Processamento de Dados Sísmicos do Golfo do México usando o SEISMIC UNIX - Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Salvador, Brasil.
- AMORIM, W. N. DE E GONTIJO, M. S. (2010) - Correções Estáticas, PETROBRAS, publicação interna.
- ROSA, A.L.R. 2010. Análise do Sinal Sísmico. Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro, 668 p.
- SILVA, M.G. 2004. Processamento de Dados Sísmicos da Bacia do Tacutu. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil. 126 p.
- TORRES, T.C. 2008. Processamento e Interpretação de Dados Sísmicos 2-D da Bacia de Camamu. Trabalho de Graduação. Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil. 48 p.
- YILMAZ, O. 2001. Seismic Data Analysis: processing, inversion and interpretation of seismic data, Society of Exploration Geophysicists - SEG, Tulsa.

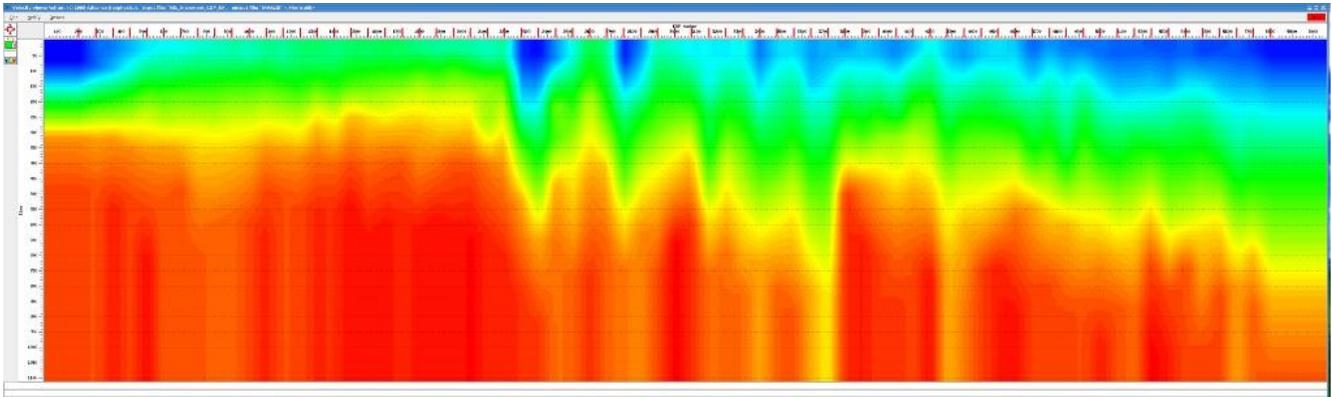


Figura 10 – Campo de velocidade obtido a partir da interpolação dos resultados da análise de velocidade.

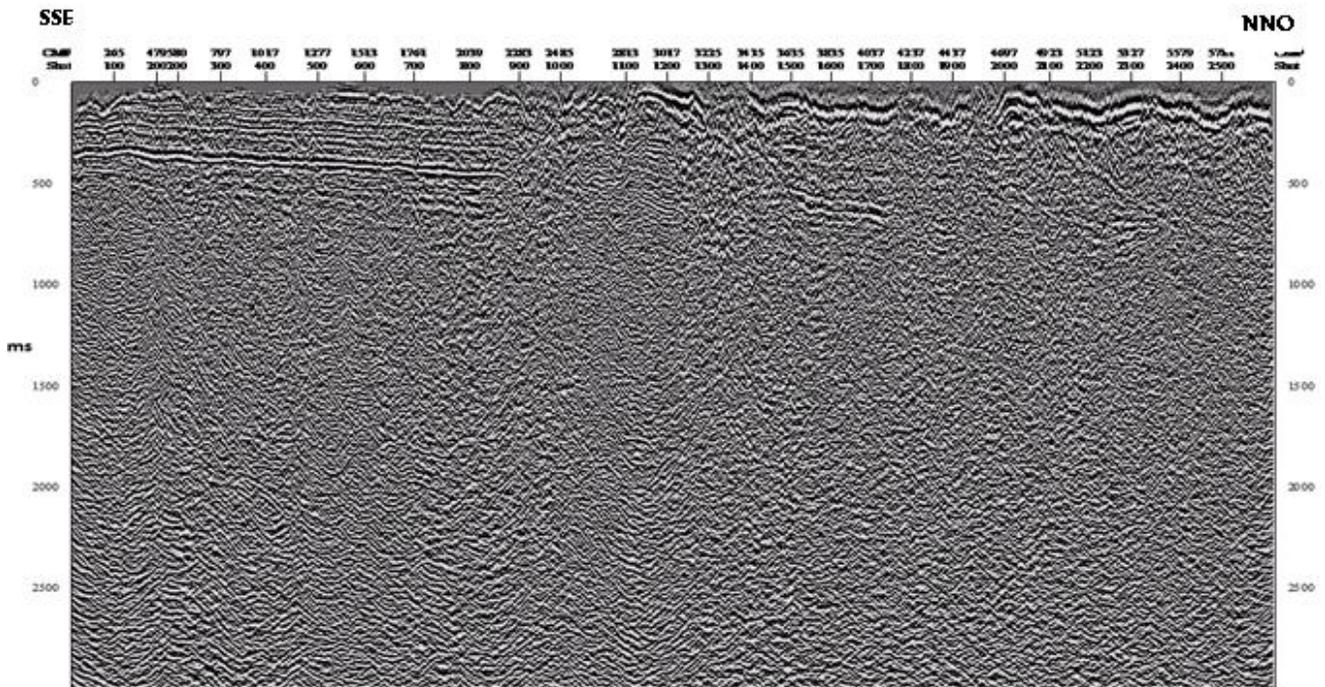


Figura 11 – Seção final migrada, onde pode-se observar refletos bem definidos e contínuos no seu início, que corresponde à sua porção NNE; seguindo por uma deteriorização desses refletos, até a quase total ausência na porção NNO.