



## Reconstrução de dados sísmicos 2D esparsos visando a redução de custos na aquisição de dados sísmicos na bacia do Parnaíba

German Garabito (UFRN), Heron Schots (CPGeo), João Caldeira (PGN), José Tassini (CPGeo), Rafael Furtado (CPGeo)

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 15<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August, 2017.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 15<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.

### Resumo

A redução dos custos na aquisição de dados sísmicos terrestres está diretamente relacionada com qualidade da amostragem espacial do campo de onda, sendo que uma amostragem inadequada pode causar falseamento (aliasing) especialmente na migração pré-empilhamento. Atualmente, métodos de regularização e interpolação multidimensional de dados sísmicos são usados para pré-condicionar e melhorar a qualidade dos dados sísmicos com subamostragem espacial e amostragem irregular. Neste trabalho apresentamos um estudo visando a redução de custos da aquisição sísmica de linhas 2-D na bacia do Parnaíba, por meio da aplicação em uma linha sísmica de dois métodos de regularização e interpolação considerando cenários de dados com diferentes intervalos das fontes sísmicas. Os resultados mostram que os dados sísmicos regularização e interpolados melhoram a qualidade e resolução dos resultados, podendo assim contribuir numa redução significativa dos custos na aquisição.

### Introdução

Dados sísmicos terrestres, em geral, tem amostragem espacial inadequada devido as dificuldades na aquisição e em alguns casos também devido a limitação de recursos. Estudos de otimização de custos da aquisição sísmica podem envolver o conhecimento prévio dos alvos geológicos que se pretende mapear (estudos em detalhe ou regionais), o uso de sistemas de aquisição modernos com maior precisão e flexibilidade, e a aplicação de técnicas modernas de processamento de dados sísmicos.

Recentemente foram introduzidas diversas técnicas de regularização e interpolação multidimensional de dados sísmicos com geometria irregular e subamostragem espacial (esparsos). Essas técnicas regularizam a amostragem espacial, interpolam traços ausentes, melhoram a qualidade dos dados prestack e dos resultados das técnicas de processamento de dados no domínio tempo-espaco, em especial da migração pré-empilhamento.

O uso de técnicas modernas de regularização e processamento de dados sísmicos visando a redução dos custos na aquisição tem sido abordado em vários trabalhos, dos quais citamos somente alguns. Abma

(2009) descreve as potencialidades dos métodos de interpolação multidimensional baseados na transformada de Fourier como ferramentas para reduzir custos na aquisição e melhorar a resolução das imagens sísmicas. Zhen et al., (2013) apresenta testes de regularização 5D em dados sísmicos 3D dizimados e com diferentes malhas de processamento, e mostra que a regularização 5D aplicados em dados esparsos pode obter resultados com qualidade similar aos dados adquiridos com geometria mais densa. In Crook et al., (2013) também por meio de testes em dados dizimados apresenta-se um estudo de estratégias de aquisição 3D em combinação com a interpolação 5D.

Por outro lado, o método de empilhamento *common-reflection-surface* (CRS) é frequentemente utilizado para melhorar a qualidade e resolução das imagens sísmicas a partir de baixa qualidade e baixa cobertura. Em Gierse et al., (2007) foram realizados testes do empilhamento CRS em dados 3D dizimados simulando aquisições de dados esparsos, cujos resultados tiveram qualidade similar ao obtido a partir do dado original, implicando que o método CRS pode obter imagens de boa qualidade mesmo a partir de dados esparsos adquiridos com menores custos.

Neste trabalho, apresentamos um estudo de reconstrução de dados prestack e melhoramento da qualidade e resolução das imagens migradas visando a redução de custos da aquisição de linhas sísmicas 2D na bacia do Parnaíba. O estudo consiste na aplicação e comparação de duas técnicas modernas de regularização e interpolação de dados sísmicos para a reconstrução de dados esparsos simulados por meio da dizimação de tiros de uma linha sísmica adquirida com fontes sísmicas num grid denso.

Serão realizados testes regularização e interpolação multidimensional de dados sísmicos com método *Minimum Weighted Norm Interpolation* or MWNI (Liu and Sacchi, 2004) que está baseado na reconstrução de dados esparsos a partir dos coeficientes de Fourier. Também realizaremos testes com o método de interpolação e regularização de dados desenvolvido com base no método CRS (Baykulov and Gajewski, 2009). Este método é utilizado para melhorar a qualidade e resolução dos dados sísmicos prestack esparsos (baixa cobertura) e com baixa qualidade (Garabito et al., 2015). Serão comparados os resultados da regularização com ambos métodos com o objetivo de verificar os limites de aplicabilidade em dados esparsos que podem ser adquiridos com custos menores.

### Aspectos teóricos

O método MWNI (Liu & Sacchi, 2004) foi introduzido para a regularização e interpolação dados sísmicos com banda limitada, aplicado no domínio do espaço multidimensional, onde para cada frequência temporal do dado se estimam os coeficientes de Fourier que sintetizam os dados no espaço multidimensional através da solução de um problema inverso. Este método é aplicável em dados muito esparsos, evitando falseamentos, preservando as amplitudes relativas dos dados e é relativamente rápido. Aqui aplicaremos o método MWNI para a reconstrução de dados sísmicos 2D no espaço das coordenadas de fontes e receptores.

Neste trabalho também aplicaremos a reconstrução de dados sísmicos 2D por meio do método CRS. Presumindo conhecidos os parâmetros ou atributos CRS, a interpolação e regularização usando o operador CRS é realizado no espaço ponto-médio e meio-afastamento

Considerando um traço sísmico a ser reconstruído localizado no grid regular de saída, a amplitude de uma amostra temporal resulta do empilhamento local das amplitudes dos traços vizinhos ao longo do operador CRS. Da repetição dessa operação resultará o dado sísmico prestack regularizado. Salienta-se que a principal dificuldade deste método é a determinação dos atributos CRS a partir dos dados e que é realizado por meio de algoritmos de otimização global (Garabito et al., 2012). Este método também é aplicado em dados muito esparsos, com baixa qualidade, mas não preserva amplitudes e é computacionalmente caro.

### Parâmetros do dado e processamento padrão

No histórico dos diversos levantamentos sísmicos na Bacia do Parnaíba, houve uma diminuição dos intervalos de estações e dos intervalos de tiros, número de furos, além da diminuição da quantidade total de explosivo e em contrapartida houve um expressivo aumento do número de canais. Normalmente, na utilização de explosivo como fonte sísmica, há problemas ambientais, gastos maiores com permissões, retornar à área para retirar ou detonar as cargas que falharam durante a aquisição, fechamento dos furos, etc., portanto, quanto menor número de furos e menor carga de explosivos menor será o custo.

A aquisição sísmica mais recente (2015) foi realizada utilizando um arranjo split-spread com 200 canais, intervalo entre estações de 25m e intervalo entre fontes de 25m. O offset mínimo é de 25 e o máximo de 2500m, com fold de 100 traços. Em cada estação receptora foi usado um único geofone e cada fonte consistiu de um único furo de 3m e carga de 1kg de dinamite. Utilizaremos uma linha sísmica adquirida com esses parâmetros para fazer os testes de reconstrução.

Com o objetivo de diminuir o custo da aquisição sísmica em levantamentos regionais da referida bacia, fizemos algumas simulações no processamento com o dado adquirido com intervalo entre fontes de 25m como se tivesse sido adquirido com intervalo entre fontes de 50m, 75m e 100m, mantendo-se sempre o intervalo de estações receptoras de 25m. Ou seja, foram obtidos subconjuntos de dados dizimando-se seções com fonte-

comum. O dado original tem 490 registros e 95501 traços, o subconjunto com 50m tem 218 registros e 42375 traços, o subconjunto de 75m tem 146 registros e 28384 traços e o subconjunto de 100m tem 108 registros validos e 20987 traços.

Foi utilizado o seguinte fluxograma de processamento para todos os subconjuntos de dados: 1) Correções Estáticas de Primeiras Quebras, 2) Correção da Divergência Esférica, 3) Atenuação de Amplitudes Anômalas, 4) Atenuação de Ruídos Coerentes (Domínio do Tiro), 5) Deconvolução Spike, 6) Análise de Velocidades, 7) Correções Estáticas Residuais, 8) Correções Estáticas Trim, 9) correção NMO, 10) análise e aplicação de mute, 11) Empilhamento, 12) Migração, 13) Atenuação de Ruídos Coerentes, 14) Filtragem de frequência.

A separação de cada versão da linha teste foi feita logo após a geometria e pick das primeiras quebras. A partir daí todo o fluxo foi feito independente para cada versão, inclusive o cálculo das correções estáticas e as interpretações das velocidades. Na figura 1 é mostrada a imagem migrada final do dado original e que serve como referência para nosso estudo. Na Figura 2 são mostradas as seções finais migradas para os três subconjuntos de dados (50m, 75m e 100m). Acima de cada seção é mostrado o gráfico da cobertura que é irregular por causa dos tiros perdidos e traços ausentes.

Os objetivos geológicos da exploração sísmica na bacia do Parnaíba são o mapeamento dos reservatórios nos arenitos das formações Piauí, Poti e Cabeças, traçados por saltos de soleiras de diabásio. Apesar da perda de qualidade, as imagens mostram que até o intervalo de tiros de 100m é possível mapear com certo grau de segurança as estruturas formadas pelas camadas de diabásio, o que possibilita em linhas de reconhecimentos, usar estes parâmetros mais abertos com o objetivo de reduzir em aproximadamente 15 a 20% dos custos operacionais.

### Regularização e interpolação de dados 2D

Os dados prestack de entrada para os dois métodos de reconstrução de dados resultam do processamento padrão aplicado até a etapa 8 do fluxograma apresentado anteriormente. Em todos os resultados prestack regularizados e interpolados com ambos os métodos citados foram aplicadas as demais etapas do fluxograma (etapas 9 a 14).

Na Figura 1 mostra-se a imagem migrada em tempo obtida a partir do processamento do dado original (não dizimado). Na parte superior desta figura mostra-se o gráfico da cobertura (*fold*) que é variável ao longo da linha sísmica. Este resultado mostra uma boa qualidade, alta razão sinal-ruído, com eventos de reflexão bem definidos e contínuos correspondentes as formações de interesse.

Na Figura 2 mostra-se os resultados obtidos a partir dos dados dizimados para simular o intervalo entre fontes de 50m. As Figuras 3a, 3b e 3c são imagens migradas que correspondem ao dado original dizimado, ao dado regularizado pelo método MWNI e ao dado regularizado pelo método CRS, respectivamente.

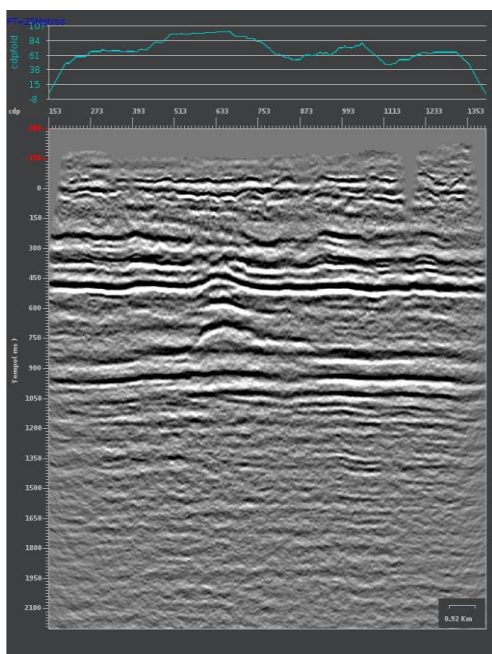


Figura 1 - Imagem migrada post-stack em tempo obtida a partir dos dados originais não dizimados. O gráfico na parte superior mostra a cobertura (fold) ao longo da linha.

Nas Figuras 3 e 4 mostram-se os resultados obtidos para os subconjuntos com intervalos entre fontes de 75m e 100m, respectivamente. As Figuras 3a e 4a foram obtidas a partir dos dados originais dizimados. As Figuras 3b e 4b resultaram a partir dos dados regularizados com o método MWNI. As Figuras 3c e 4c foram obtidos a partir dos dados regularizados com o método CRS.

Comparando-se os resultados obtidos, observa-se que o processo de dizimação degradou de modo cumulativo os resultados mostrados nas Figuras 2, 3 e 4, o que já era esperado pois houve redução da cobertura do dado de entrada. Há uma clara perda na razão sinal/ruído, ao longo de toda a seção, quando se compara a Figura 1 com as Figuras 2a, 3a e 4a.

Nas Figuras 2b, 3b e 4b, onde a cobertura foi recuperada com o método MWNI, houve alguma perda de qualidade na parte rasa das seções 3b e 4b quando comparadas com a Figura 2b. Este fato é compreensível, pois a redução de cobertura do processo de dizimação soma-se à redução de cobertura devida ao silenciamento (mute) dos traços de longos offsets. Nos tempos dos objetivos de interesse, entretanto, houve preservação da razão sinal/ruído e as reflexões permaneceram igualmente robustas nas três seções.

Comentário análogo pode ser feito para os resultados mostrados nas Figuras 2c, 3c e 4c, onde a cobertura foi recuperada com o processo de regularização CRS. A parte rasa das seções mostram ligeira degradação, mas, nos tempos dos objetivos de interesse houve preservação da razão sinal/ruído e as reflexões igualmente robustas nas três seções.

## Conclusões

Os resultados dos testes mostraram que é possível diminuir o esforço exploratório na aquisição dos dados sísmicos regionais, com perda de qualidade aceitável para a identificação de oportunidades exploratórias ao nível do objetivo e que deverão ser detalhados em uma etapa posterior.

A utilização de técnicas modernas de regularização tipo MWNI com posterior reforço da técnica CRS são capazes de recuperar significativamente a qualidade dos dados com tiros mais esparsos e, na nossa opinião, pode-se usar até o intervalo de 100m entre tiros quando se trabalha numa fase de reconhecimento exploratório, na bacia do Parnaíba.

Ambas as técnicas de interpolação – CRS e MWNI – respeitam o conteúdo das informações originais do dado sísmico, excetuando-se, naturalmente, a seção muito rasa, onde o “muting” do dado é mais intenso e a dizimação do dado original pode levar a uma redução drástica da cobertura cdp.

## Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Brasil, e pela Parnaíba Gás Natural, por meio da Cláusula de Investimentos em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, constante dos contratos para Exploração, Desenvolvimento e Produção de Petróleo e Gás Natural.

## Referências

- Abma, R. L., (2009), Developments in seismic interpolation and regularization and their applications to acquisition and processing. 71st EAGE Conference & Exhibition, Amsterdam, The Netherlands.
- Baykulov, M. and Gajewski, D., 2009, Prestack seismic data enhancement with partial common reflection-surface (CRS) stack. *Geophysics*, **74**, V49-V58.
- Crook, A.J., Memeth, B., Escalante, C., Ross, L., and Zheng Ye., 2013, 3D Design for Interpolation: A Decimation Case Study, presented at GeoConvention, Calgary, Alberta.
- Garabito, G., Stoffa, P.L., Lucena, L.S., Cruz, J.C.R., 2012. Part I - CRS stack: Global optimization of the 2D CRS-attributes. *Journal of Applied Geophysics*, **v85**, p.92-101.
- Garabito, G., Schots, H., Ferreira, D., and Caldeira, J., 2015, Regularization of 2D seismic data by using the CRS stacking operator: Application in real low-fold land data. 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society: pp. 1114-1116.
- Gierse, G., Stroyk, B., Thiessen, J., and Weber, U., 2007, Using CRS Processing to Design a Sparse 3D Acquisition Geometry. EAGE 69th Conference & Exhibition, London, UK.
- Liu, B., and Sacchi, M.D., 2004, Minimum weighted norm interpolation of seismic records. *Geophysics*, **69**, 1560-1568.
- Zheng, Ye., Ross, L., Nemeth, B., Escalante, C., Crook, A., and Millis, K., 2013, Maximizing the value of sparse 3D seismic data by prestack trace interpolation, SEG Technical Program Expanded Abstracts: pp. 3613-3617.

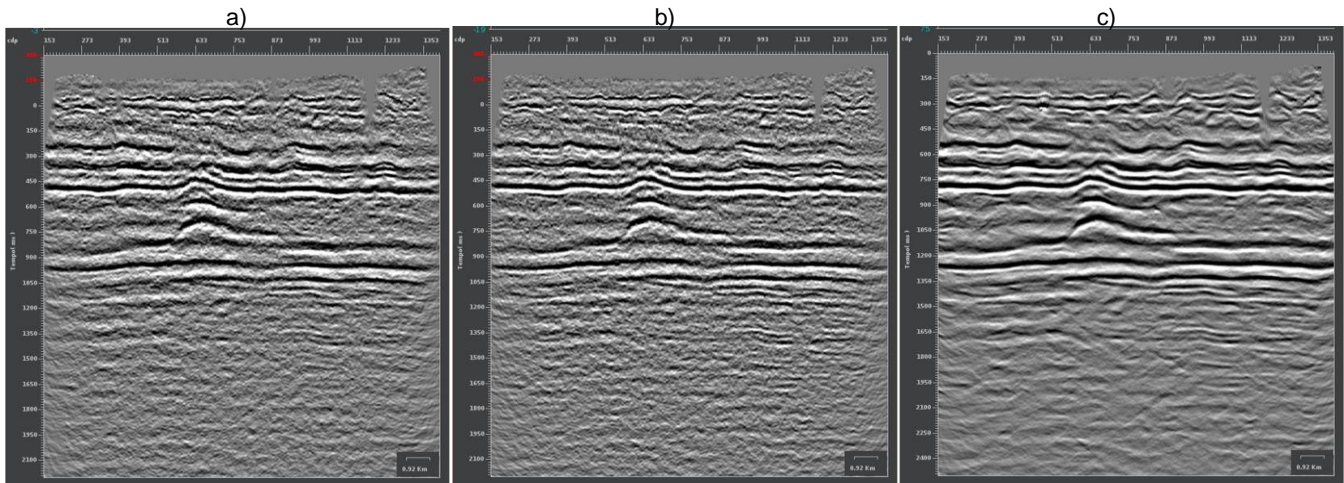


Figura 2 - Imagens migradas post-stack em tempo obtidas a partir dos dados dizimados para simular o intervalo entre fontes de 50m. a) original, b) MWNI e c) CRS

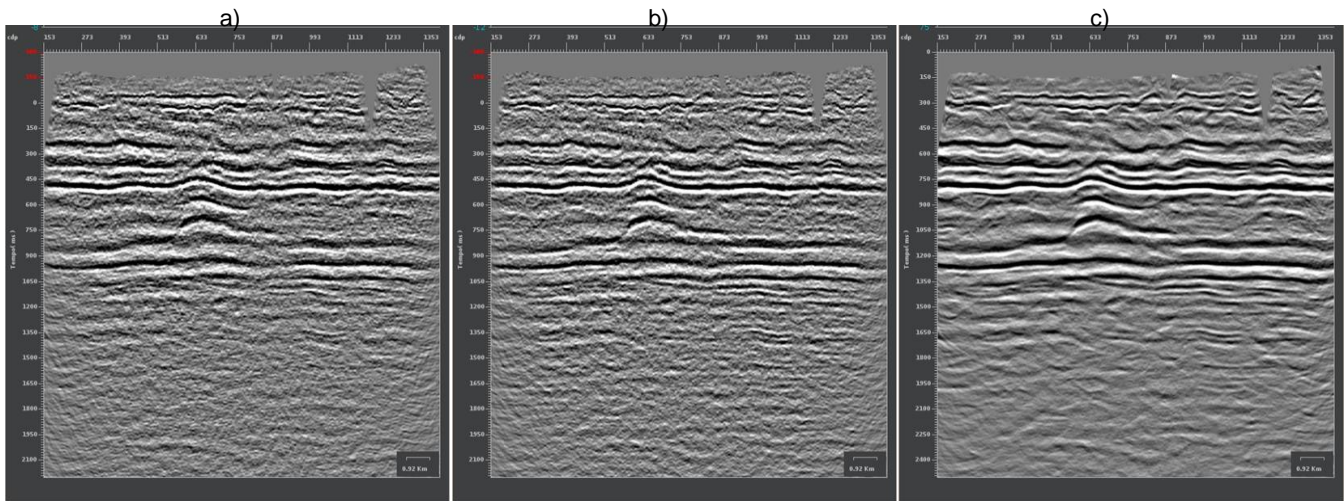


Figura 3 - Imagens migradas post-stack em tempo obtidas a partir dos dados dizimados para simular o intervalo entre fontes de 75m. a) original, b) MWNI e c) CRS.

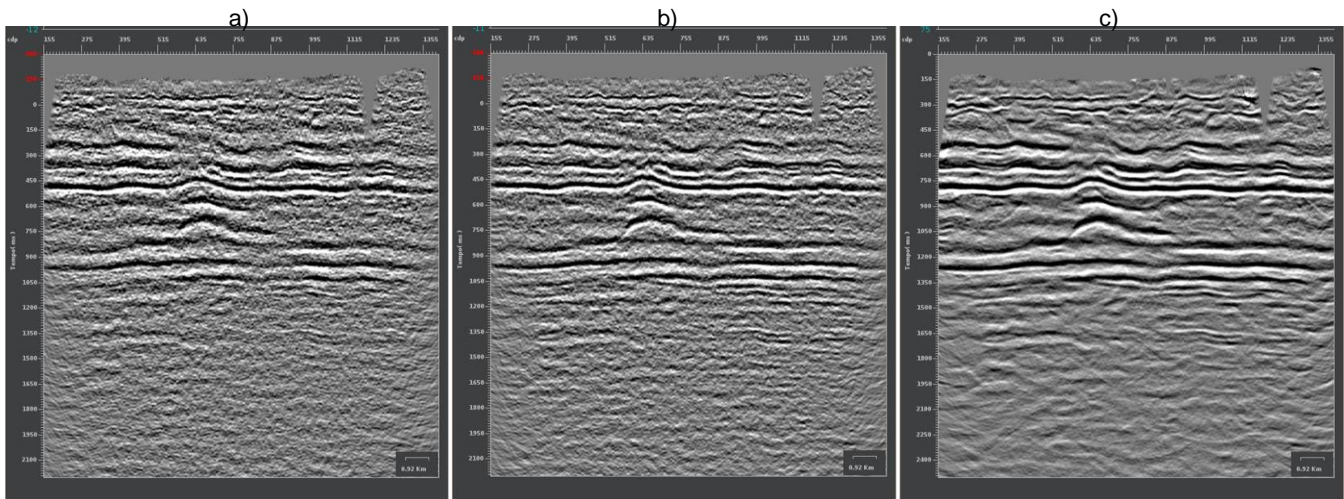


Figura 4 - Imagens migradas post-stack em tempo obtidas a partir dos dados dizimados para simular o intervalo entre fontes de 100m. a) original, b) MWNI e c) CRS.