

COMPARAÇÃO DE APROXIMAÇÕES NÃO-HIPERBÓLICAS DE TEMPOS DE TRÂNSITO DE DADOS SÍSMICOS MULTICOMPONENTE UTILIZANDO DIFERENTES ALGORÍTMOS DE OTIMIZAÇÃO

NELSON R. C. F. ZUNIGA¹

¹ Doutorando em Geofísica, IAG-USP, nelson.zuniga@iag.usp.br.
Ciências Exatas e da Terra

Apresentado no
2º Congresso de Pós-Graduação do IFSP
06 a 09 de novembro de 2017 - Cubatão-SP, Brasil

RESUMO: O processamento de dados sísmicos multicomponente é um desafio quando se trata da análise de velocidades em levantamentos *offshore*, e a dificuldade aumenta quando utilizada a tecnologia *Ocean Bottom Nodes*. A assimetria no traçado de raios causada pela conversão de onda compressional em onda cisalhante e a diferença de *datum* entre fonte e receptor geram uma não-hiperbolicidade no evento de tempos de trânsito de onda sísmica. Longos afastamentos fonte-receptor e a complexidade estrutural do modelo do pré-sal da bacia de Santos também contribuem para que o evento seja fortemente não-hiperbólico. Com o intuito de solucionar este problema, foram utilizadas três equações não-hiperbólicas multiparamétricas para que seja possível caracterizar este comportamento. Devido à quantidade de variáveis presentes em cada equação, o estudo foi tratado como um problema inverso segundo um critério de otimização, utilizando três algoritmos de busca diferentes. Para compreender o comportamento de cada equação foi feita a análise de complexidade da topografia de função objetivo utilizando norma L1 e L2. Dessa maneira, foi possível determinar a combinação de equação e algoritmo de otimização apresentou os melhores resultados e melhores tempos de processamento para o modelo analisado.

PALAVRAS-CHAVE: sísmica; não-hiperbólico; inversão.

COMPARISON OF NONHYPERBOLIC TRAVEL-TIME APPROXIMATIONS OF MULTICOMPONENT SEISMIC DATA USING SEVERAL OPTIMIZATION ALGORITHMS

ABSTRACT: The multicomponent seismic data processing is a challenge concerning the velocity analysis for offshore surveys, and the difficulty increases when the Ocean Bottom Nodes technology is used. The ray tracing asymmetry caused by wave conversion from compressional wave to shearing wave, and the difference of datum between source and receptor generate a nonhyperbolicity in the travel-time event of a seismic wave. Large offsets between source and receptors and the structural complexity of the pre salt model from Santos basin also contribute to the event be strongly nonhyperbolic. Aiming to solve this problem, three nonhyperbolic multiparametric equations are used to characterize this behavior. As the equations have many variables, the study was treated as an inverse problem according an optimization criterion. Three optimization algorithms were used to accomplish the curve fitting. To understand the behavior of each equation, it was performed the complexity analysis of the objective function topography using L1-norm and L2-norm. Hence, it was possible to determine which combination of equation and optimization algorithm shown the best results and the lower processing time for the studied model.

KEYWORDS: seismic; nonhyperbolic; inversion.

INTRODUÇÃO

As aproximações de tempos de trânsito são importantes para o processamento de dados sísmicos, mais especificamente quando aplicados à análise de velocidades e correção de sobretempo normal. Para meios homogêneos com curtos afastamentos, sem diferença de *datum* entre fonte e receptor, e para eventos de reflexão PP (nos quais a onda incide e emerge como onda compressional), pode ser utilizada a equação da hipérbole. Entretanto, a aproximação hiperbólica não é válida para meios estratificados, com longos afastamentos e diferença de *datum* entre fonte e receptor, e para ondas que incidem como onda P e são convertidas refletindo como onda cisalhante (onda PS). A não-hiperbolicidade gerada por esses fatores pode ser controlada utilizando equações que consideram essas características, e assim sendo possível recuperar os parâmetros almejados.

Diversas equações foram criadas para caracterizar diferentes causas da não-hiperbolicidade. Porém, a maioria delas não é proposta para as condições aqui estudadas, pois a sísmica multicomponente (eventos PP e PS) e a tecnologia *Ocean Bottom Nodes* (OBN), que permite a obtenção de ondas S no mar e gera diferença de *datum* entre fonte e receptor, vêm sendo estudadas apenas recentemente (GOLIKOV & STOVAS, 2012).

Neste trabalho, foi proposta a análise de velocidades como um problema inverso segundo um critério de otimização para obter os parâmetros de velocidade de onda, tempo e parâmetros adicionais, onde foram comparadas as curvas calculadas com as registradas nos receptores. Além disso, foi feita a análise de topografia de função objetivo para compreender a complexidade de cada equação durante a otimização.

MATERIAL E MÉTODOS

As equações não-hiperbólicas multiparamétricas utilizadas foram as propostas por MALOVICHKO (1978), que considera meios estratificados; por BLIAS (2009), que considera longos afastamentos; e por LI & YUAN (2003), que considera conversão de onda. Os algoritmos de otimização utilizados são o Nelder-Mead, *Compressed Row Storage* (CRS) e Genético.

Os dados estudados são provenientes de um modelo *offshore* com camadas estratificadas do pré-sal da Bacia de Santos, com longos afastamentos, utilizando tecnologia OBN e sísmica multicomponente.

Foi feita a análise de complexidade de função objetivo pelo estudo da topografia de cada equação para os eventos PP e PS com norma L2 e L1. A curva de tempos de trânsito calculada foi subtraída da curva registrada para analisar o tempo de trânsito residual e, assim, determinar a equação que apresentou os melhores resultados durante a inversão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A equação proposta por LI & YUAN (2003) apresentou para todas as condições os melhores resultados e o segundo melhor tempo relativo de processamento. A equação de BLIAS (2009) apresentou o segundo melhor conjunto de resultados e o pior tempo relativo de processamento. A equação de MALOVICHKO (1978) apresentou o pior conjunto de resultados, porém o melhor tempo de processamento. O algoritmo de otimização Nelder-Mead apresentou o menor tempo de processamento, porém os piores resultados, CRS apresentou o segundo melhor tempo de processamento e o segundo melhor resultado. No caso do algoritmo genético, esse obteve o melhor resultado, porém o mais elevado tempo de processamento.

Na Figura 1 foi possível observar que a equação proposta por MALOVICHKO (1978) é unimodal (apresenta apenas região de mínimo global) em todos os casos. A equação de BLIAS (2009) apresentou um comportamento multimodal (apresenta regiões de mínimo global e local) para os eventos PP e PS com norma L2, porém para a norma L1 apresentou um comportamento unimodal. No caso da Equação de LI & YUAN (2003), foi observado um comportamento multimodal em todos os casos. Cada equação apresenta uma forte variação estrutural de topografia, porém uma diferença mais sutil do evento PP para o evento PS. Além disso, apresenta uma diferença no gradiente das curvas de contorno de norma L2 para L1.

CONCLUSÕES

A equação de LI & YUAN (2003), em conjunto com o algoritmo de otimização CRS, apresentou o melhor conjunto de resultados com um tempo de processamento viável. Mesmo com o pior conjunto de

resultados, a equação de MALOVICHKO (1978) é muito eficiente e teve um erro relativo baixo, e por ser unimodal, não exige um algoritmo de otimização tão robusto. Dessa maneira, recomenda-se o algoritmo Nelder-Mead para esse caso. Todas as equações apresentaram melhora no tempo de processamento variando de 13% a 90% e uma pequena melhora (da ordem de 0.1%) na qualidade dos resultados utilizando a norma L1, porém a equação de BLIAS (2009) demonstrou uma grande melhoria, pois utilizando norma L1, deixa de ser multimodal.

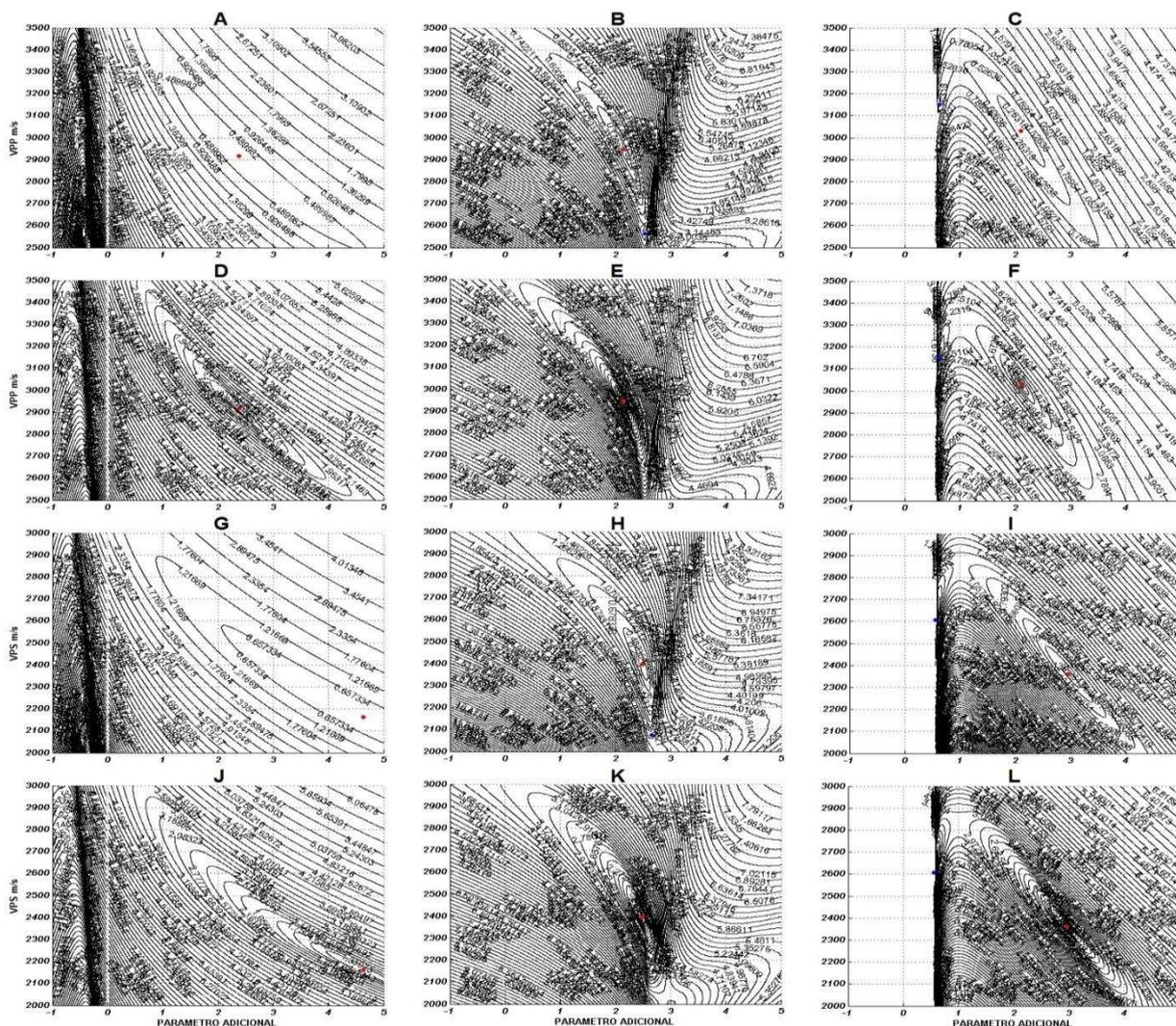


FIGURA 1. Mapas residuais de função objetivo mostrando a complexidade das equações. (A) MALOVICHKO, (B) BLIAS, e (C) LI & YUAN para (A, B e C) o evento PP com norma L2, (C, D e E) evento PP com norma L1, (F, G e H) evento PS com norma L2 e (I, J e K) evento PS com normal L1. As dispersões em vermelho representam as regiões e mínimos globais e as azuis de mínimos locais.

REFERÊNCIAS

- BLIAS, E. Long-offset NMO approximations for a layered VTI model: Model study. In: 79th Annual International Meeting: Society of Exploration Geophysics, 2009. **Expanded Abstract...**, 2009.
- GOLIKOV, P.; STOVAS, A. Accuracy comparison of nonhyperbolic moveout approximations for qP-waves in VTI media. **Journal of Geophysics and Engineering**. Vol. 9, 428–432, 2012.
- LI, X. Y.; Converted-wave moveout analysis revisited: The search for a standard approach, 73rd Annual internat. Mtg. Soc. Expl. Geophysics, **Expanded Abstract**, p. 805-808, 2003.
- MALOVICHKO, A. A. A new representation of the traveltime curve of reflected waves in horizontally layered media. **Applied Geophysics** (in Russian), v. 91, n. 1, p. 47-53, 1978.