



## Migração RTM orientada ao alvo

João Batista Boechat<sup>1</sup>, Djalma Manoel Soares Filho<sup>1</sup>, Paulo Eduardo Miranda Cunha<sup>1</sup>, André Bulcão<sup>1</sup> e Webe João Mansur<sup>2</sup>, PETROBRAS e LAMEC/PEC/COPPE/UFRJ

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility 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

In this paper, we introduce a reverse time migration (RTM) scheme using the concept of controlled illumination in order to improve the seismic imaging of exploration targets localized under high complex geological structures, such as areas subject to intense compressional regimes. Synthesis operators are specially designed from upward wavefield propagations in order to guarantee the seismic illumination around the areas of interest. The use of the acoustic wave equation without high frequency approximations and its solution through finite differences techniques make our method adequate to cope with strong lateral velocity variation and steep dipping events. We perform some numerical experiments on a typical model of San Alberto field in Bolivia. Reservoirs located under intense tectonic deformed layers and high dipping interfaces were properly imaged using less the 5% of the time to migrate using the conventional scheme, in which each and every shot is migrated individually.

### Introdução

Um dos grandes desafios exploratórios atuais diz respeito à melhoria de interpretação em alvos profundos localizados abaixo de camadas intensamente deformadas. Zonas de interesse sob espessas camadas de sal, como as encontradas na Bacia de Santos, e as localizadas abaixo de camadas com grandes complexidades estruturais, como no caso do campo de San Alberto (Bolívia), são exemplos de alvos exploratórios que requerem algoritmos de imageamento sísmico sofisticados. Nestes casos, os métodos de migração pré-empilhamento em profundidade baseados na equação da onda sem aproximações assintóticas são os mais indicados por não exigirem variações suaves no campo de velocidade. Contudo, a demanda de recursos computacionais para a realização desse tipo de migração nem sempre é compatível com o processo exploratório.

Neste contexto, muitos trabalhos foram realizados visando à redução do tempo de execução desses projetos. Taner (1976), Schultz e Clearbout (1978) foram os pioneiros na síntese de ondas planas na superfície. Berkhout (1992) propôs a tecnologia de múltiplas fontes

(**areal shot records**), a qual permite a síntese de frentes de onda, não necessariamente planas, em todas as partes do modelo. Rietveld e Berkhout (1994) propuseram um método de migração em profundidade usando o conceito de iluminação controlada. Romero *et al* (2000) introduziram o método *phase encoding* de registros de tiro na migração pré-empilhamento. Wang *et al* (2001) introduziu o conceito de multi-iluminação controlada. Zhang *et al* (2003) apresentaram a formulação para migração em profundidade de *delayed shots*. Cunha e Palermo (2003) generalizam o conceito de migração reversa no tempo para sínteses de *ondas planas* na superfície.

Neste trabalho, apresentamos um método de migração reversa no tempo no qual frentes de onda de formas pré-definidas incidem nas interfaces de interesse.

Experimentos numéricos foram realizados num modelo típico do campo de San Alberto – Bolívia, no qual os refletores de interesse (interfaces anticlinais) encontram-se sob espessas camadas intensamente deformadas por processos tectônicos compressoriais. Num trabalho conjunto submetido a este evento exibimos os resultados de experimentos em modelos que envolvem tectônica salífera (Boechat *et al*, 2005).

### Método

Dado o campo de ondas registrados em superfície, relativo a estação de tiro localizada em  $(x_i, z = 0)$ ,  $u(x, z = 0, t; x_i)$ , a família de múltiplas fontes correspondente a frente de onda definida pela curva  $z = f(x)$ , é dada pelo somatório de convoluções:

$$\tilde{u}(x, z = 0, t) = \sum_{i=1}^{N_s} \gamma(x_i, z = 0, t) * u(x, z = 0, t; x_i),$$

onde  $N_s$  denota o número total de famílias de tiro comum e  $\gamma(x, z = 0, t)$  representa o operador de síntese.

Denotando por  $d(x, z = 0, t)$  o campo registrado em superfície proveniente de um campo de onda gerado em  $z = f(x)$ , o operador de síntese é dado por:

$$\gamma(x_i, z = 0, t) = d(x_i, z = 0, t) * s^{-1}(t),$$

onde  $s(t)$  é a assinatura da fonte.

Os elementos da matriz de tempo de trânsito usada na condição de imagem da migração,  $TD(x, z)$ , são dados pelos tempos de chegada de maior amplitude em cada ponto do modelo, relativo a propagação descendente do campo gerado em superfície usando  $d(x, z_0, t)$  como fonte.

A migração da família de múltiplas fontes definida pelo operador de síntese  $\gamma(x, z = 0, t)$  é obtida através da propagação descendente do campo  $\tilde{u}(x, z = 0, t)$ , ou seja,

$$m_\gamma(x, z) = \tilde{u}(x, z, t = TD(x, z)).$$

Portanto, a migração para um número N de famílias de múltiplas fontes é dada pelo somatório das migrações de cada família individualmente,

$$M(x, z) = \sum_{\gamma} m_\gamma(x, z).$$

### Experimentos numéricos

Simulamos um levantamento sísmico num modelo típico do campo de San Alberto - Bolívia (Figura 1), onde os objetivos exploratórios (anticlinais) estão sob espessas camadas submetidas a grandes esforços de empurrão. Modelamos 1201 famílias de tiro comum, separadas entre si de 5m. Consideramos uma geometria de *spread* fixo, com receptores espalhados ao longo da superfície, separados de 5 metros entre si. As modelagens foram realizadas através da solução da equação da onda acústica por técnica de diferenças finitas com aproximações de quarta ordem nas derivadas espaciais e segunda ordem na derivada com respeito ao tempo. Os sismogramas foram gerados com razão de amostragem de 0,4ms e o tempo total de registro foi de 2,8 segundos.

A Figura 2 exibe o modelo de velocidade e a curva utilizada na construção de um dos operadores de síntese considerados (Figura 3). A Figura 4 exibe a família de múltiplas fontes encontrada com a convolução entre o operador de síntese e os sismogramas modelados. A matriz de tempo de trânsito usada na condição de imagem foi encontrada extraindo-se os tempos de chegada do pulso de maior energia em todos os pontos do modelo. Cinco instantâneos do campo de onda foram extraídos durante a modelagem direta usando o operador de síntese como termo fonte (Figura 5a, b, c, d, e). A Figura 6 exibe o resultado da migração. Observe a boa qualidade da imagem encontrada com a migração de apenas uma família de múltiplas fontes! Apesar de alguns artefatos numéricos, o modelo foi recuperado satisfatoriamente. A Figura 7 exibe as curvas usadas na definição dos demais operadores de síntese considerados neste trabalho. A Figura 8 mostra o resultado da soma dos resultados encontrados com a migração reversa no tempo das 7 famílias de múltiplas fontes. Os objetivos (anticlinais) e quase a totalidade das interfaces do modelo foram recuperadas com

sucesso. Inclusive a interface horizontal que delimita o modelo por baixo apresenta-se com variações de amplitude totalmente compatíveis com os contrastes de velocidade.

### Conclusão

O método de migração reversa no tempo proposto neste trabalho mostrou-se robusto em experimentos numéricos realizados num modelo típico do campo San Alberto, Bolívia. Os resultados sugerem a adequação do método em contextos de alta complexidade estrutural, nos quais altas variações laterais de velocidade e interfaces refletoras com altos mergulhos estão presentes.

O método é cirúrgico, no sentido de ser orientado aos alvos exploratórios, fato este que contribui para a otimização dos custos computacionais, sem perda da qualidade da imagem migrada.

A extensão para abordagens em modelos elásticos isotrópicos e anisotrópicos pode ser realizada de forma semelhante.

Projetos de migração reversa no tempo tridimensional poderão ser viabilizados através do uso da tecnologia de múltiplas fontes orientadas exclusivamente às zonas de interesse.

Assim como todos os métodos de migração em profundidade, o aqui apresentado exige um macro-modelo de velocidade obtido por processos de inversão, tais como análise de foco e tomografia.

### Agradecimentos

A PETROBRAS pelo estímulo e apoio para a realização desta pesquisa.

### Referências

- Berkhout, A. J., 1992. Areal shot-record technology, J. Seis. Expl. 1, n. 3, 251-264.
- Boechat, J. B., Cunha, P.E.M., Soares Filho, D. M., Bulcão, A. e Mansur, W. J., 2005. Migração RTM orientada ao alvo: experimentos numéricos em modelos que envolvem tectônica salífera. Submetido ao 9º congresso da Sociedade Brasileira de Geofísica.
- Cunha, P. E. M. e Palermo, L. A. C., 2003. A Multi-Source version of the reverse time migration (RTM), 8th international Congress of the Brazilian Geophysical Society.
- Rietveld W. E. A. e Berkhout J., 1994. Prestack depth migration by means of controlled illumination, Geophysics, 59, 801-809.
- Romero, L. A., Ghiglia, D.C., Ober, C.C. and Morton, S. A., 2000, Phase encoding of shot records in prestack migration. Geophysics, 65, 426-436.

Schultz, P. S. e Clearbout, J. F., 1978. Velocity estimation and downward continuation by wavefront synthesis, *Geophysics*, 43, 691-714.

Soares Filho, D. M., Rosalba, J. F., Almeida, M. A., Chaves, R. D. e Aguiar, L. A. M., 1997. Seismic modeling with complex geology and topography, 5th International Congress of The Brazilian Geophysical Society.

Taner, M. T., 1976. Simplan: simulated plane-wave exploration, 46th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophysics., Expanded Abstracts, 186-187.

Wang, C. and Zhao, Bo, 2001. Pre-stack depth migration experiment with multi-controlled illumination, Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophysics., San Antonio, Texas, Expanded Abstracts.

Zhang, Y., Sun, J., Notfors, C., Gray, S., Cherns, L. and Young, J., 2003. Delayed shot 3D Prestack depth migration, 65<sup>th</sup> EAGE Conference & Exhibition, Extended Abstracts.

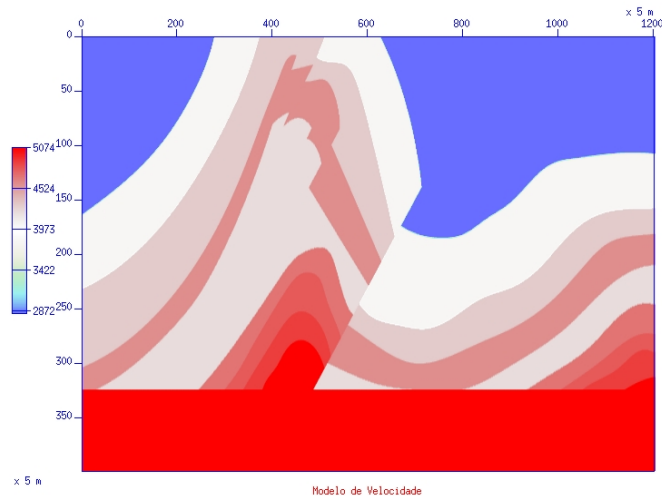


Figura 1. Modelo de velocidades típico do campo San Alberto, Bolívia

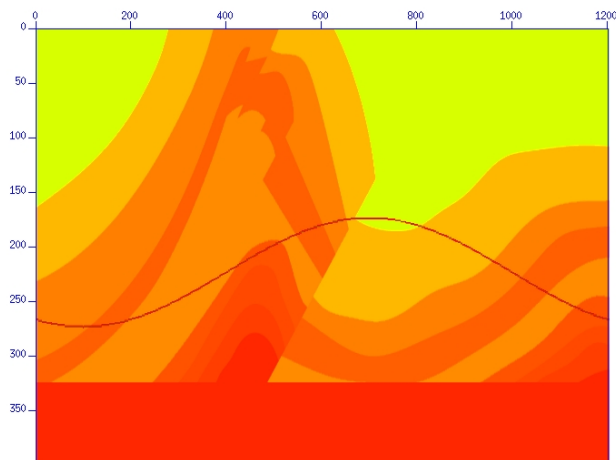


Figura 2. Modelo de velocidade e a curva que define o operador de síntese.

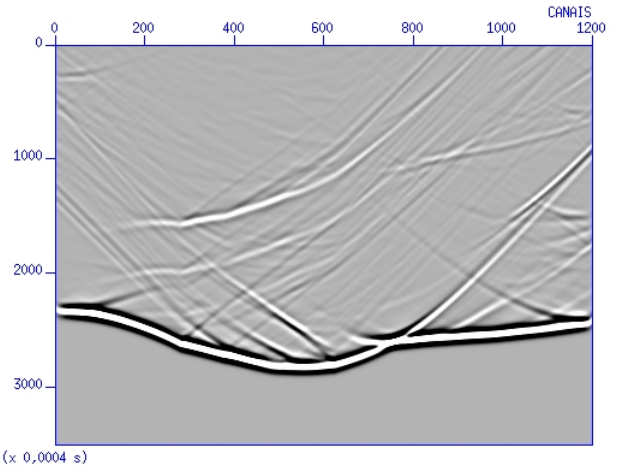


Figura 3. Operador de síntese (convolvido com a assinatura da fonte), relativo à curva da Figura 2.

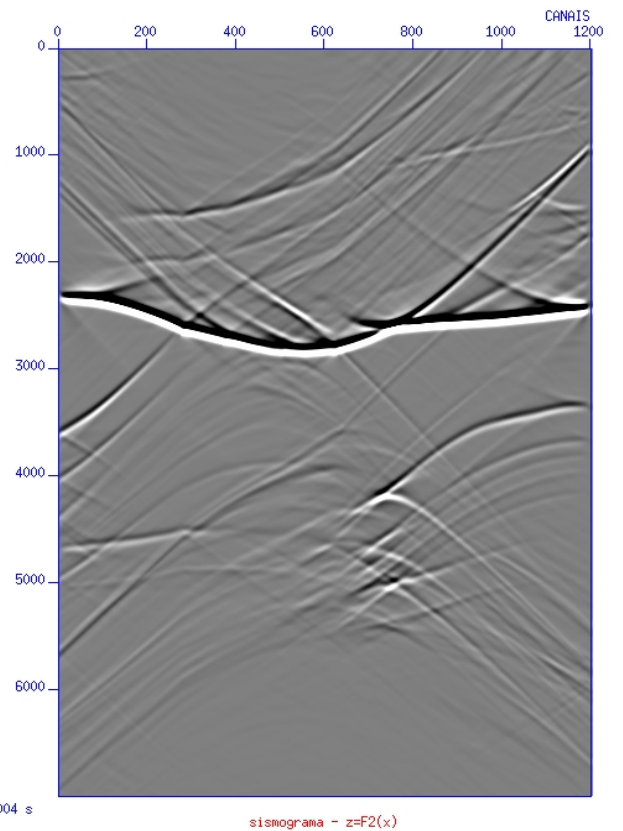


Figura 4. Família de Múltiplas fontes relativa ao operador de síntese mostrado na Figura 3.

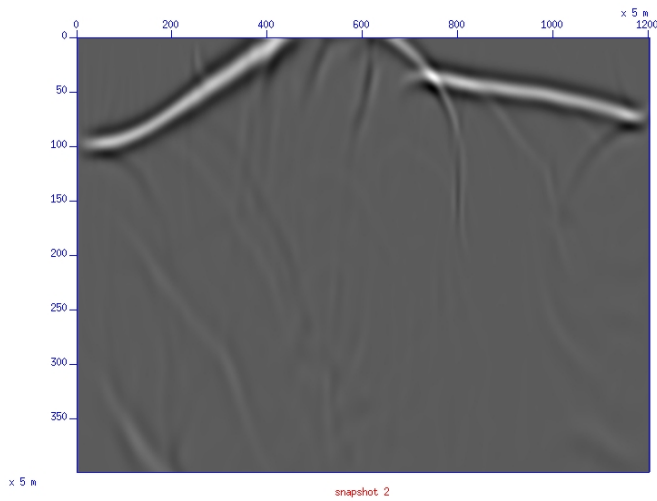


Figura 5a. Configuração da frente de onda. Instantâneo 1.

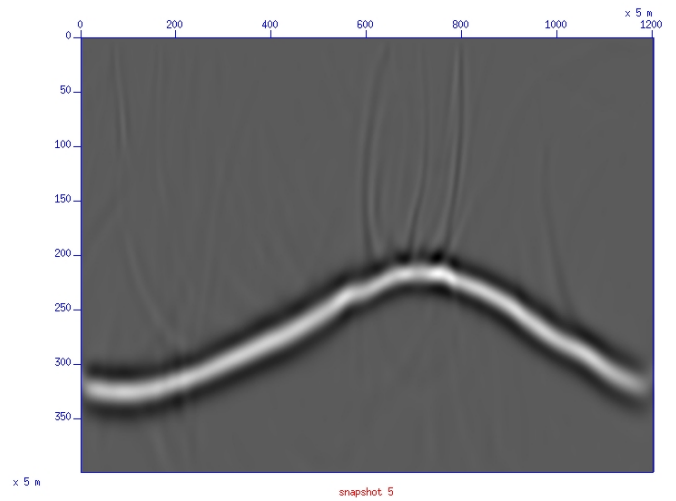


Figura 5d. Configuração da frente de onda. Instantâneo 4.

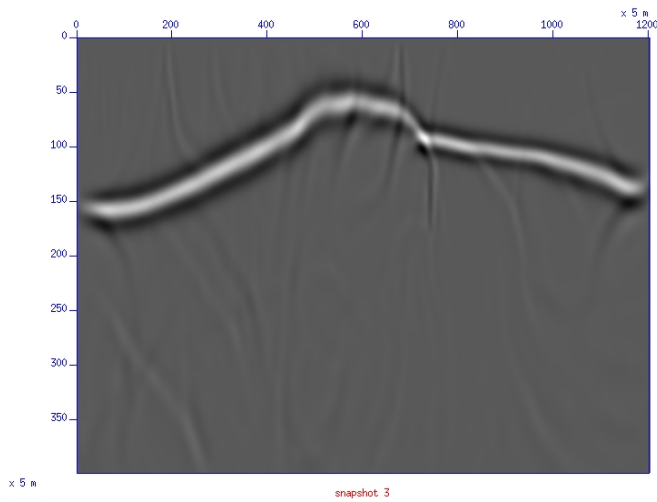


Figura 5b. Configuração da frente de onda. Instantâneo 2.

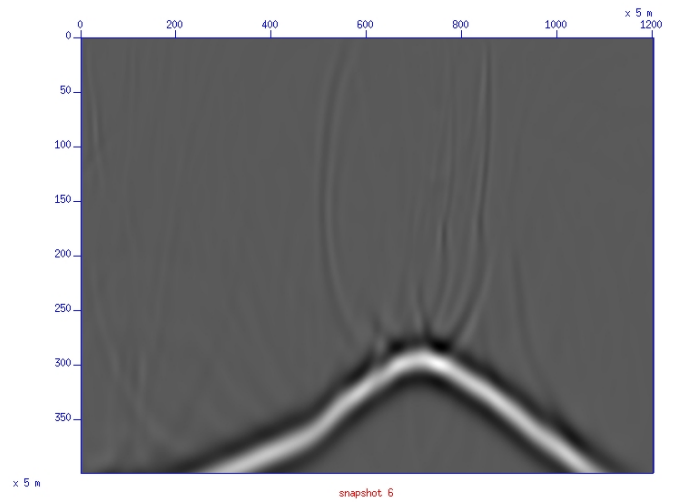


Figura 5e. Configuração da frente de onda. Instantâneo 5.

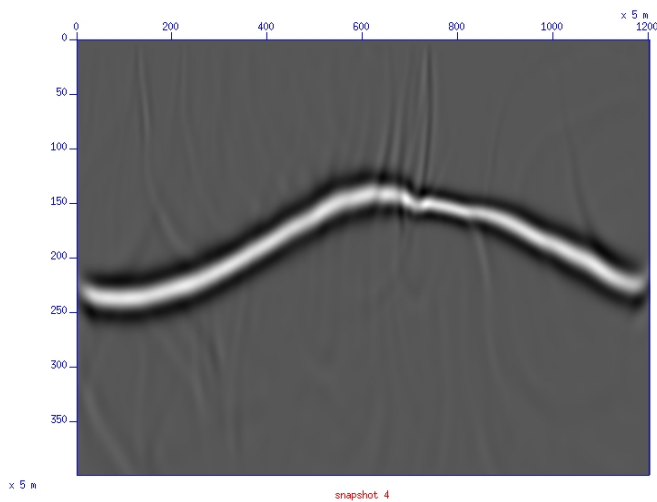


Figura 5c. Configuração da frente de onda. Instantâneo 3.

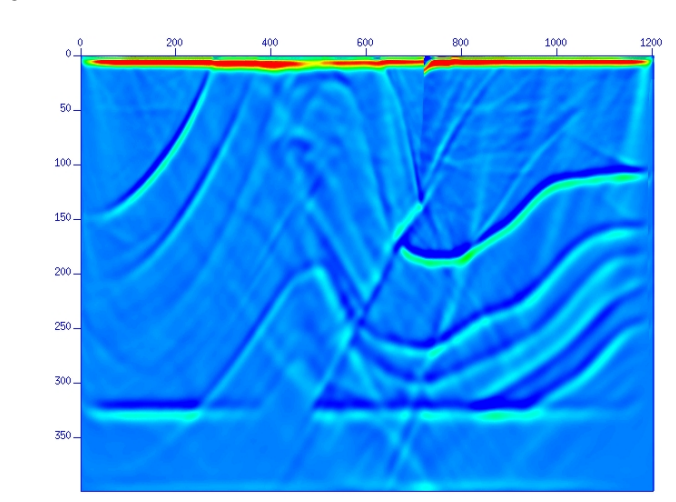


Figura 6. Resultado da migração da família de múltiplas fontes exibida na Figura 4.

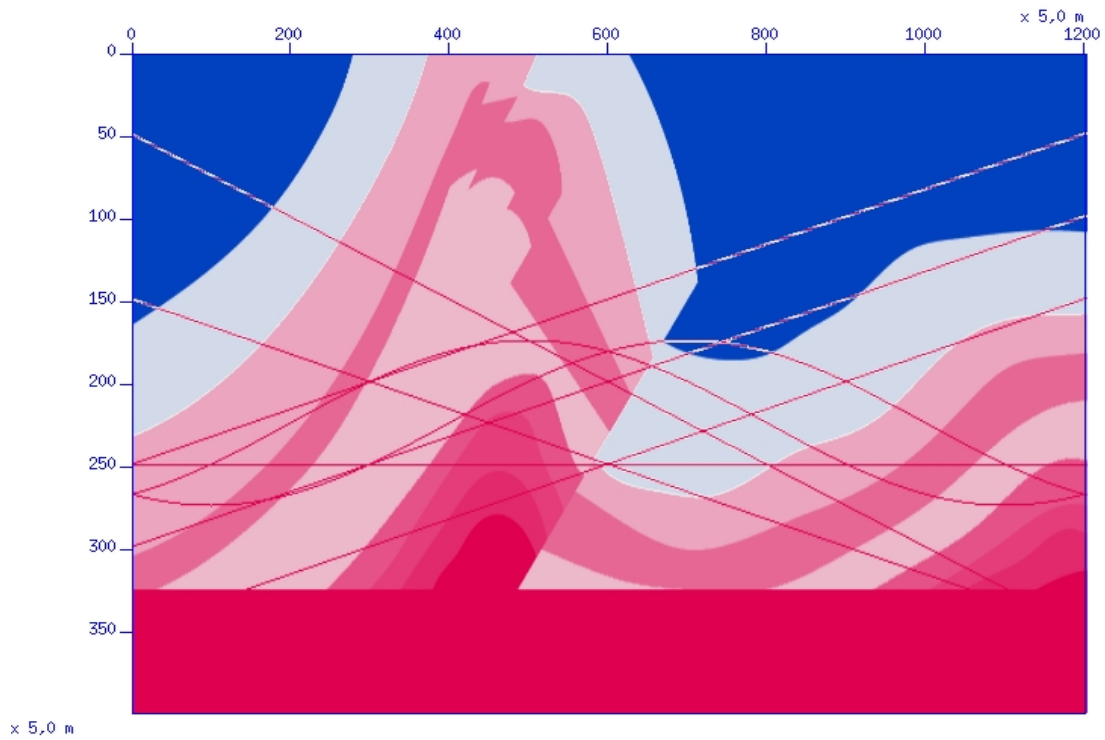


Figura 7. Modelo de San-Alberto – Bolívia e as curvas  $z = f_i(x)$  relativas às frentes de onda sintetizadas na migração reversa no tempo apresentada na figura abaixo.

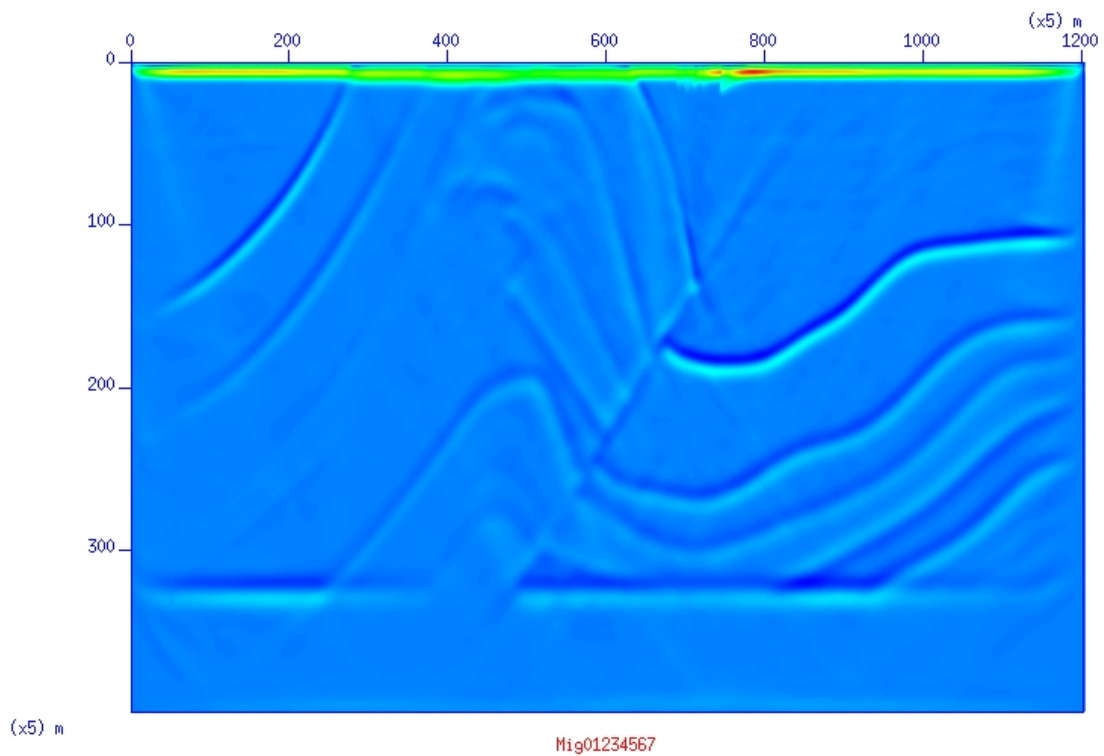


Figura 8. Resultado da soma das migrações reversas no tempo das 7 famílias de múltiplas fontes relativas às curvas  $z = f_i(x)$ .