



## Aquisição e Processamento em Dados de *Ground-Penetrating Radar* (GPR) COS e *Split-Spread*.

Gleide A. N. Dias\*, IGEO/UFRJ, Luciano A. Carvalho, IGEO/UFRJ, Paula F. da Rocha, IGEO/UFRJ, Marcos G. Guimarães, PETROBRAS

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.

### Resumo

Aquisições de dados de GPR *common offset* (COS) (monocanal) e *split spread* (multicanal), com antena de 100 MHz foram realizadas em um afloramento com uma seção geológica que é marcada por variações estruturais na forma de um *graben*. Os dados de radar foram processados com o pacote Vista 2D/3D seguindo um fluxo de processamento de pré-empilhamento com edição dos dados, correção estática, escalonamento, filtro variável com o tempo, análise de velocidade, correção NMO, mute, e pós-empilhamento com escalonamento, filtro variável com o tempo, filtro multicanal e migração. As seções finais são apresentadas em profundidade com os dados *split-spread* fornecendo uma maior representação das feições estruturais e litológicas do afloramento em comparação aos dados COS. A análise das técnicas de processamento de dados sísmicos para os dados de GPR em afloramentos vem a colaborar para o estudo de reservatórios em grandes profundidades, auxiliando em ajuste de parâmetros e verificando a eficácia dos processamentos sísmicos.

### Introdução

O método sísmico e o de radar são similares em princípio e métodos de aquisição. A sísmica usa fonte de energia acústica para gerar ondas mecânicas o qual se propagam na terra. E o método GPR usa energia elétrica para gerar ondas eletromagnéticas o qual são irradiadas na terra (Davis and Annan, 1985). Devido a esta similaridade, o GPR vem sendo utilizada na geologia do petróleo, corroborando para o estudo de análogos de reservatório aonde podemos citar os trabalhos de Knight and Tercier (1997), Szerbiak *et al.* (2001), Corbeanu *et al.* (2001), Jol *et al.* (2003) e Nielsen and Boldreel (2003).

Além de imageamento tomográfico, análise de velocidade e migração 3D (Fisher *et al.*), a vantagem da utilização do radar é que este não causa impacto ambiental, exige um baixo custo operacional e a aquisição e o processamento podem ser realizados semelhantes ao método de sísmica de reflexão.

### Contexto Geológico

O afloramento selecionado está localizado na Bacia de Resende, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Suas

dimensões são de aproximadamente 50 x 8 m, com variações estruturais na forma de um pequeno *graben* composto de areia e argila. Neste são observados depósitos quaternários fluviais situados sobre as sucessões de areia terciárias que apresentam tons castanho-escuro, amarelo, laranja e vermelho. Os depósitos são relativamente espessos, marcados na base por linhas de pedra (*stone lines*) (Figura 1).

O afloramento é caracterizado pela associação de fácies 5 de um sistema fluvial meandrante, que corresponde aos depósitos de areia com predominância das litofácies At (arenito médio a muito grosso), Am1 (arenito fino a médio), PM2 (lamito e siltito, com restos de vegetais e bioturbação) e Pm3 (siltito e lamito bioturbados). São escassos as litofácies Ap (arenito médio a grosso), Ccm (conglomerado fino a grosso com matriz arenítica) e Bi (brecha intraformal) (Ramos, 2002).

### Aquisição de Dados

As seções de radar foram obtidas com o equipamento PulseEKKO IV RUN, fabricado pela empresa Sensors & Software Inc., com pulso de voltagem de 400 V. Na aquisição, foi utilizada uma janela de tempo de 512 ns e intervalo de tempo de 800 ps, obtendo assim um total de 640 números de pontos a serem coletados e com o número de 32 traços empilhados a fim de melhorar a qualidade nos dados. O parâmetro de velocidade média foi de 0,1 m/ns devido à variação litológica observada no afloramento.

Utilizou-se a antena de 100 MHz para serem realizadas as aquisições na parte superior do afloramento onde apresenta uma área completamente plana e sem vegetação o que facilitou a aquisição dos dados e dispensou a correção topográfica no processamento. Estas foram realizadas a 2 m da extremidade da linha de corte com configuração *fixed-offset* (PR-BD).

As aquisições COS foram realizadas em um *off-set* inicial ( $S_1$ ) de 1 m com espaçamento contínuo ( $S_s$ ) de 0,25 m. Para as aquisições *split-spread* a antena transmissora (tiro) foi mantida fixa em determinada posição com um *off-set* inicial da antena receptora (canal) ( $S_1$ ) de 0,5 m, a antena receptora foi movimentada para à esquerda com espaçamento contínuo ( $S_2$ ) de 0,5, obtendo 92 seções onde cada seção tem extensão de 45 m aproximadamente (Figura 2).

### Processamento

Os arquivos de dados obtidos com formato dt1 e em seguida foram reformatados para segy através do programa Sensors & Software Inc. A troca de parâmetros em escalas se fez automaticamente, como se pode citar a frequência de 100 MHz para 100 Hz, tempo de 100 ns para 100 ms e velocidade de 0.3 m/ns para

300 m/ $\mu$ s. O processamento para o modo de aquisição COS consistiu em edição, correção estática (ajuste *time-zero*), ganhos de média e divergência esférica, filtro OrmsbyB (20-60-120-160), ganhos exponencial e de média, filtro fk e filtro multi-canal (figura 3).

Para o processamento dos dados através do modo de aquisição *split-spread* houve a junção dos 92 arquivos, os quais foram organizados em *registros de tiro comum* (figura 4), sendo posteriormente realizado a construção da geometria de aquisição o qual é principal passo para o processamento no programa (figura 5) correção estática, edição dos dados, ganhos de média e de divergência esférica, filtro passa banda, correção NMO, empilhamento CMP, novamente aplicação de filtro passa banda, migração, filtro fk, ganhos AGC e exponencial, filtro multi-canal e conversão de tempo em profundidade.

A conversão dos dados em tempo duplo de reflexão para profundidade requer uma acurada análise de velocidade, a análise do espectro de velocidade foi realizada através do ajuste das hipérbolas obtidas do painel de *offset gather* durante a correção NMO (figura 6) com variação de velocidade de 0.05 a 0.295 m/ns (figura 7). A escolha da velocidade de 0.085 m/ns corresponde ao melhor ajuste da hipérbole referente ao CMP 137, e de valor tabelado em publicações científicas correspondente a variação litológica do afloramento. A seção final radargrama em profundidade é apresentada na figura 8.

#### Análise dos Resultados

Comparando-se as figuras 1, 3 e 7, é evidente a semelhança entre as grandes e as pequenas feições estruturais no afloramento. Os resultados obtidos através dos radargramas das figuras 3 e 7 apresentam a inclinação dos refletores para a parte central correspondente a variação litológica (zona de contato lateral de areia, silte e argila) do perfil que correspondente ao gráben e as principais zonas de falha que aparecem evidenciadas na parede do afloramento. A seção COS apresenta perda de resolução abaixo de 2 metros de profundidade, sendo que na aquisição *split-spread* é possível imagear um maior número de refletores. A perda de resolução corresponde a zona de contato entre o depósito de areia e argila.

#### Conclusões

Apesar de problemas com o equipamento, aquisição, qualidade dos dados e complexidade geológica, o modo de aquisição multi-canal apresenta um mais perfeito imageamento das feições em profundidade comparado ao modo de aquisição monocanal, devido a maior incidência de raios em única posição no qual o empilhamento dos traços resultaram em uma melhor razão S/R.

A utilização das técnicas de aquisição e processamento de dados sísmicos em dados de radar, vem sendo empregado afim fornecer um acurada representação da estrutura de subsuperfície. O uso dos dados de radar

também vem a colaborar no ajuste de melhores parâmetros e eficácia em novas técnicas de processamentos sísmicos.

#### Agradecimentos

A ANP (PRH-18) pela bolsa de doutorado concedida. Ao oceanógrafo Amilson Rodrigues (Cenpes-Petrobrás).

#### Referências

- Corbeau, R. M., Soegaard, K., Szerbiak, R. B., Thurmond, J. B., McMechan, G. A., Wang, D., Snelgrove, S., Foster, C. B., and Menitove, A.**, 2001, Detailed internal architecture of a fluvial channel sandstone determined from outcrop, cores, and 3-D ground-penetrating radar: Example from the middle Cretaceous Ferron Sandstone, east-central Utah. AAPG Bulletin, V. 85 No 9 (September) PP. 1583-1608.
- Davis J. L., and Annan A. P.**, 1995, High resolution shallow soundings using radar and reflection seismic methods. Reprint from Ontario Geologic Survey. Miscellaneous paper 125.
- Fisher E., McMechan G. A., and Annan A. P.**, 1992. Acquisition and processing of wide-aperture Ground-Penetrating Radar data. Geophysics, Vol. 57, No 3; p495-504, 8.
- Gruber, S., and Ludwig F.**, 1996, Application of Ground Penetrating Radar in Glaciology and Permafrost Prospecting. This document has been written as a Study Paper for the Arctic Studies Programme at the Arctic Centre, Rovaniemi, Finland, under the Supervision of Dr. John Moore. D38.
- Knight, R.; Tercier, P.** 1997. The role of ground penetrating radar and geostatistics in reservoir description. The Leading Edge, November; p1576 – 1582.
- Nielsen, L.; Boldreel, L. O.** 2003. GPR and marine imaging of carbonate mound structures in Benmak and outwest Sweden: A case study of imaging structures at different scales. The Leading Edge, September.
- Jol, H. M.; Bristow, C. S.; Smith, D. G.; Putnam, P.** 2003. Straigraphic Imaging of the Navajo Sandstone using Ground-Penetrating Radar. The Leading Edge, September.
- Ramos, R. R. C.**, 2002, Sistemas aluviais Terciários da Bacia de Resende / RJ: Análise de fácies e revisão estratigráfica. Exame de qualificação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro. Orientadores: Dr. Cláudio Limeira Mello e Dr. Renato Rodolfo Andreis.
- Szerbiak, R. B.; McMechan, G. A.; Corbeau, R.; Forster, C.; Snelgrove, S. H.** 2001. 3D Characterization of a Clastic Reservoir Analog: From 3-D GPR Data to a 3-D Fluid Permeability Model. Geophysics, Vol 66.No 4 (July-August 2001) P. 1026-1037.

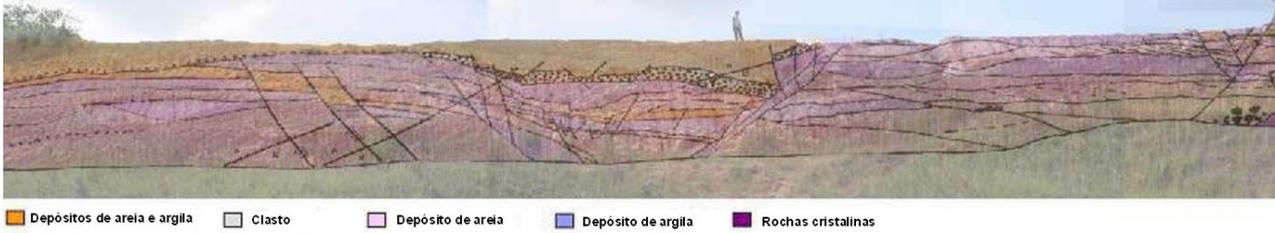


Figura 1 – Atoramento com a presença de um pequeno graben no município de Resende/RJ, com uma escala de Escala: 1: 357 cm e seção geológica descrita por Ramos(2002), como overlay sobre a foto.

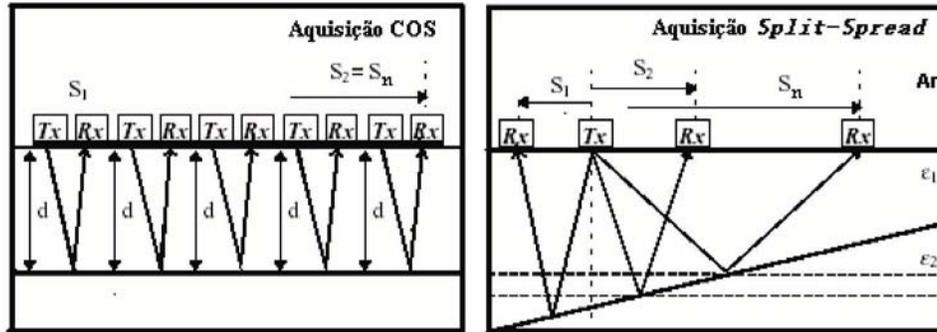


Figura 2 – Modo de aquisição COS (esquerda) e modo de aquisição *split-spread* (direita) com antenas biestáticas de 100 MHz (modificado de GRUBER AND LUDWIG, 1996).

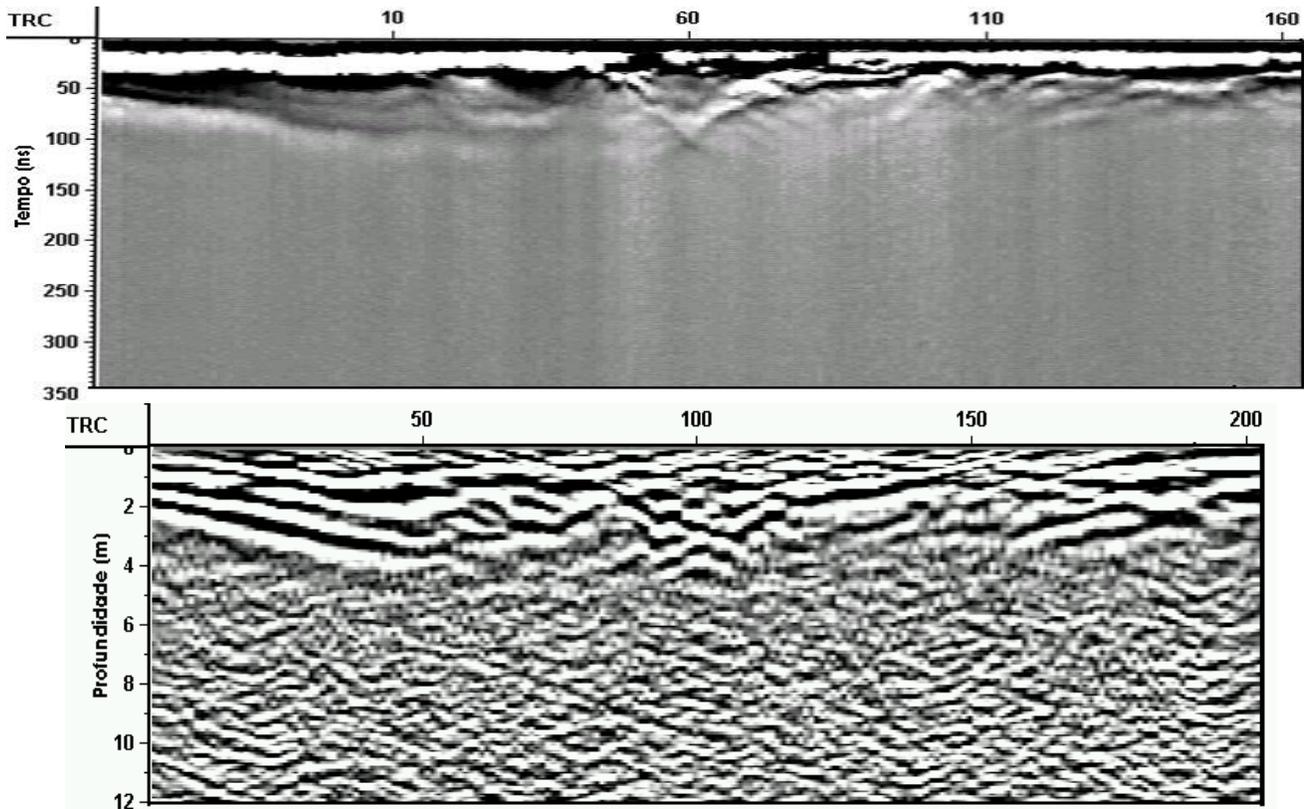


Figura 3 – Representação da seção radargrama sem (perfil superior) e com os processamentos (perfil inferior), na parte central do perfil nota-se o mergulho das camadas constituindo o pequeno grabén e abaixo de 2 m a perda de resolução dos sinais.

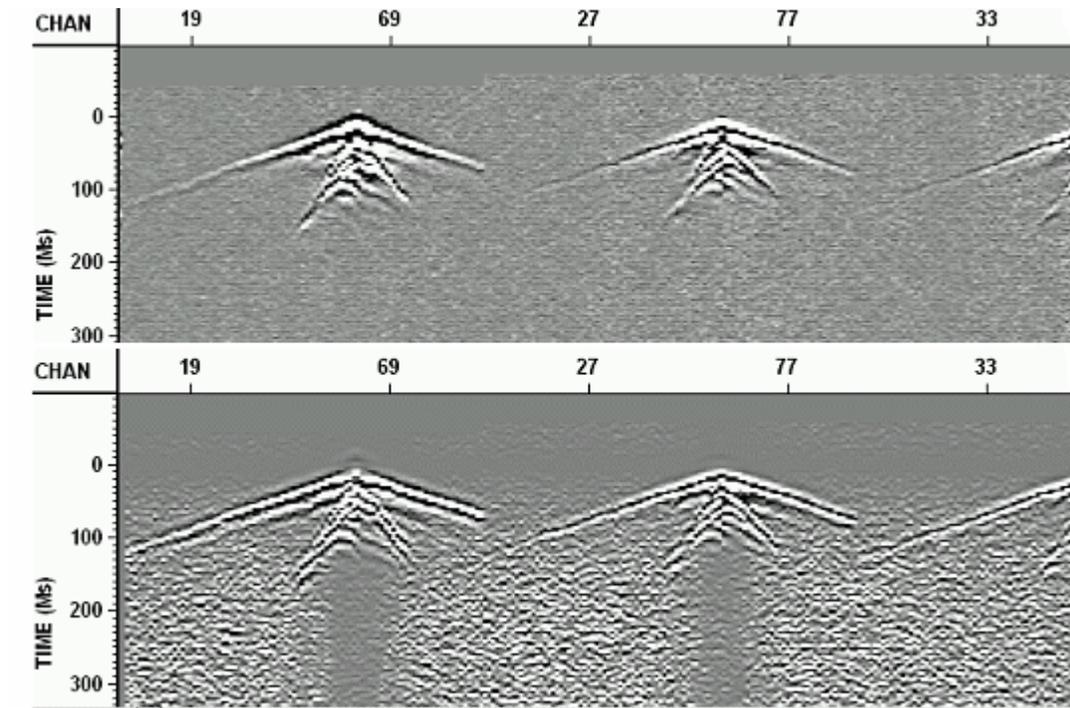


Figura 4 - Seção radargrama do modo de aquisição *split-spread* sem (perfil superior) e com processamento pré-empilhamento (perfil inferior) São agrupados os 92 perfis obtidos do afloramento constituindo um único perfil.

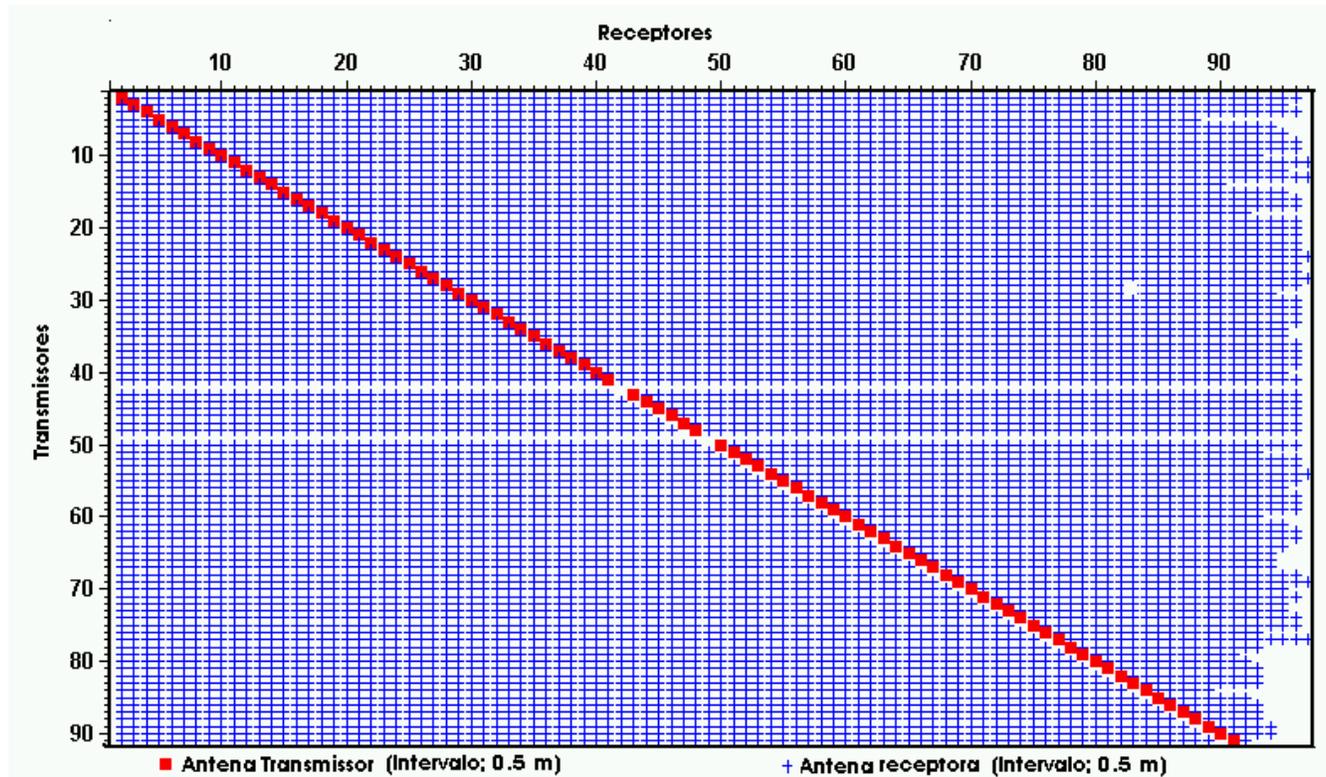


Figura 5 – Geometria da aquisição *split-spread* representando os pontos de tiros e pontos receptores. Cada uma das 92 seções é representada com um tiro e uma variação de 91 a 96 canais. A antena receptora foi posicionada do lado esquerdo e depois do lado direito para simular os canais. As seções 42 e 49 não foram inferidas na geometria por problemas no equipamento durante a aquisição.

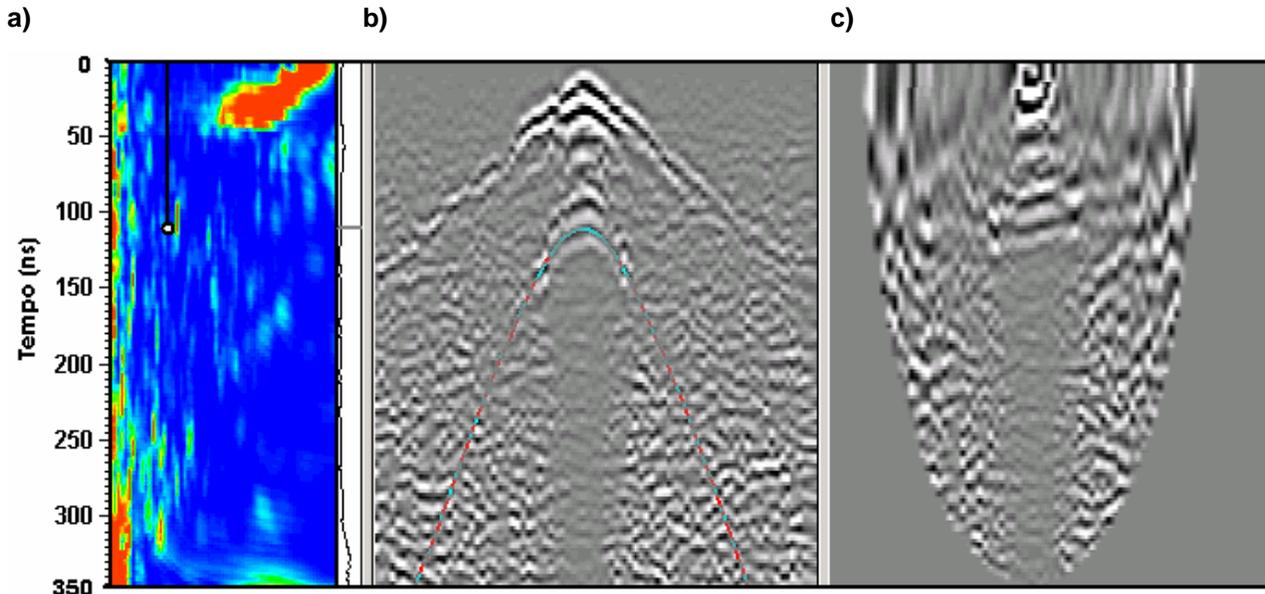


Figura 6 – Análise do espectro de velocidade: a) plote de velocidade semblance; b) *offset gather* sem correção de NMO, o ajuste da hipérbole em vermelho corresponde a velocidade de 0.085 m/ns em 120 ns referente ao CMP 137; c) *offset gather* com correção de NMO, a região com densa cor cinza apresenta anulação de dados na região de estiramento .

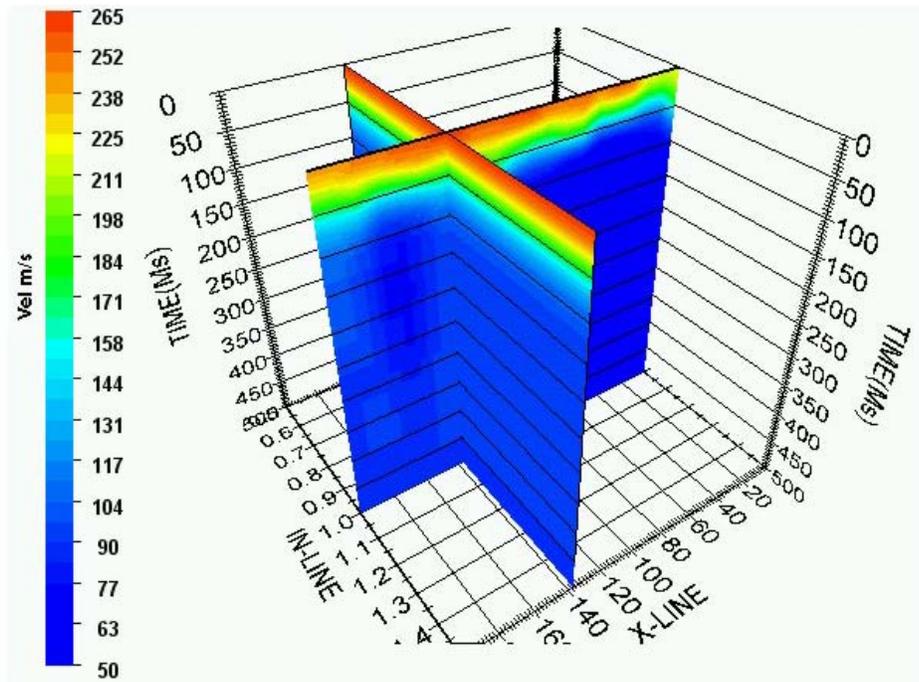


Figura 7 – Seção de velocidade dos 199 CMP's transversal ao CMP 137, com variações laterais e horizontais. Na parte superior da seção as velocidades são correspondentes às ondas diretas do ar e terrestre.

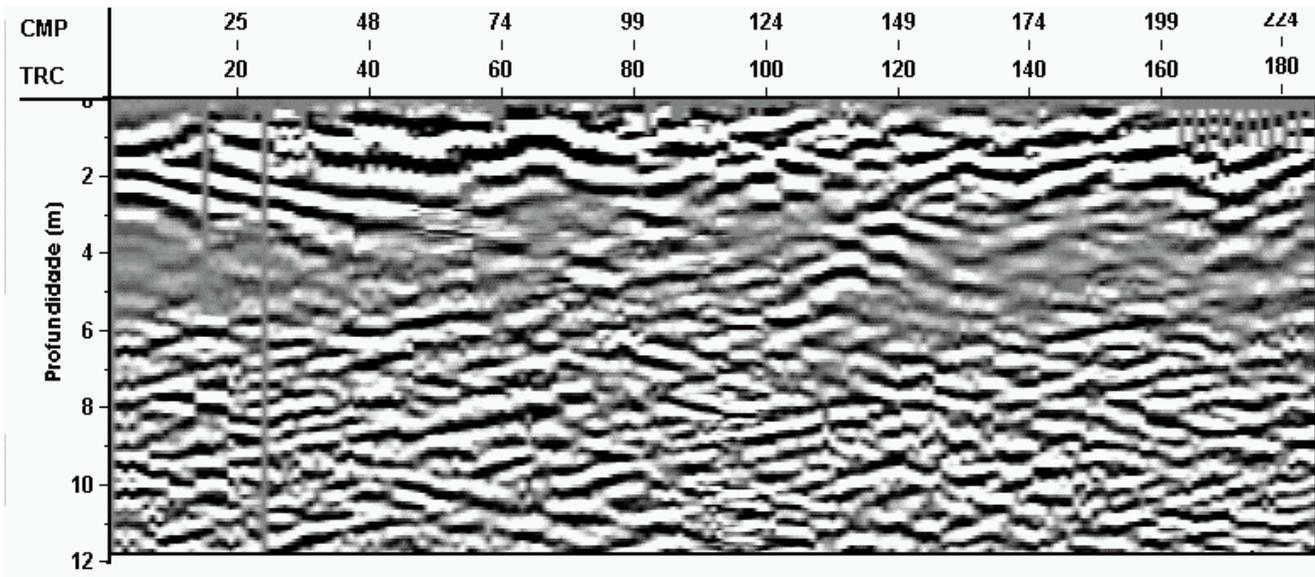


Figura 8 – Seção radargrama final, representando o empilhamento do modo de aquisição *split-spread*, com o total de 184 traços (45 m).