

Caracterização geométrica de falhas com o GPR

Hugo C. Brandão de Miranda*, José A. de Moraes Moreira, Peryclys R. de Oliveira Andrade, Ingrid M. Guimarães Guedes, Walter E. de Medeiros, Renato M. Darros de Matos. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Natal-RN, Brasil.

Copyright 2003, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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

This paper presents the use of GPR (Ground Penetrating Radar) as an investigation tool of the spatial distribution of faults and fractures in a reservoir analogue exposed at surface. In this multidisciplinary study of a faulted reservoir analogue, the observed fault geometry and any associated fracture system has been sampled by different methodologies, at different scales, to verify the hypothesis of scale invariance. The aim of this survey is to establish the spatial continuity and distribution of these faults and fracture at different scales, from outcrop down to a few tens of meters. The survey of this analogue reservoir was carried out in The Tucano Basin, where good oil reservoir analogues are exposed. Our strategy is: (1) to test the image of macroscopic scale faults using GPR; (2) compare surface structural data (in several scales) with the GPR data. The final objective is to test predictive methods for the characterization of the spatial distribution of faults and fractures on reservoirs.

Introdução

O aumento da taxa de recuperação de óleo e gás em bacias maduras constitui um dos problemas básicos para garantir o retorno econômico da atividade exploratória. Por isso, há grande necessidade do conhecimento das geometrias de estruturas tais como falhas e fraturas.

A sísmica de reflexão é uma potente ferramenta para o mapeamento de grandes feições estruturais em subsuperfície. Contudo, a escala sísmica não nos permite a identificação de estruturas de menor porte (Correa, 2001), sendo que o conhecimento destas estruturas de pequeno porte é de extrema importância para o desenvolvimento de modelos estruturais em determinados reservatórios. A estratégia é caracterizar tais estruturas em análogos aflorantes, visando definir modelos estruturais à serem aplicados em escala de reservatório. Assim devido a necessidade de imagear estruturas de menor escala e na porção mais superficial destes análogos, o GPR é a ferramenta geofísica que apresenta resolução necessária para o imageamento de tais feições estruturais de pequeno porte, atuando na caracterização de feições estruturais observadas na superfície destes análogos aflorantes e na integração com as feições mais profundas observadas em escala de reservatório através da sísmica de reflexão.

Caracterização Geológica

A área de estudo compreende um afloramento de rochas sedimentares siliciclásticas situadas no Arco de Vasa Barris na bacia de Tucano, a aproximadamente 40 quilômetros da cidade de Jeremoabo no estado da Bahia (fig. 1). O foco deste trabalho são sedimentos siliciclásticos do Grupo Ilhas, caracterizando um sistema deltáico, que estão sobrepostos aos folhelhos da Formação Candeias, recobrendo a sedimentação de talude que preenche as partes profundas do *rift-valley*.

O Grupo Ilhas é constituído por intercalações de arenitos e folhelhos, contendo subordinadamente siltitos nas fácies de diques marginais, vários níveis de calcário espalhados, biomicritos e ostracoditos que registram períodos transgressivos na seqüência deltáica (Netto, 1978). Os arenitos são sub-arcosianos, finos a médios, exibindo estratificações cruzadas de pequeno porte geralmente deformadas por estruturas de escorregamento e de escape de fluidos, ou homogeneizadas por bioturbação (Netto, 1978).



Fig. 1 - Mapa de localização da área estudada. (Modificado de Milani, 1985).

Caracterização geofísica - GPR

1 Aquisição

Durante a aquisição dos dados foram realizados levantamentos 2D e 3D de GPR projetados sobre um grid formado por 51 linhas com aproximadamente 13 metros de comprimento espaçadas de 0,6 metros e com intervalo entre traços de 0,3 metros. As linhas deste grid estão orientadas perpendiculares a direção do trend estrutural N20° presente na área (fig. 2).

O levantamento dos perfis de GPR ao longo do grid delineado sobre o afloramento foi realizado usando antenas com dois tipos de frequências, 200 MHz e 80 MHz e dois arranjos de antenas diferentes, para o levantamento feito com as antenas de 80 MHz. O primeiro arranjo possui as antenas projetadas de forma longitudinal a direção do trend estrutural, enquanto que o segundo arranjo possui antenas projetadas de forma transversal. Como a sensibilidade dos arranjos das antenas é diferente dependendo do tipo de alvo e condições de subsuperfície, nosso objetivo é testar as limitações destas diferenças de sensibilidade determinando assim o arranjo de antena que proporciona a melhor resposta para o imageamento da continuidade e distribuição espacial de falhas e fraturas. O instrumento usado para as medidas de GPR foi o SIR-SYSTEM-2 fabricado pela (GSSI) Geophysical Survey Systems Inc. USA.



Fig. 2 - Foto aérea do afloramento destacando a direção preferencial do trend estrutural N20° com os pontos do levantamento de GPR marcados.

2 Processamento dos Dados

Devido à complexidade das estruturas e o alto grau de deformação estrutural apresentado na área do levantamento, é necessário que o dado bruto de GPR seja submetido a um fluxo de processamento que elimine eventuais ruídos gerados durante a aquisição, efeitos de distorção, atenuação do sinal e concentre a energia espalhada por focos difratores, realçando estruturas descontínuas possivelmente representando falhas e fraturas. Para isso, o processamento foi dividido em seis passos distintos: correções estáticas, ganho, balanceamento espectral, migração, filtros de frequência e correções topográficas. (fig. 3). Cada passo do processamento tem um objetivo. Correções estáticas são realizadas para compensar o afastamento fonte receptor e corrigir possíveis erros de amostragem do instrumento, devido a variações de temperatura ou desvios de cabos, (Xavier Neto, 2001). Os ganhos visam suavizar os efeitos de atenuação do sinal devido à penetração no meio geológico. O balanceamento espectral, à exemplo da sísmica, promove a concentração de energia espalhada por focos difratores. A migração é eficaz na remoção dos eventos mergulhantes, relacionados a ruídos normalmente gerados por reflexões da onda aérea ou obstáculos na superfície, (Xavier Neto, 2001). A filtragem é usada devido a necessidade de reprimir possíveis reverberações e ruídos indesejáveis em certas faixas de frequência no sinal. E por fim as correções de topografia que são essenciais para a correta visualização dos substratos.

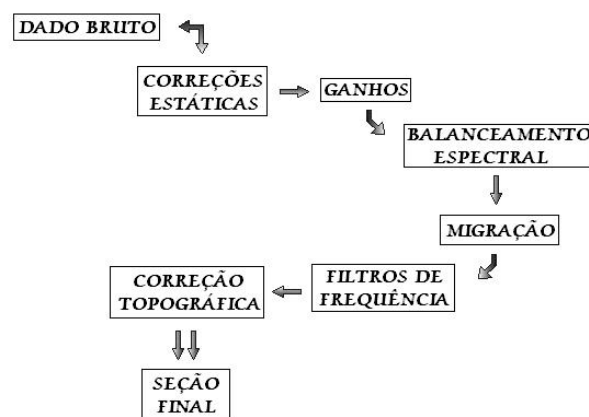


Fig. 3 - Fluxograma de processamento. Ilustração da seqüência de passos realizados durante o processamento do dado bruto de GPR.

Resultados

Os dados processados e interpretados neste trabalho devem ser considerados preliminares.

1 Processamento

- Comparando a seção do dado bruto da linha 10 do levantamento de GPR (fig. 2) com as várias seções processadas desta mesma linha, pode-se observar a grande diferença entre estas. Nestas seções processadas foram eliminados os ruídos e eventos mergulhantes, contidos no

dado bruto, realçando assim as estruturas ao longo de toda a seção de GPR (figs. 4, 5 e 6).

2 Efeitos da geometria de aquisição

- Comparando uma mesma seção de GPR com diferentes frequências e arranjos de antenas, pode-se determinar diferenças na resolução, profundidade de investigação e na detecção de falhas e fraturas.
- As figuras 6, 7 e 8 ilustram as seções da linha 10 adquiridas com diferentes arranjos de antena e frequências. A antena de 200 MHz apresentou uma melhor resolução definindo claramente pequenas falhas e fraturas, da ordem de centímetros. Devido à baixa penetração do sinal, o imageamento alcançou feições até aproximadamente oito metros de profundidade.
- As figuras 7 e 8 ilustram o dado da linha 10 adquirido com a antena de 80 MHz em dois arranjos diferentes: perpendicular e paralelo ao trend estrutural da área.
- Na figura 9, podemos observar a alta resolução do dado adquirido com a antena de 200 MHz, que possibilitou o imageamento de falhas com até quatro centímetros de rejeito.
- O arranjo com antenas paralelas ao trend mostrou melhor resolução das feições estruturais enquanto que o arranjo com antenas perpendiculares ressaltou feições estruturais não imageadas no arranjo anterior.
- Na antena de 80 MHz não foi possível o imageamento de pequenas estruturas, porém estruturas de maior porte apresentaram-se melhor definidas. Nesta frequência a penetração do sinal permitiu o imageamento de feições a profundidades de aproximadamente 16 metros (fig. 11).

3 Interpretação

- A interpretação preliminar da linha 10 do GPR apresenta um conjunto principal de falhas normais com direção NNE e mergulho para leste além de falhas antitéticas subordinadas com mergulho para oeste (figs. 10 e 11).

Conclusões

Da mesma forma que no método da sísmica de reflexão, o processamento é uma etapa essencial no resultado final de um levantamento de GPR, pois este possibilita um tratamento dos dados ressaltando feições que podem estar mascaradas por eventuais ruídos contidos no dado bruto e efeitos de distorção e atenuação do sinal. O sucesso de um imageamento está intimamente ligado a um adequado tratamento dos dados durante o processamento, desde que os dados de campo estejam livres de ruídos superficiais.

Os dados adquiridos com a antena de 200 MHz apresentaram uma alta resolução no imageamento de pequenas falhas e fraturas (de até 4 cm) que se encontram a profundidades de até 8 metros. Já os dados da antena de 80 MHz ressaltam melhor as falhas de maior porte (na escala da seção apresentada) que cortam a seção com um mergulho para leste (observadas até 16 metros de profundidade). O arranjo com as antenas de 80 MHz, orientadas na direção longitudinal ao trend estrutural apresentaram um melhor imageamento das falhas e fraturas, em relação a mesma antena com arranjo ortogonal. A utilização do GPR para o caracterização de feições estruturais em afloramentos falhados, pode proporcionar um imageamento de alta resolução de feições estruturais de pequeno porte, ressaltando rejeitos de falha com até 4 cm de comprimento, não observadas em qualquer outro tipo de levantamento geofísico.

Desta maneira, o método geofísico de GPR pode ser um interessante instrumento de interpretação entre os dados observados em superfície e os dados sísmicos convencionais utilizados na indústria do petróleo, auxiliando no entendimento do impacto de falhas e fraturas nas condições permo-porosas de um reservatório de petróleo.

Agradecimentos

Ao apoio financeiro da CAPES, PPGG (Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica) e PROJETO FALHAS E FRATURAS DA REDE 07 – GEOLOGIA E GEOFÍSICA DE CAMPOS MADUROS – Edital CTPETRO/CNPQ – Finep 03/2001, financiado com recursos da ANP e PETROBRAS. Aos técnicos José Quirino Ferreira da Silva e lang de Brito Chaves Jr. pela ajuda na aquisição de dados.

Referências

- Correia, F.S., Chang, H.K., Schioser, D.J., 2001**, Caracterização de zonas de falhas: Exemplo de afloramento na bacia Sergipe Alagoas: Dissertação de mestrado, UNICAMP
- Grandjean, G., Gourry, J.C., 1996**, GPR data processing for 3D fracture mapping in a marble quarry (Thassos, Greece): Journal of Applied Geophysics, vol. 36, p19-30
- Milani, E.J., 1985**, Tectônica cisalhante na evolução do rift do Recôncavo-Tucano-Jatobá: Revista brasileira de Geociências, vol. 15, p287-292
- Netto, 1978**, A Implantação da Fase-Rift na Bacia do Recôncavo: Anais do XXX Congresso Brasileiro de Geologia, Vol. 1 , p506-517
- Rashed, et.al, 2003**, Ground penetrating radar investigation across the Uemachi fault, Osaka, Japan: Journal of Applied Geophysics, , p1-13
- Santos, et.al, 1990**, Síntese sobre a Geologia das Bacias do Recôncavo Tucano e jatobá: Origem e Evolução das bacias Sedimentares, PETROBRAS, P235-265

Toshioka, T., Tsuchida, T., sasahara, K., 1994,

Application of GPR to detecting and mapping cracks in rock slopes: Applied Geophysics, vol. 33 p119-124

Ulriksen, C.P.F., 1982, Application of impulse radar to civil engineering: Geophysycs Survey Systems. Inc., North Salem, 175pp

Xavier Neto, P., Medeiros, W.E., 2001, Uma abordagem prática para corrigir os efeitos de propagação no sinal do GPR, e sua importância na melhoria do imageamento: Eighth International Congress of The Brazilian Geophysical Society.

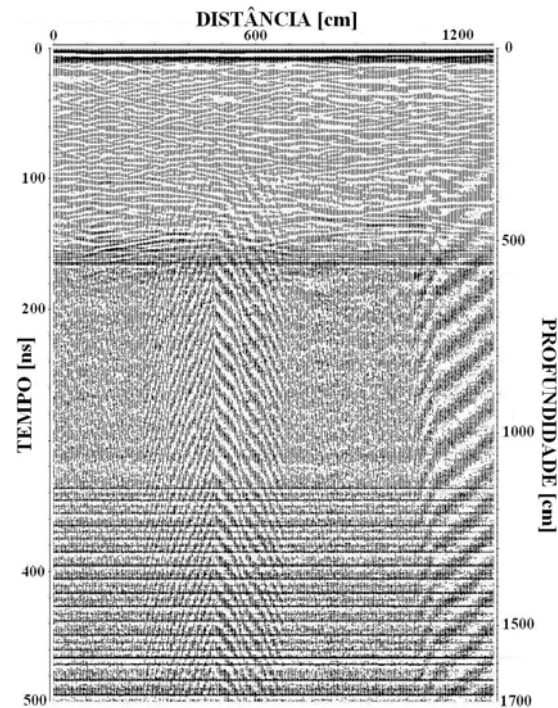


Fig. 4 – Linha 10. Dado bruto
(Frequência de 200 MHz).

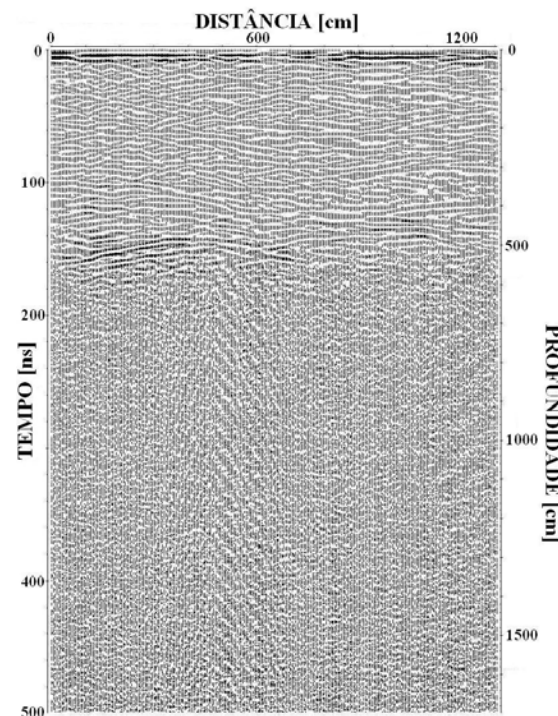


Fig. 5 – Linha 10 (Frequência de 200 MHz).
Primeiro passo do processamento, correções estáticas

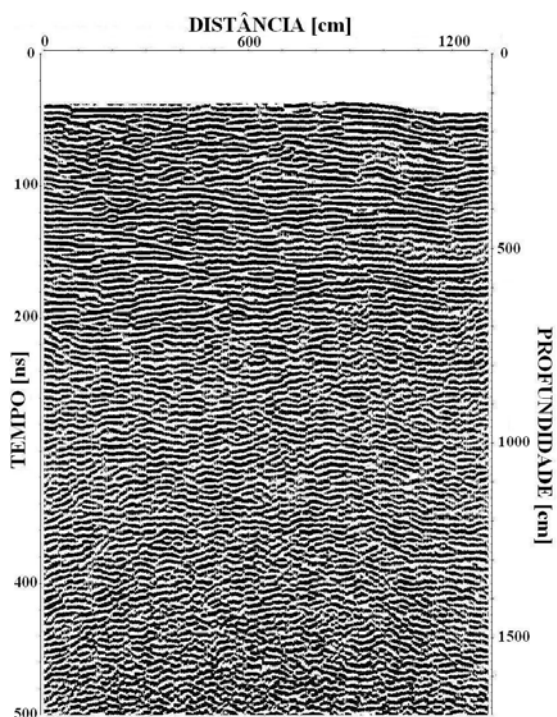


Fig. 6 - Linha 10 (Frequência de 200 MHz). Seção final após todos os passos do processamento. Frequência de 200 MHz.

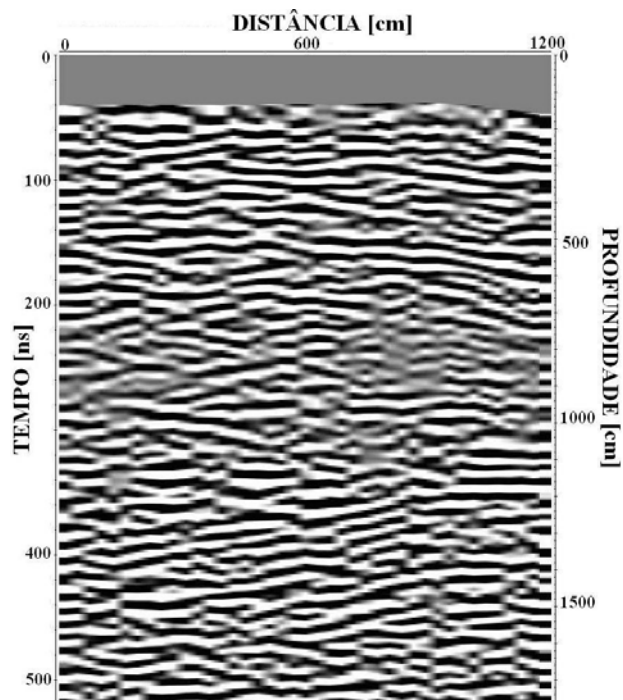


Fig. 8 - linha 10 (frequência de 80MHz). Adquirida com o arranjo das antenas paralelo ao trend estrutural.

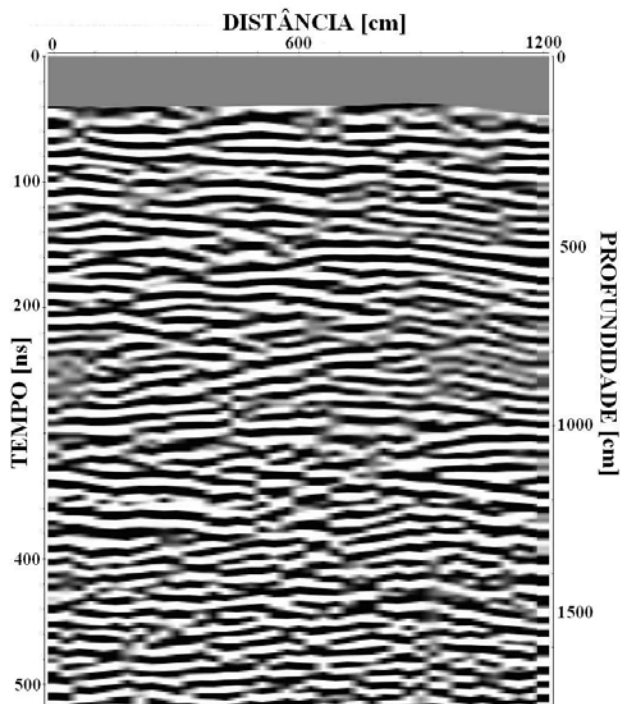


Fig. 7 - linha 10 (frequência de 80 MHz). Adquirida com o arranjo das antenas perpendicular ao trend estrutural.

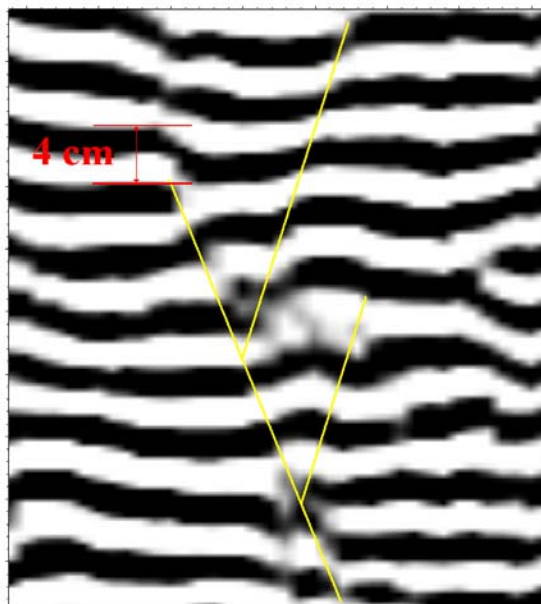


Fig. 9 – linha 10. Detalhe da seção de GPR (antena de 200mhz) ilustrando o imageamento de falhas com rejeito de aproximadamente 4cm.

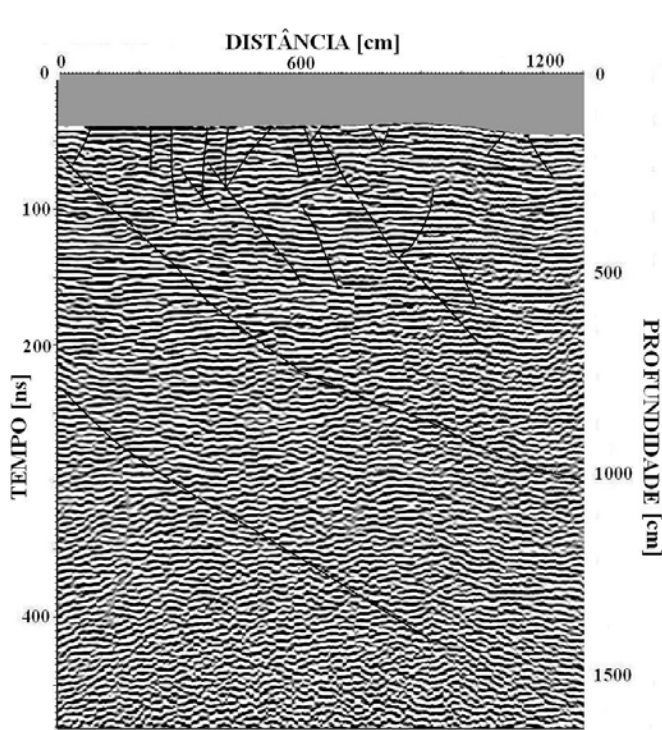


Fig. 10 – linha 10 (frequência de 200MHz). Interpretação e falhas normais com mergulho para Leste e falhas antitéticas subordinadas.

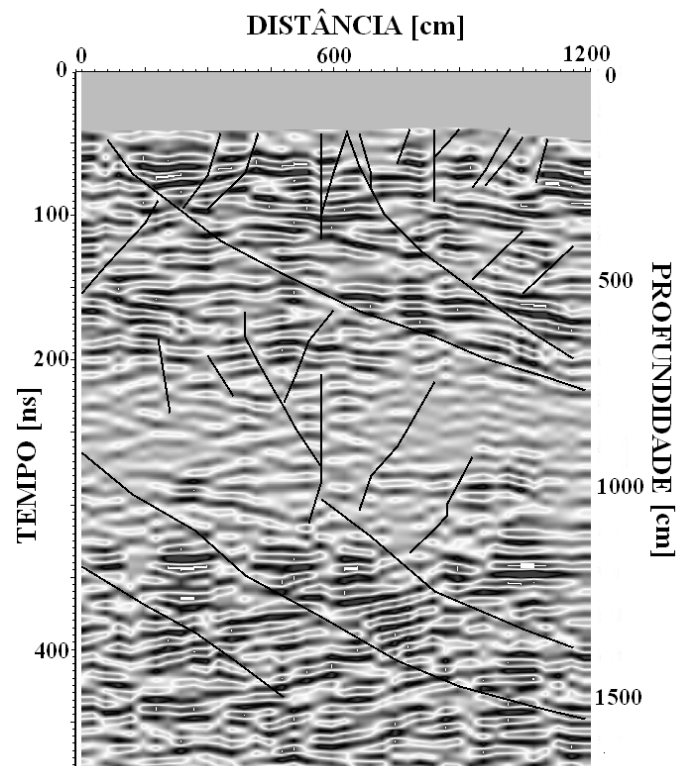


Fig. 11 – linha 10 (frequência de 80MHz). Ilustra a diferença na resolução e penetração do sinal em relação a figura anterior.