

Sísmica de Reflexão Aplicada ao Mapeamento de Contato entre Solo e Rocha Cristalina, utilizando Fonte Sísmica AWD.

Daniel Bono Ribeiro Vilas Boas*, CPGG/UFBA; Marco Antonio Barsottelli Botelho, CPGG/UFBA

Copyright 2014, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Abstract

This paper presents a basic procedure of seismic reflection acquisition and data processing aimed to investigate the interface between soil (unconsolidated material) and a crystalline rock, located near the town of Maragogipe (BA, Brazil). The survey used as the seismic source AWD (Accelerated Weight Drop), classified as a thumper. The registration system had available a seismograph and 21 receivers, where the data collected were then processed by the package Seismic Unix, with the aid of GêBR platform, by CMP basic processing, until reaching a stacked section, which obtained a suggested interpretation.

Introdução

O método sísmico de reflexão não possui aplicabilidade apenas na exploração de petróleo, mas também em diversas outras áreas como: prospecção de águas subterrâneas, mineralizações, além da investigação de diversos problemas geotécnicos, como: mapeamento de falhas e fraturas em rochas, investigação de carstes subterrâneos, de tubulações enterradas, dentre outras aplicações.

O seguinte trabalho tem o principal objetivo de apresentar procedimentos básicos geofísicos para análise de estruturas rasas utilizando sísmica de reflexão com fonte sísmica não explosiva (no caso, o AWD, um tipo de *thumper*), explanando cada passo da aquisição, passando pelo processamento dos dados, até se obter uma seção empilhada, sendo sugerida uma interpretação de sua seção.

Fonte Sísmica AWD

O AWD (*Accelerated Weight Drop*, ilustrado na Fig. 1) é uma fonte sísmica impulsiva da classe dos *thumpers*, cujo princípio físico se baseia num peso carregado por um caminhão, sendo acelerado em direção ao solo gerando um pulso sísmico. A aceleração desse peso é provocada principalmente pela expansão de um gás suprimido numa câmara, além da aceleração gravitacional.

Tal fonte produz pulsos com energia sísmica o suficiente para investigação de altas profundidades, sendo até

mesmo uma alternativa aos explosivos na prospecção de petróleo. As altas amplitudes alcançadas nos sismogramas e sua capacidade de repetitividade torna o AWD uma boa fonte sísmica. Suas desvantagens são principalmente relativas à área levantada, onde se é necessário um local que permita a passagem de um caminhão (numa floresta seria inviável, como exemplo), além de não ser tão controlável o espectro de frequências gerado.



Figura 1 – Fonte sísmica AWD posicionada na estrada onde os geofones foram acoplados ao terreno na margem da mesma.

Área de Estudo

O levantamento foi realizado ao longo de um trecho de uma estrada, numa zona rural próxima ao município de Maragogipe (BA, vide Fig. 2). Próximo à linha levantada encontram-se pedreiras, que exploram rochas cristalinas como granitos, sendo possível encontrar diversos afloramentos de tais rochas na região.

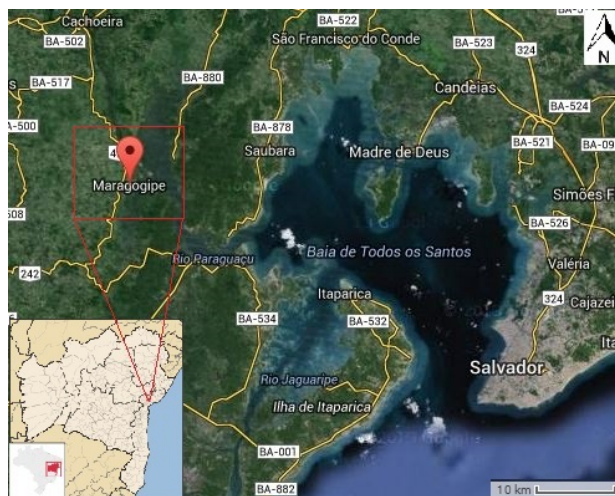


Figura 2 – Mapa localizando o município de Maragogipe (BA, Brasil), Google.

Aquisição

O sistema de registro constava-se de um sismógrafo conectado ao cabo de geofones contendo 21 receptores monocomponentes. Também conectado ao sismógrafo, o *trigger* (sistema que inicia o registro sísmico no momento em que a fonte é disparada) foi acoplado diretamente à placa metálica que serve de base para o peso acelerado pelo AWD no solo.

O sismógrafo é calibrado e controlado por um software que planeja toda a aquisição antes das detonações da fonte, e no momento da aquisição converte o sinal digital, transformado pelos receptores (transdutores) ao captar os pulsos sísmicos, em um arquivo no formato SEG-Y (um dos formatos padrões da SEG, *Society of Exploration Geophysicists*, a fim de facilitar a transferência de dados sísmicos entre as instituições e empresas do ramo da geofísica).

Foi realizado um arranjo onde apenas a posição do tiro variava, enquanto todos os 21 geofones permaneciam ativos por todos os 24 tiros aplicados. Resumindo os parâmetros básicos da aquisição (esquematisado na Fig. 3) tem-se:

- Número de canais: 21
- Número de tiros: 24
- Distância entre canais: 5 m
- Distância entre tiros: 5 m
- Coordenadas dos receptores: 10 a 115 m
- Coordenadas dos tiros: 0 a 120 m
- Comprimento total da linha: 105 m
- Intervalo de amostragem: 0,5 ms
- Tempo de registro: 0,5 s

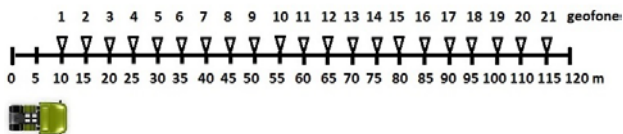


Figura 3 – Linha levantada esquematizada. Obs.: os triângulos indicam as posições dos geofones.

Processamento CMP

Coletados os dados, a linha foi então processada através do pacote sísmico *Seismic Unix*, com o auxílio da plataforma GêBR, por processamento do tipo CMP básico, indo das fases de pré-processamento com: montagem de geometria, edição e *mute* dos traços acima da onda direta, além da correção de amplitude devido à divergência esférica; até o processamento propriamente dito, com: filtragem de frequências, organização CMP, análise de velocidades, correção NMO e empilhamento.

Geometria, Edição, *Mute* e Correção de Amplitude dos Traços

Os arquivos salvos em formato SEG-Y, foram inicialmente convertidos para o formato próprio do pacote *Seismic Unix*, e então foi verificado que as informações sobre a geometria já estavam contidas nos dados, devido a configuração do software que controla o sismógrafo, sendo necessário apenas conferir a concordância das informações com a real aquisição, e adicionar algumas chaves da geometria não presentes inicialmente, como as informações de *cdp* (*common depth point*) e *offset* (afastamento entre fonte e receptor). A Fig. 9 (a) ilustra o sismograma do primeiro tiro da linha ainda sem nenhum tipo de processamento (dado bruto).

Montada a geometria o dado então passou por uma análise visual das amplitudes de seus traços, e foi constatado que os traços muito próximos às posições da fonte, continham amplitudes muito elevadas e anômalas, fugindo do padrão da maioria dos traços, portanto, foi escolhido o silenciamento dos traços com afastamento nulo entre fonte e receptor (ou seja, quando o geofone apresenta mínima distância com a fonte durante um tiro), de modo a diminuir o nível de ruído do dado.

Com a finalidade de diminuir as amplitudes não referentes à fonte sísmica, e de destacar a região onde ocorrem as possíveis reflexões, foi aplicado um *mute* das amplitudes acima do evento linear que indica a onda direta nos sismogramas.

Posteriormente foi aplicado um ganho a fim de corrigir a perda de amplitude devido à divergência esférica, tendo sido multiplicado as amplitudes pelos valores de tempo elevados a um fator de 1,1 (Fig. 9 (b)).

Filtragem de Frequências

Estudando as frequências dos eventos sísmicos presentes no sismograma, foram plotados gráficos de frequência por amplitude da média dos traços da linha total, e dentro de algumas janelas selecionadas a partir do primeiro tiro. No total foram selecionadas 4 janelas do primeiro tiro (vide Fig. 4), nomeadas de: Reflexão, Ruído 1, Ruído 2 e Rayleigh. A janela Reflexão indica um provável evento reflexivo (limitado entre os traços 18 e 21, no intervalo de 0,18 s a 0,25 s); enquanto que as janelas Ruído 1 e Ruído 2 possuem características de alto nível de ruído (limitados entre os traços 1 e 5, onde primeiro está contido no intervalo de 0,15 s a 0,25 s, enquanto o segundo vai de 0,25 s a 0,5 s), contendo inclusive o *ground roll*; já a janela Rayleigh contém um ruído de característica linear provavelmente ocasionado pela propagação da onda Rayleigh (limitadas entre os traços 19 e 21, entre os tempos de 0,27 s e 0,38 s).

Com base no espectro de frequências total do dado (Fig. 5) e das janelas selecionadas (Fig. 6), foi aplicado um filtro passa-banda visando a manutenção dos eventos reflexivos, e atenuação dos ruídos de baixas frequências (como o *ground roll*) e de altas frequências, não referentes à fonte sísmica empregada. Portanto o filtro passa-banda escolhido atenua as frequências entre 5 Hz e 15 Hz e entre 160 Hz e 200 Hz, permitindo a passagem das frequências entre 15 Hz e 160 Hz, eliminando as

demais. O resultado do filtro passa-banda, além de um posterior *mute* das amplitudes acima da onda direta, pode ser visto através da Fig. 9 (c).

Após a aplicação do filtro passa-banda, foi aplicado um ganho AGC (*Automatic Gain Control*) empregando-se uma janela de 0,2 s (vide Fig. 9 (d)).

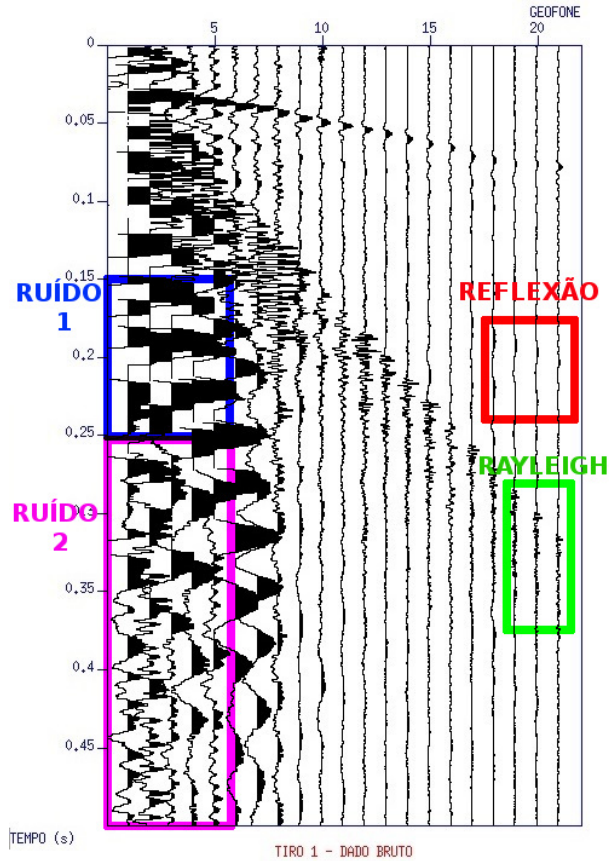


Figura 4 – Janelas selecionadas do tiro 1 (dado bruto).

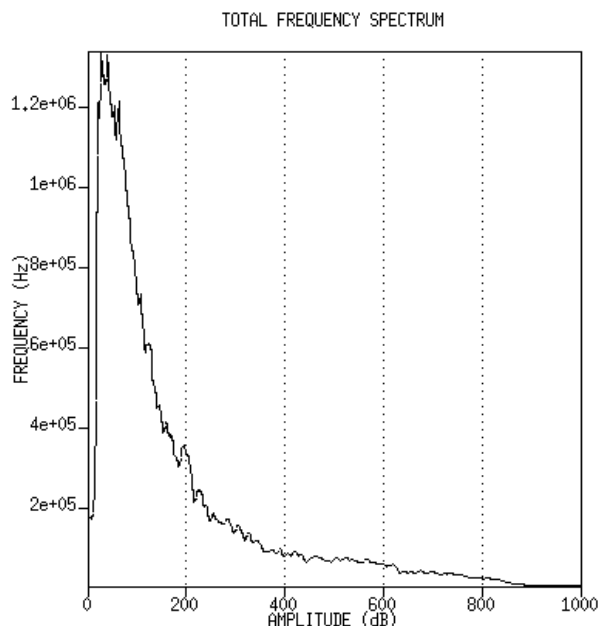


Figura 5 – Espectro de frequência total do dado.

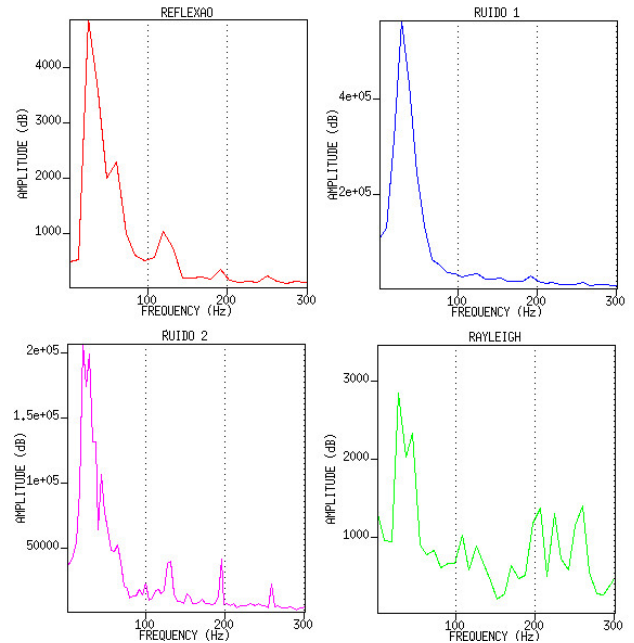


Figura 6 – Espectro de frequência das janelas selecionadas: Ruído 1 (curva azul), Ruído 2 (curva roxa), Reflexão (curva vermelha) e Rayleigh (curva verde).

Organização CMP, Análise de Velocidades e Correção NMO

Após a aplicação do filtro passa-banda e de um ganho AGC, a linha passou por uma reorganização de seus traços, onde antes organizados em famílias de tiro comum, passam a ser organizados em famílias de ponto médio comum (CMP). Feito isso, o dado então passou por um procedimento conhecido como *supergather* ou *common offset stack* (traduzido como: empilhamento de mesmo *offset*), onde primeiramente reorganizam-se os traços em *offset* por *cdp*, e então se empilham determinados grupos de *cdps* próximos sendo renumerados os valores dos *cdps* de maneira que coincidam com os valores dos *cdps* centrais de cada grupo, para posteriormente reuni-los, formando um único *supergather* aumentando-se então a cobertura do dado, e assim permitir a obtenção de uma análise de velocidades mais confiável posteriormente. O *supergather* realizado partiu de quatro grupos, cada um contendo 11 *cdps*; tal artifício foi utilizado apenas para se adquirir um melhor campo de velocidades, onde o dado a ser prosseguido no processamento é o anterior ao *supergather* (organizado em famílias CMP).

O dado formando o *supergather* foi utilizado para análise de velocidades através do método do *Semblance*, de modo a serem escolhidos os pontos de maior coerência, ao qual representam as regiões mais prováveis para a localização dos ápices das hipérbolas de reflexão. Gerado o espectro velocidade por tempo, foram escolhidos os pontos que determinam velocidades de NMO, que melhor horizontalizam as possíveis reflexões (como exemplificado para o CMP 28 na Fig. 7, onde a simulação da correção NMO para o mesmo pode ser visualizado na Fig. 8), às quais variaram para as regiões mais rasas entre 800 m/s e 1200 m/s, atingindo não mais

do que 2000 m/s nas regiões mais profundas. Gerado então um campo de velocidades, ele foi utilizado para correção *normal moveout* da linha organizada em famílias CMP.

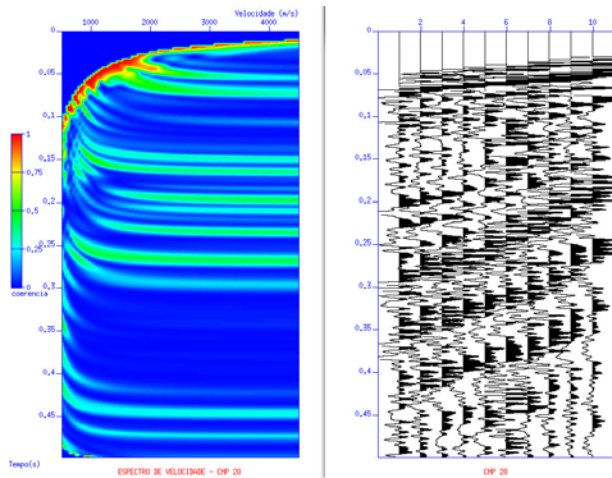


Figura 7 – Interface do Semblance na análise de velocidades realizada para o CMP 28 do supergather.

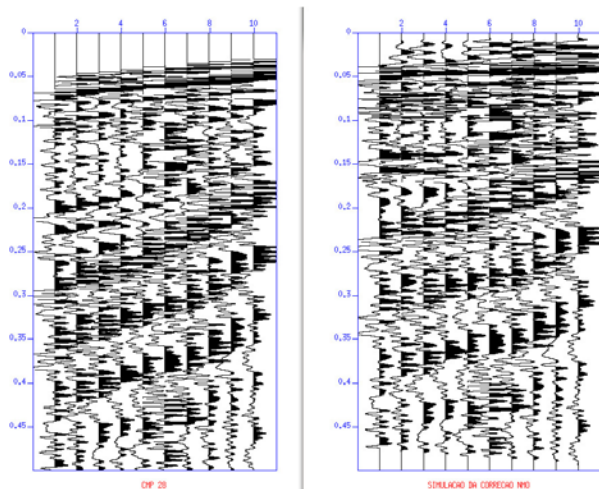


Figura 8 – Simulação da correção NMO aplicado no CMP 28 do supergather.

Empilhamento

Após correção NMO da linha organizada em famílias CMP, foi então aplicado a etapa de empilhamento, onde somou-se (superpôs-se) pontos médios comuns de mesma coordenada. Tal processo permite grande aumento da razão sinal/ruído, onde antes o dado organizado por cada família CMP, apenas forme agora uma única família CMP, de maneira a apresentar boa localização dos refletores, e bastante atenuação de ruídos. A seção sísmica empilhada pode ser visualizada por plotagem do tipo densidade variável através da Fig. 10 (a).

Interpretação

Apesar de a seção empilhada não fornecer a real posição das camadas geológicas, principalmente quando elas não são plano-paralelas e horizontais, sendo a etapa de migração dos dados responsável por corrigir alguns efeitos ondulatórios e assim melhorar a localização, bem como a inclinação, de algumas feições em subsuperfície, foi realizado uma sugestão de interpretação da última seção obtida.

Interpretando a seção empilhada, foi constatado um refletor mais raso (em 0,05 s) podendo representar uma interface entre o solo e uma camada de rocha cristalina alterada (intemperizada), onde a primeira camada apresentou, na análise de velocidades, cerca de 800 m/s de velocidade da onda P, resultando numa profundidade de aproximadamente 20 m da interface. Posteriormente foi identificado um último refletor (entre 0,2 s e 0,3 s), acima de uma região de refletores caóticos, tendo sido analisado como a interface entre uma camada de rocha cristalina alterada e outra de rocha cristalina sã. Esse último refletor apresenta inclinação e descontinuidade, indicando a presença de duas falhas do tipo normal atravessando tal interface, evidenciando um bloco alto no sismograma. Como foram analisadas velocidades de cerca de 1800 m/s para a segunda camada, a última interface se localiza entre 180 m e 270 m.

A Fig. 10 ilustra a interpretação realizada, com a seção empilhada interpretada (Fig. 10 (b)), apresentando linhas sobre os refletores que indicam os contatos investigados), e o modelo geológico suposto (Fig. 10 (c)).

Conclusões

A fonte sísmica empregada (AWD) produziu pulsos sísmicos com energia o suficiente para alcançar as profundidades do contato investigado, além disso, as frequências geradas permitiram a ocorrência de eventos reflexivos nas interfaces entre as camadas estudadas; fatos que indicam o sucesso do emprego do AWD para esses tipos de aplicação.

Numa interpretação da seção empilhada resultante, foi concluído que o contato entre o solo (material inconsolidado) e uma rocha cristalina não é brusco, havendo uma região de rocha cristalina alterada (susceptível à intemperismo) iniciando numa profundidade aproximada de 20 m, indo até cerca de 270 m, sendo que a interface entre a rocha cristalina alterada e a rocha sã se apresenta de maneira inclinada com a presença de duas falhas normais.

O processo de migração dos dados sísmicos, bem como a integração com outros métodos geofísicos, ou ainda um estudo geológico mais aprofundado da região, permitem maior precisão na interpretação dos dados. Contudo, a seção empilhada obtida já permite uma estimativa da localização das feições investigadas, contribuindo no sucesso do método sísmico de reflexão para a investigação de uma interface entre solo e rocha cristalina, uma aplicação sobretudo geotécnica.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a CNPq pelo suporte financeiro e ao Departamento de Geofísica da Universidade Federal da Bahia pela disponibilidade das instalações e equipamentos usados na confecção deste trabalho.

Referências

ABREU, A. S., 2005. Processamento de dados sísmicos do golfo do México usando o *Seismic Unix*. Trabalho de Graduação, Universidade federal da Bahia, Salvador (BA), Brasil.

BRUNETTA, R., 2005. O Processamento da sísmica de reflexão rasa - Desafios encontrados no estudo de modelos análogos a reservatórios fraturados. Universidade Federal do Paraná, Dissertação de Mestrado, Curitiba (PR), Brasil.

DUARTE, O. de O., 2007. Dicionário enciclopédico INGLÊS-PORTUGUÊS de geofísica e geologia 3ª edição. Copyright original © 2007 by Sociedade Brasileira de Geofísica - SBGf.

KEAREY, P., BROOKS, M. and HILL, I., tradução Maria Cristina Moreira Coelho, 2009. Geofísica de Exploração. Copyright da tradução em português © 2009 Oficina de Textos, São Paulo, Brasil.

MAYNE, W. H., 1962. Common reflection point horizontal data stacking techniques. *Geophysics*, 27: 927-938.

TELFORD, W. M., GELDART, L. P. e SHERIFF, R. E., 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge, England.

YILMAZ, O., 2001. *Seismic Data Analysis*. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, U.S.A.

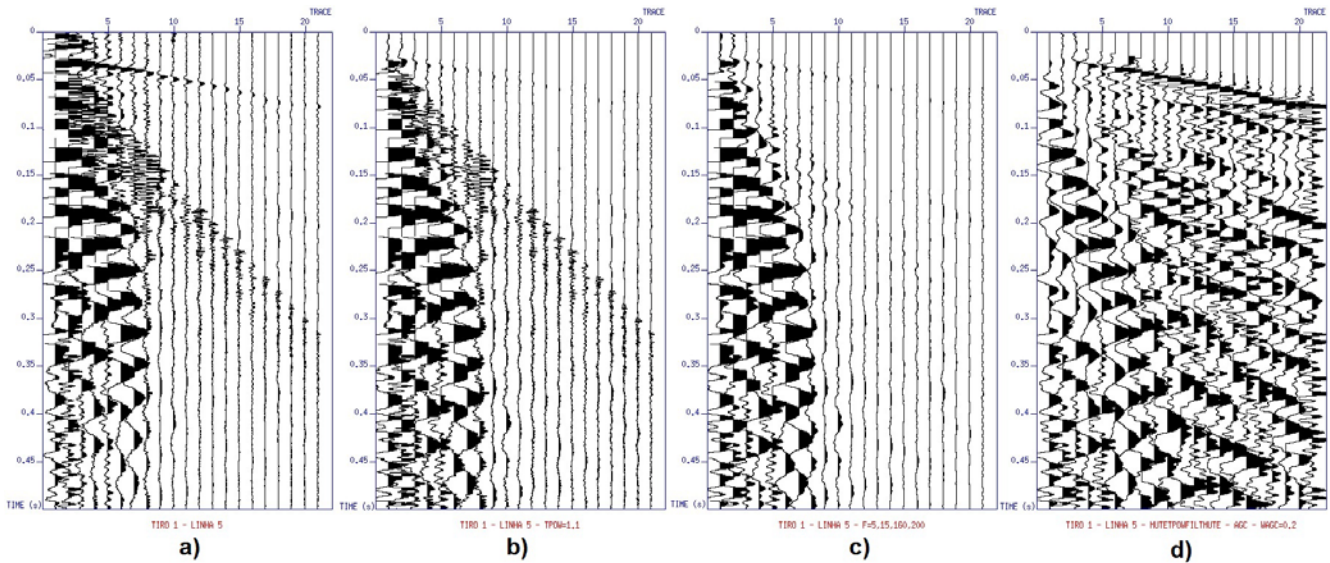


Figura 9 – Tiro 1 durante as etapas do processamento: a) dado bruto; b) após aplicação de mute e correção de divergência esférica; c) após filtragem passa-banda; d) após aplicação de AGC.

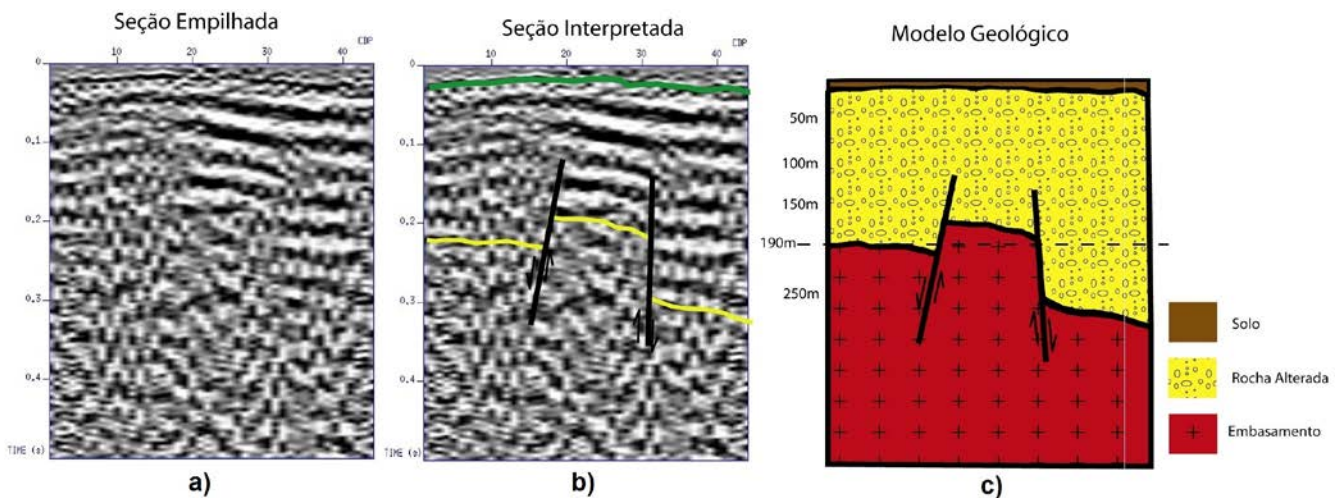


Figura 10 – Resultado do processamento e interpretação da seção empilhada: a) seção empilhada; b) seção interpretada; c) modelo geológico interpretado.