

Modelo estrutural dos setores Central e Sudeste da Província Tocantins utilizando dados de refração sísmica profunda

Fábio. A. Perosi* e Jesus Berrocal, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – Universidade de São Paulo – Brasil (fabio@iag.usp.br)

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 were 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 work is part of the deep seismic refraction studies of the project “Geophysical Studies and Tectonic Model of Tocantins Province Central and Southeast Sectors, Central Brazil” (Figure 1). Three refraction lines, of around 300 km long each, were deployed, two of them in Central sector (Figure 2), and the other one in Southeastern sector (Figure 3).

The objective of this work is to obtain, using mainly secondary phases, a seismic velocity model with the physical characteristics of major discontinuities in the crust and upper mantle. The packages SAC, SU and SEIS were used to perform the data analysis and processing. To carry on the modeling were used the ray theory and the synthetic seismograms construction, belonging to the SEIS package.

Each line had 120 recording points and 7 shot points. For L1 line, all shot points work fine, however two shot points in L2 line had technical problems (EX22 and EX24). In this article are presented the preliminary results for Moho depth below L1 and L2 lines. For L1 line, the depth obtained is about 39 km (Figures 4.a,b), and for L2 line, the depth is about 42 km (Figures 5.a,b). Some main discontinuities inside the crust and the velocities obtained in those sections are also indicated in those figures.

Data from extreme and middle points of L3 line were used to elaborate the final model, considering that due to technical problems signals from the other four explosions were not recorded. Besides, recorded explosions did not present clear signals all along the line. Considering these limitations and the geological units present in the studied region, L3 line was divided in two sections: Section 1 between EX31 and EX34 explosions and Section 2 between EX34 and EX37 explosions, see Figure 3. Two seismic velocity models are suggested for the Tocantins Province Southeastern sector (Figures 6.a,b).

In Figure 6.a,b are indicated main P wave velocities and depths of the model using refracted phases. Note, under Brasilia fold belt (38 km), the crust is thinner than under Parana basin (42 km) and Sao Francisco craton (41 km). These results are agreeable with receiver function solutions in this region. In Figures 7.a,b are presented Moho reflection ray tracing for the above models. In Figure 8.a,b are showed refraction ray tracing and Moho

reflection ray tracing for EX31 shot in Section 1, respectively.

Introdução

Este trabalho faz parte do Projeto Temático de Equipe “Estudos Geofísicos e Modelo Tectônico dos Setores Central e Sudeste da Província Tocantins, Brasil Central” que utiliza vários métodos geofísicos de investigação, além da refração sísmica profunda. Os levantamentos de refração sísmica profunda efetuados na Província Tectônica Tocantins como parte do Projeto Temático, são pioneiros no Brasil por utilizarem, de forma simultânea, mais de uma centena de sismógrafos com registro digital operando na componente vertical e explosões diretas e reversas com hora de origem controlada, programadas exclusivamente para este experimento.

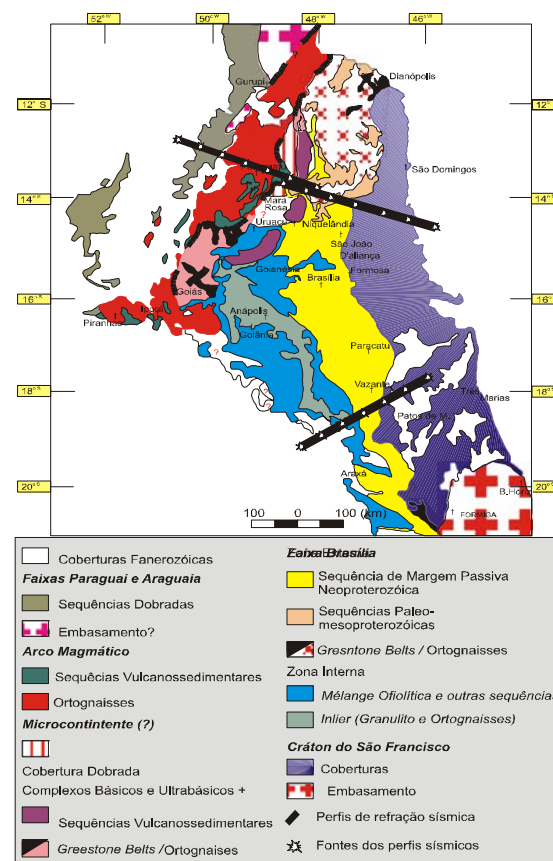


Figura 1 - Mapa geológico da Província Tocantins com a localização aproximada das três linhas de refração sísmica.

Figure 1 - Geologic map with the location of seismic lines.

Nesta pesquisa de refração sísmica profunda foram levantadas três linhas de aproximadamente 300 km de

extensão, duas no setor Central da Província Tocantins (linhas L1 e L2, na região norte do estado de Goiás) e uma no setor Sudeste (linha L3, na região do Triângulo Mineiro), ver Figuras 1, 2 e 3.

Serão apresentados resultados preliminares para as linhas L1 e L2 (setor Central) e é sugerido um modelo de velocidades sísmicas para a linha L3 (setor Sudeste).

Descrição dos Levantamentos

Cada uma das três linhas de refração sísmica tem aproximadamente 300 km de extensão, 7 explosões (uma a cada 50 km) e 120 pontos de registro, separados a cada 2,5 km, distribuídos ao longo de estradas principais e secundárias. A quantidade de explosivos utilizada variou de 1.000 kg nas explosões dos extremos das linhas até 500 kg para as explosões centrais das linhas. (Perosi, 2000).

Os últimos 50 km da linha L1 se entrelaçam com os primeiros 50 km da linha L2, ou seja, as posições da sexta explosão da linha L1 (EX16) e da primeira da linha L2 (EX21) são as mesmas, bem como as posições da última explosão da linha L1 (EX17) e a segunda da linha L2 (EX22).

A linha L1, situada no setor Central da Província Tocantins, inicia na cidade de São Miguel do Araguaia (próxima ao Rio Araguaia), passando pelas cidades de Porangatu, Minaçu, terminando às margens do Rio Tocantins. Sob o contexto geológico, inicia na Faixa Araguaia, cruza o Arco Magmático de Goiás, terminando na Faixa Brasília (Figura 2).

A linha L2 inicia na cidade de Minaçu e continua para leste cruzando o Rio Tocantins, passando pelas cidades de Cavalcante, Nova Roma e Posse, terminando 100 km adentro do estado da Bahia, em uma região de reflorestamento. Esta linha inicia na Faixa Brasília e termina sobre as coberturas do Cráton São Francisco (Figura 2). Nesta linha duas explosões não foram registradas (EX22 e EX24), este fato foi atribuído às características geológicas dos locais dos poços que atenuaram consideravelmente a energia da explosão ou deixaram o explosivo escoar por alguma fratura.

A linha L3, situada no setor Sudeste da Província Tocantins, inicia na divisa entre os estados de São Paulo e Minas Gerais, no Triângulo Mineiro, segue no sentido NE, passando pelas cidades de Uberaba, Patrocínio e Patos de Minas, terminando na proximidade do lugarejo conhecido como Varjão. Esta linha começa na porção NE da Bacia do Paraná, atravessa a Faixa de Dobramentos Brasília, e penetra nas coberturas do Cráton São Francisco (Figura 3). Devido a problemas técnicos não foram registradas 4 explosões da linha L3 (EX32, EX33, EX35, EX36). Por esse motivo, então para fins de modelagem esta linha foi dividida em duas seções: a seção 1, que vai da EX31 até EX34, e a seção 2, que vai da EX34 até EX37, cada uma com 150 km de extensão, aproximadamente.

Os procedimentos metodológicos de campo do levantamento de refração sísmica profunda foram descritos com detalhe em Perosi (2000) e em (Perosi et al., 1999).

Método

Para estudar a propagação das ondas elásticas em estruturas complexas podem ser utilizados métodos analíticos de aproximação, tais como o método de propagação do raio sísmico. Nas aplicações sismológicas este método foi utilizado inicialmente para investigar principalmente a estrutura mais interna da Terra a partir das curvas de tempos de percurso das ondas P e S e para calcular as trajetórias de raios e os tempos de percurso teóricos, em vários tipos de meio, para, finalmente, compará-los com os dados observados.

O processo de modelagem em 2D é realizado com o pacote SEIS88 (Cerveny, 1988), que utiliza o método dos raios sísmicos e permite modelos com camadas inclinadas e gradientes laterais de velocidade. Neste processo foi possível delimitar com maior precisão os principais refratores, bem como as interfaces entre as unidades tectônicas, principalmente no caso da linha L3, que passa da Bacia do Paraná para a Faixa Brasília. Utilizou-se um gradiente inicial de velocidade de 0,01 km/s/km, conforme recomendado por Mooney et al. (1983), entretanto em algumas regiões foi necessário utilizar valores um pouco maiores (até 0,03 km/s/km).

A maior parte da interpretação está sendo efetuada baseada no método descrito em Ackermann et al. (1986). Este autor recomenda para isso, a utilização de vários pontos de explosão na mesma linha, como é o caso das linhas sísmicas levantadas neste projeto, para combinar os conjuntos de curvas caminho-tempo provenientes das primeiras chegadas de cada explosão, de modo que resultem em um conjunto consistente de curvas caminho-tempo para cada refrator. Nesse trabalho, se recomenda um conjunto de regras para a combinação de curvas caminho-tempo individuais baseados em três formas de arranjo da linha sísmica: *reverse profile* (tiros nos extremos e registradores entre os tiros), *split profile* (tiro no centro e os registradores nos dois lados do tiro) e *offset profile* (podendo ter um ou mais tiros e os registradores em um dos lados da linha, sem registradores entre os tiros). Também podem ser utilizadas combinações destes três arranjos (*combined profile*) simultaneamente.

Resultados

Neste artigo são apresentados os resultados preliminares para as linhas L1 e L2 e é sugerido um modelo mais elaborado de velocidades sísmicas para a linha L3. A leitura dos tempos de chegada das ondas P nas linhas L1 e L2 foram utilizadas para obter as velocidades preliminares que serviram para iniciar a modelagem dessas linhas.

Até o momento, para as linhas L1 e L2 foram gerados modelos levando-se em conta somente as explosões dos extremos das linhas: EX11 e EX17, para a linha L1 e EX21 e EX26 para a linha L2 (a explosão EX27 não foi utilizada por estar com uma razão/sinal ruído pior que a EX26).

O modelo preliminar para a linha L1 é apresentado na Figura 4. A Figura 4.a corresponde à explosão EX11 e a Figura 4.b corresponde à explosão EX17. Na parte superior destas figuras são apresentados os tempos lidos da onda P (linha vermelha) e os tempos teóricos gerados

pelo programa (pontos pretos) e na parte inferior são apresentados os modelos estruturais, juntamente com o traçado de raios. As velocidades utilizadas em cada camada aparecem destacadas em vermelho.

Nas Figuras 5.a e 5.b são apresentados os modelos para a linha L2, nos mesmos padrões da Figura 4.

A linha L3 foi dividida em dois seções para facilitar o trabalho de interpretação das fases secundárias, a seção 1 compreendida entre as explosões EX31-EX34, com tiros direto e reverso com boas razões sinal/ruído, e a seção 2 compreendida entre as explosões EX34-EX37, onde o tiro direto tem uma boa razão sinal/ruído, mas o tiro reverso tem sinais muito fracos permitindo leituras apenas até 30 km de distância do local da explosão.

Devido a esse fato, a explosão EX37 foi utilizada apenas para modelar as camadas mais superficiais, próximas ao tiro, através da curva caminho-tempo. Foram determinados 3 refratores superficiais com as seguintes espessuras / velocidades da onda P: 0,02 km / 2,00 km/s; 1,17 km / 4,99 km/s e 4,1 km / 5,87 km/s.

Na Figura 6.a é apresentado o modelo da Seção 1 e na Figura 6.b o modelo da Seção 2, utilizando a explosão EX34. Em conjunto com os modelos são mostrados o traçado de raios refratados e a correlação entre os tempos teóricos e os tempos lidos (linha vermelha).

Na Figura 7.a,b, é mostrado o traçado de raios para as reflexões em Moho para as duas seções.

Na Figura 8.a é apresentado o traçado de raios para as refrações da Seção 1 utilizando a EX31 e na Figura 8.b é apresentado o traçado de raios para as reflexões em Moho desta explosão. Nesta seção é considerada a estrutura da Bacia do Paraná que contém uma camada de baixa velocidade e é mais espessa na região do tiro e vai afinando até a interface com a Faixa de Dobramentos Brasília.

O modelo indica que Moho é mais profunda nos extremos da linha sísmica, em torno de 42 km sob a Bacia do Paraná e 41 km sob o Cráton São Francisco, e mais rasa sob a Faixa Brasília em torno de 38 km.

Conclusões

Os trabalhos relativos às linhas L1 e L2 ainda não foram concluídos, o objetivo final é construir um modelo estrutural com a leitura das fases S e reflexões de ângulo amplo e determinar as razões V_P/V_S para diversas regiões da crosta a fim de correlacioná-las com os aspectos geológicos. Até aqui os resultados obtidos foram profundidades da descontinuidade de Moho em torno de 39 km para região sob a Faixa Brasília e em torno de 42 km para a região sob o Cráton São Francisco, que estão de acordo com as sugeridas por Soares, Berrocal & Fuck (2003).

Até o momento, tudo indica que Moho sob a Faixa Brasília é mais rasa, no entanto não foi possível, através desses dados, modelar com detalhes os degraus (ou as inclinações) entre a parte mais profunda e a parte mais rasa.

As profundidades obtidas para a descontinuidade de Moho, 42 km sob a EX31, 38 km sob a EX34 e 41 sob a

EX37, estão dentro da faixa de valores determinada por França e Assumpção (2003), utilizando função de receptor.

Agradecimentos

À FAPESP pelo financiamento deste projeto (Processos 96/01566-0, 98/00156-9 e 00/08463-0). À colaboração do USGS (CA, USA) e do Program for the Array Seismic Studies of Continental Lithosphere (PASSCAL), especialmente aos professores Dr Walter Mooney (USGS) e Dr. Simon Klemperer (Stanford University). Aos professores, técnicos e alunos do IAG/USP e do Observatório Sismológico/UnB que colaboraram com esta pesquisa.

Referências

- Ackermann, H. D., Pankratz, L. W. & Dansereau, D.**, Resolution of ambiguities of seismic refraction traveltimes curves, *Geophysics*, vol.51, no.2, p.223-235, February, 1986.
- Cervený, V.**, Pacote SEIS88 e sua documentação, 1988, Março/2000, *Obtida via internet*. <http://seis.karlov.mff.cuni.cz/software/seis/>.
- França, G. S e Assumpção, M.**, 2003, Estrutura da crosta em Goiás, usando a função do receptor, e Mapa preliminar de espessuras crustais no SE e centro-oeste do Brasil, Resumo expandido deste congresso (8 ICBGS), Rio de Janeiro - RJ, Brasil.
- Mooney, W. D., Andrews, M. C., Ginzburg, A., Peters, D. A., Hamilton, R. M.**, 1983, *Tectonophysics*, v.94: 327-348.
- Pereira, M. R. S.**, 1995, Perfil Sísmico na Região de Formiga-MG utilizando o Método de Refração Sísmica Profunda, Trabalho de Graduação, IAG-USP, São Paulo – SP, Brasil.
- Perosi, F. A., Berrocal, J., Fernandes, C. Medrado, A. C.**, 2001, Levantamento de Refração Sísmica Profunda no Setor Sudeste da Província Tocantins, Anais do VII CIBSGS, Salvador - BA, Brasil.
- Perosi, F. A.**, 2000, Refração Sísmica Profunda no Setor Sudeste da Província Tocantins, Dissertação de Mestrado, IAG-USP, São Paulo – SP, Brasil.
- Perosi, F. A., Berrocal, J., Fernandes, C., Medrado, A. C.**, 1999, Refração Sísmica Profunda no Setor Sudeste da Província Tocantins: Resultados Preliminares, Anais do VII SNET, Volume único, Sessão 2, p.103, Lençóis – BA, Brasil.
- Soares, J. E. P., Berrocal, J., Fuck, R. A.**, 2003, The seismic crustal structure beneath Central Brazil: an approach, Resumo expandido deste congresso (8 ICBGS), Rio de Janeiro - RJ, Brasil.

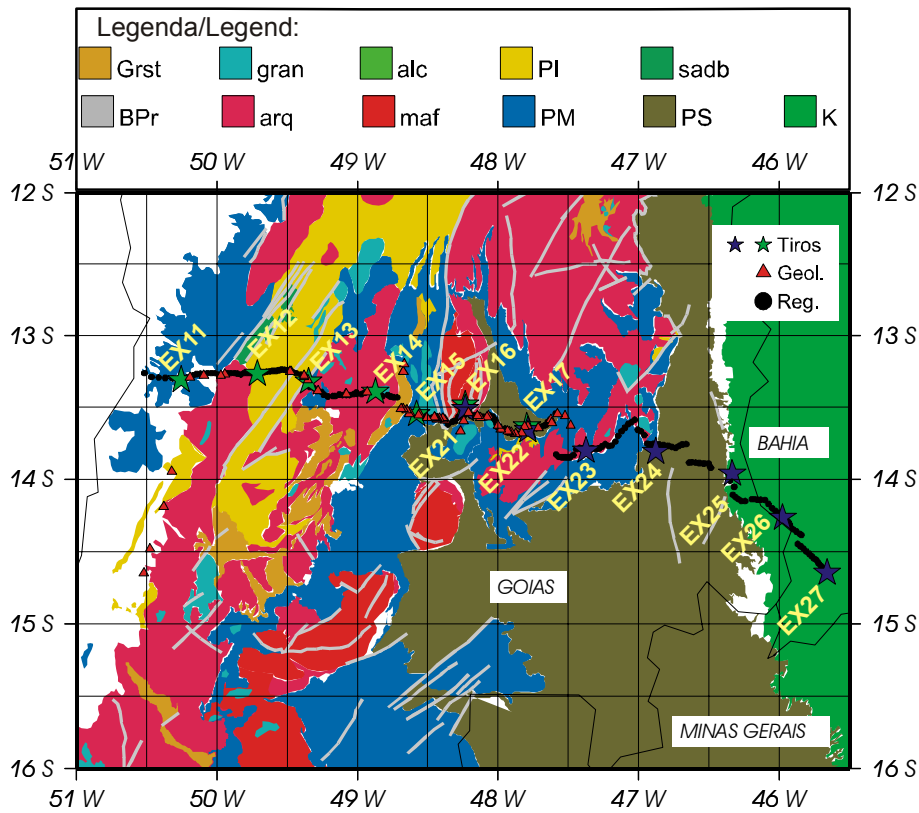


Figura 2 - Mapa geológico da região de estudo com os pontos de registros das duas linhas sísmicas.

Figure 2 - Geologic map of study region with shot points (stars) and register points (circles) of L1 and L2 lines.

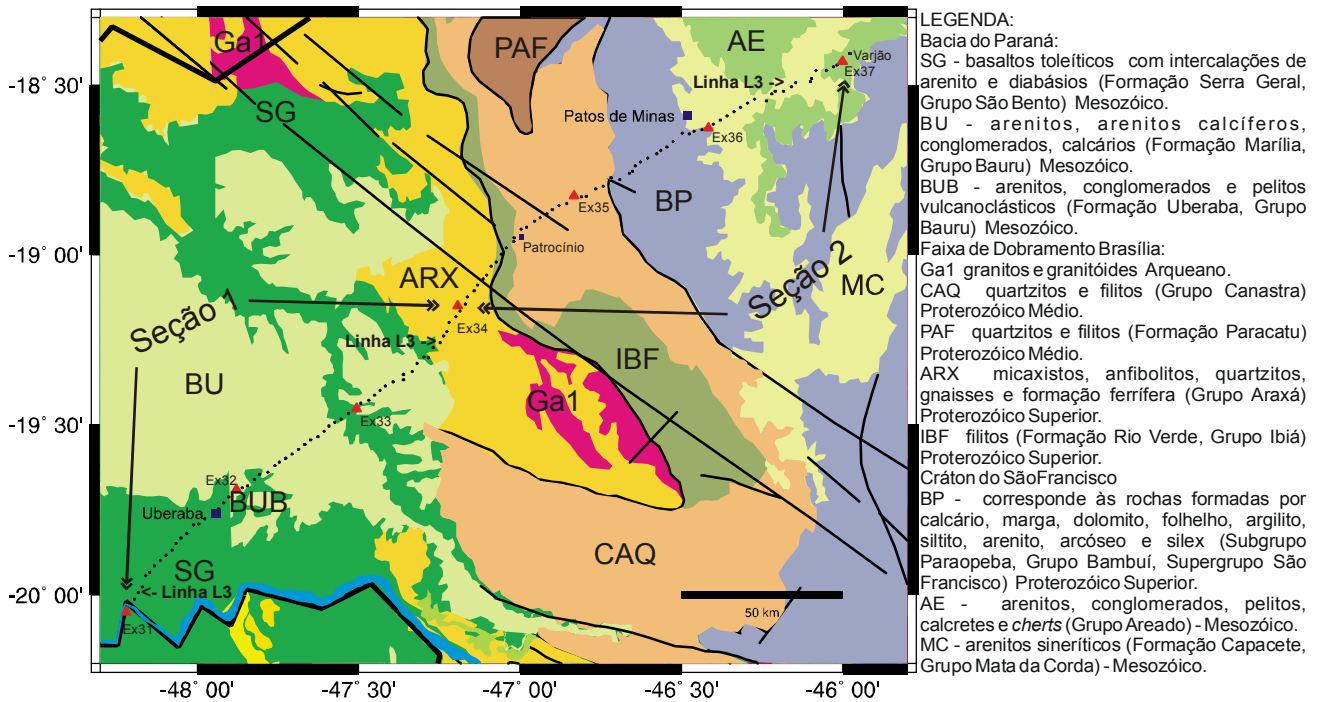


Figura 3 - Mapa geológico da região de estudo com a localização das explosões e dos registradores da linha L3.

Figure 3 - Geologic map of study region with shot points (triangles) and register points (circles) of L3 line.

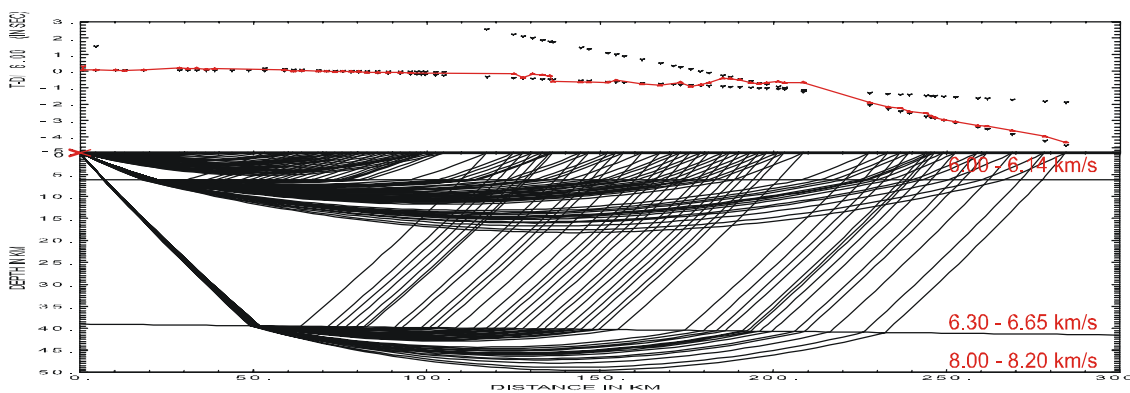


Figura 4.a - Modelo preliminar 2D da explosão EX11 da Linha L1 (Construído com o programa SEIS).
 Figure 4.a - Preliminary 2D model of EX11 shot point in L1 line (using with SEIS package).

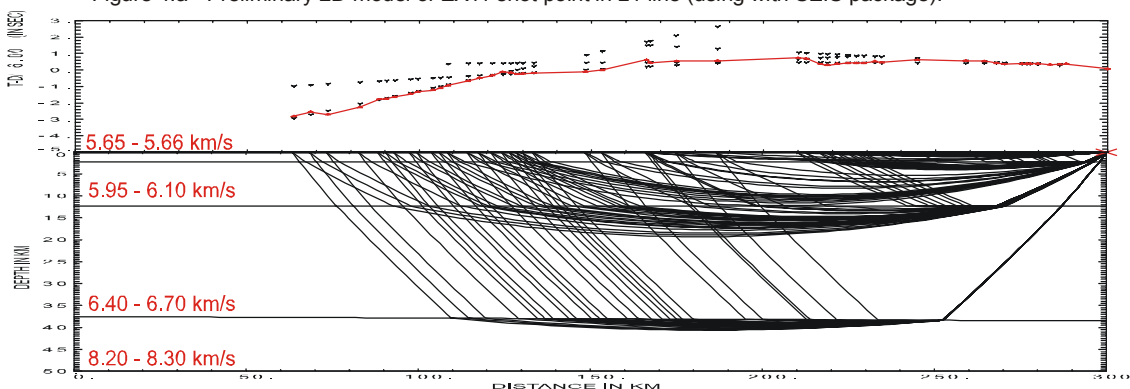


Figura 4.b - Modelo preliminar 2D da explosão EX17 da Linha L1 (Construído com o programa SEIS).
 Figure 4.b - Preliminary 2D model of EX17 shot point in L1 line (using with SEIS package).

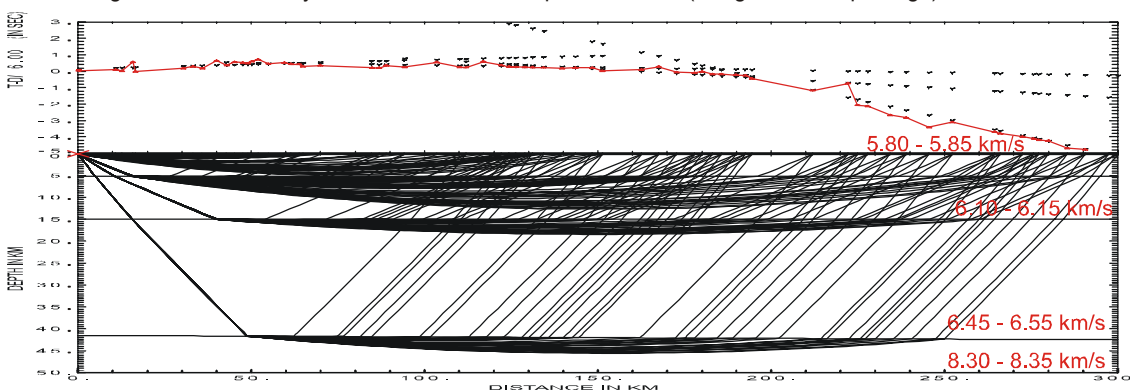


Figura 5.a - Modelo preliminar 2D da explosão EX21 da Linha L2 (Construído com o programa SEIS).
 Figure 5.a - Preliminary 2D model of EX21 shot point in L2 line (using with SEIS package).

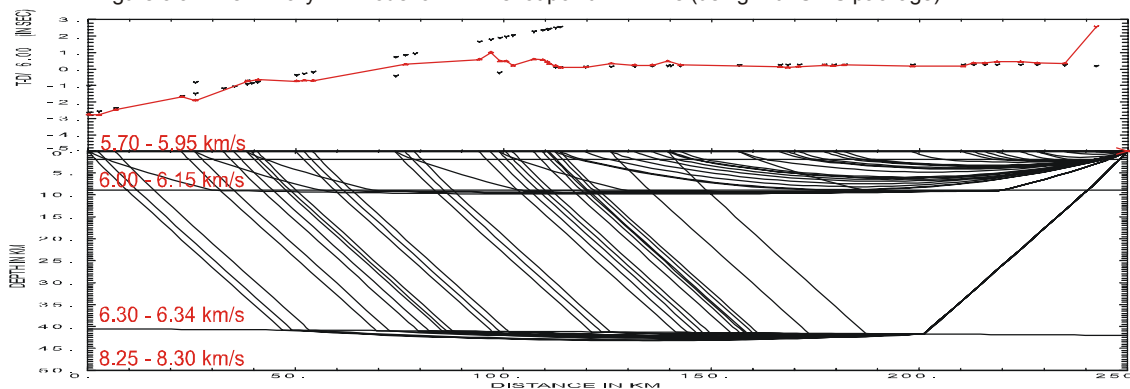


Figura 5.b - Modelo preliminar 2D da explosão EX26 da Linha L2 (Construído com o programa SEIS).
 Figure 5.b - Preliminary 2D model of EX26 shot point in L2 line (using with SEIS package).

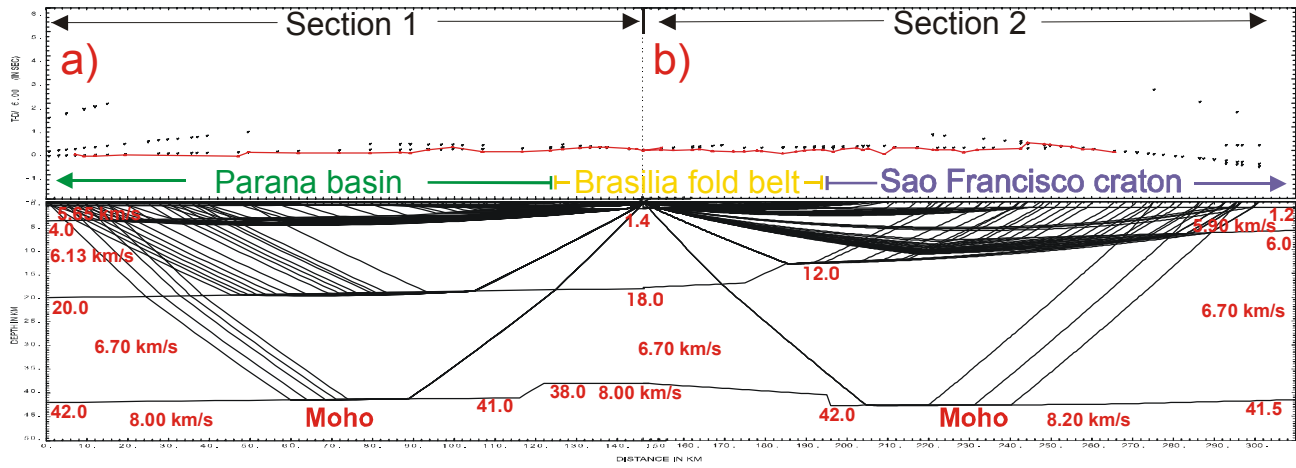


Figura 6 - a) Traçado de raios das refrações da Seção 1 (tiro reverso - EX34).
 b) Traçado de raios das refrações da Seção 2 (tiro direto - EX34).
 Figure 6 - a) Ray tracing for Section 1 refractions (Reverse shot - EX34).
 b) Ray tracing for Section 2 refractions (Direct shot - EX34).

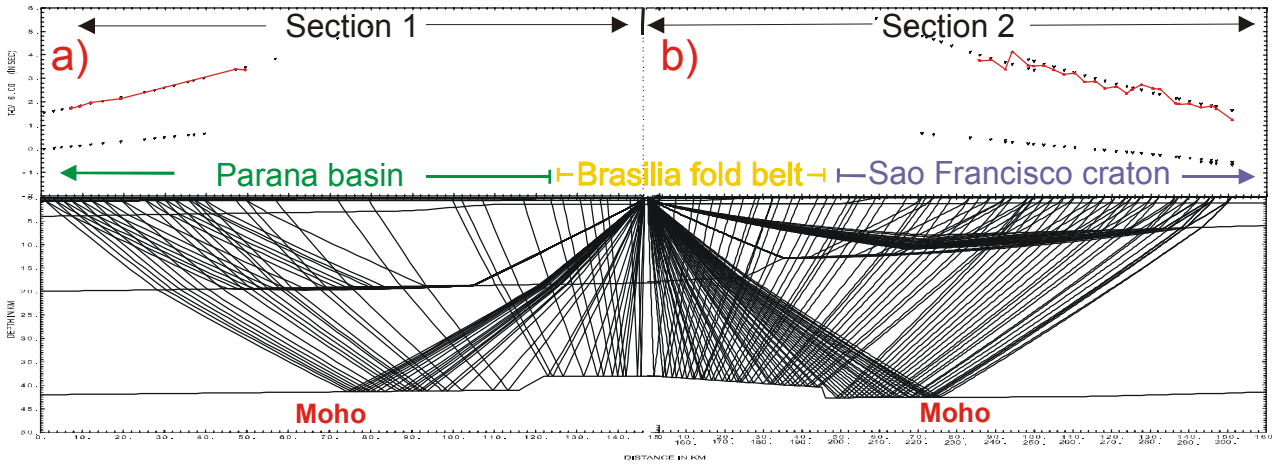


Figura 7 - a) Traçado de raios das reflexões em Moho da Seção 1 (tiro reverso - EX34).
 b) Traçado de raios das reflexões em Moho da Seção 2 (tiro direto - EX34).
 Figure 7 - a) Moho reflection ray tracing for Section 1 (Reverse shot - EX34).
 b) Moho reflection ray tracing for Section 2 (Direct shot - EX34).

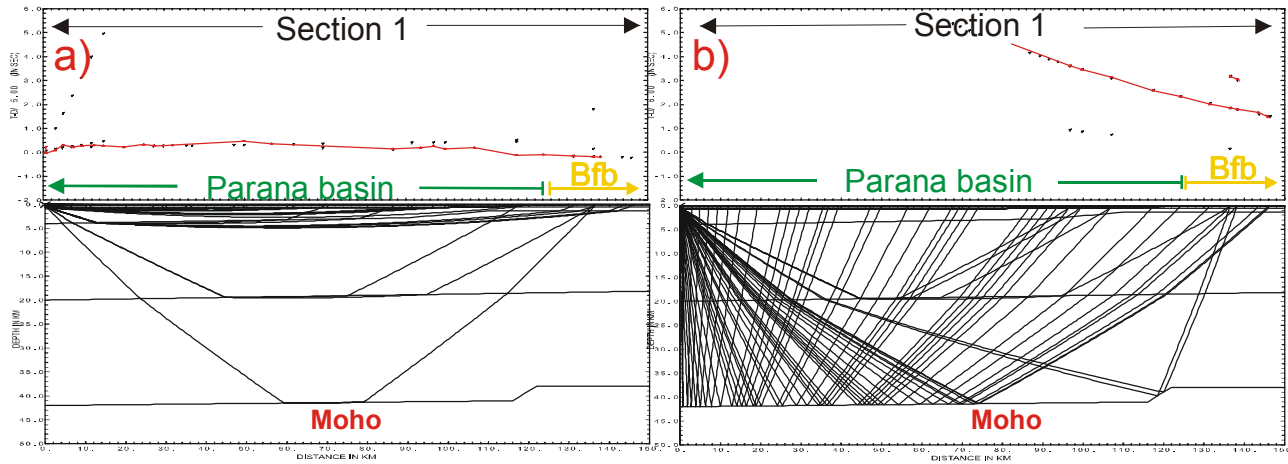


Figura 8 - Traçado dos raios para o tiro direto EX31 - Seção 1: a) refrações. b) reflexões em Moho.
 Figure 8 - Ray tracing for direct shot EX31 - Section 1: a) refractions b) Moho reflections.