

Caracterização sismológica da porção Sul da Bacia do Paraná e Escudo Sul-Rio-Grandense pelo método Função do Receptor

Matheus Fernandes da Cruz*¹, Marcus Vinicius Aparecido Gomes de Lima² e Jose Eduardo Pereira Soares¹, ¹Universidade de Brasília, ²Universidade Federal do Pampa

Copyright 2021, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 17th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 16-19 August 2021.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 17th International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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

This work deals with the application of the Receiver Function seismological method in data recorded by 8 seismographic stations located in the Southern portion of the Paraná Basin and the Sul-Rio-Grandense Shield, with the objective of obtaining information on the crustal thickness and V_p / V_s ratio of region. The results obtained show that the crustal thickness in the state varies from 36.6 km to 42 km with an average V_p / V_s of 1.76. The values of crustal thickness obtained demarcate the geological limit of the Paraná Basin and Escudo Sul-Rio-Grandense, observing a strip of thinner crust in the Escudo that coincides with the location of the Arch of Rio Grande.

Introdução

O planeta Terra é subdividido em camadas, cada qual com suas próprias propriedades físicas e o estudo dessas propriedades para regiões profundas é realizado quase que exclusivamente por métodos indiretos. Nesse contexto, a sismologia desempenha um papel fundamental, pois permite correlacionar as variações de velocidades das ondas sísmicas geradas por terremotos, às interfaces, que demarcam o limite entre duas camadas, as quais causam o efeito de refração e reflexão das ondas, fazendo com que uma onda P, por exemplo, ao incidir numa descontinuidade, tenha parte de sua energia convertida em outros tipos de ondas.

Dentre as diversas interfaces existentes no planeta, o presente trabalho tem como foco a descontinuidade de Moho, a qual demarca o limite entre a crosta e o manto, cuja profundidade pode variar de 30 km a 70 km nos continentes e de 7 km a 8 km nos oceanos (Fowler, 1990; Stein & Wysession, 2003).

Dentre os métodos sismológicos, a Função do Receptor (FR) se destaca por permitir estudos em grandes profundidades, fornecendo estimativas referentes a espessura crustal e razão V_p/V_s , sendo utilizado por

diversos autores de maneira bem-sucedida (Assumpção et al., 2013; Pavão et al., 2013; Lima, 2016).

Portanto, neste trabalho serão utilizados dados de oito estações sismográficas distribuídas pelo estado do Rio Grande do Sul, com o objetivo de obter valores referentes a espessura crustal e razão V_p/V_s sob as estações sismográficas, possibilitando a construção de um modelo da estrutura da crosta para a região, correlacionando os resultados a dados topográficos e gravimétricos.

Área de estudo

A área de estudo compreende todo o estado do Rio Grande do Sul (RS) e os dados utilizados são provenientes de estações sismográficas da rede BL da Rede Sismográfica Brasileira, localizadas nos municípios de Itaqui, Caçapava do Sul, Canela e Pelotas (ITQB, CPSB, CNLB e PLTB, respectivamente) e da rede XC de um projeto da FAPESP chamado Pantanal-Chaco-Paraná Basins (PCPB), localizadas nos municípios de Rosário do Sul, Unistalda, Alto Alegre e Crissiumal (RODS, UNIS, ALGR e CRSM, respectivamente); (Figura 1).

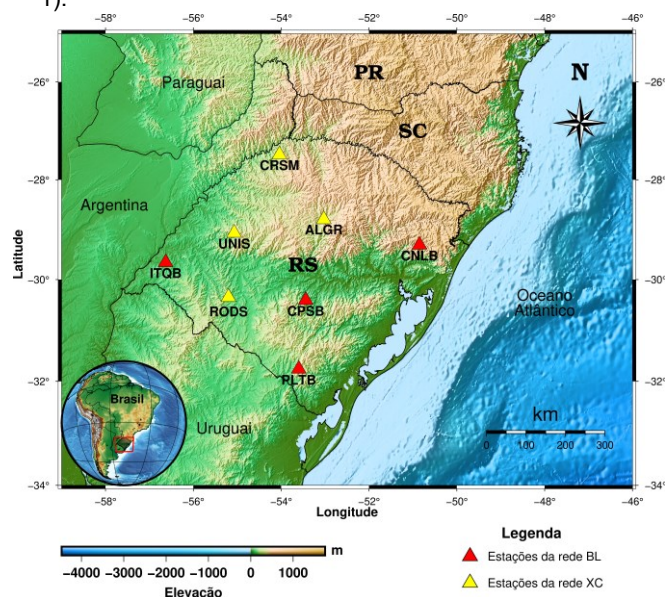


Figura 1 – Mapa topográfico da área de estudo com a localização das estações sismográficas utilizadas.

Contexto Geológico

O estado do Rio Grande do Sul pode ser dividido geologicamente em uma porção central, denominada Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRg), o qual é composto por associações de rochas ígneas predominantemente graníticas, pertencentes a Província Mantiqueira (Almeida et al., 1976).

A província do Paraná, onde se localiza a Bacia do Paraná, que é constituída por formações sedimentares, cujo depocentro possui uma espessura cumulativa de aproximadamente 7500 metros, dos quais 5500 metros são sedimentos, depositados dentre 385 milhões de anos, com início no Ordoviciano e término no Cretáceo (Milani, 1997). Na Bacia do Paraná é registrado o maior vulcanismo fissural observado em região continental, que resultou na acumulação de 2000 metros de basaltos sobre seus sedimentos (Milani & Thomaz Filho, 2000).

E pela Província Costeira, que é constituída por sedimentos do Cenozoico de composição siliciclástica (Tomazzeli et al., 2007); (Figura 2).

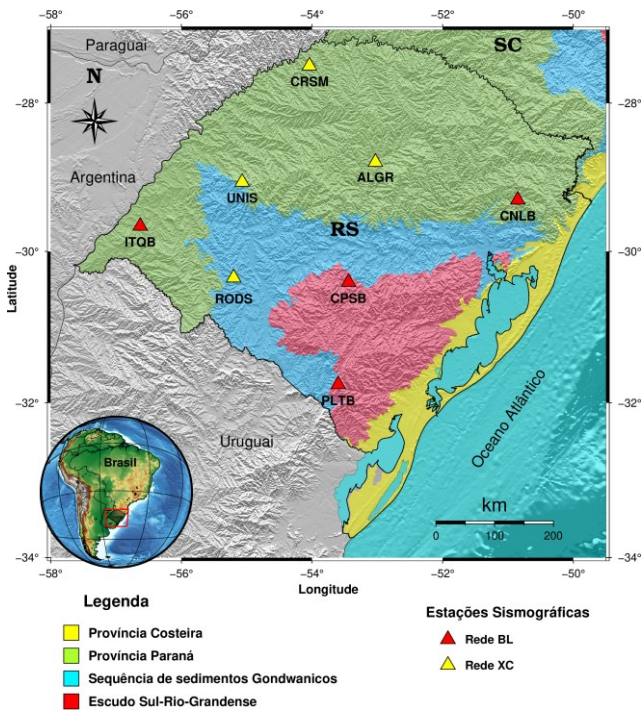


Figura 2 – Mapa do contexto geológico da área de estudo.

Metodologia

O método Função do Receptor, desenvolvido por Langston (1979), tem como objetivo inferir a estrutura crustal, em termos da espessura da crosta e razão V_p/V_s sob as estações sismográficas.

O método utiliza a propagação de ondas P geradas por eventos telessísmicos, que ao incidirem em uma interface que separa dois meios com velocidades distintas, tem

parte de sua energia convertida em onda S (Ps) e a outra parte sobre reflexões múltiplas (PpPs e PpSs + PsPs), que são registradas pelas estações sismográficas (Figura 3).

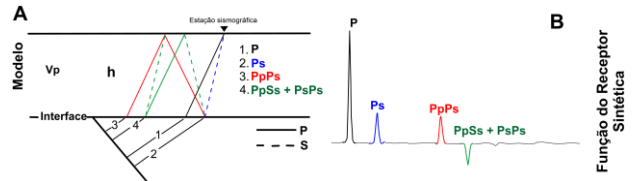


Figura 3 – (A) Modelo do caminho percorrido pelas ondas e suas conversões. (B) Registro de tempo e amplitude das ondas em termos da Função do Receptor.

A partir da diferença de tempo entre as chegadas das ondas P e Ps é possível obter informações sobre a estrutura interna da Terra a partir da deconvolução entre as componentes de registro radial e transversal pela componente vertical.

O processamento dos dados envolve primeiramente, a seleção dos eventos telessísmicos para cada estação sismográfica. Nesta etapa, foram selecionados apenas os eventos com distância epicentral entre 20° e 90° e magnitude maior que 5 Mb. A figura 4 abaixo mostra o mapa com os eventos selecionados para a estação CPSB no período de 2011 a 2018.

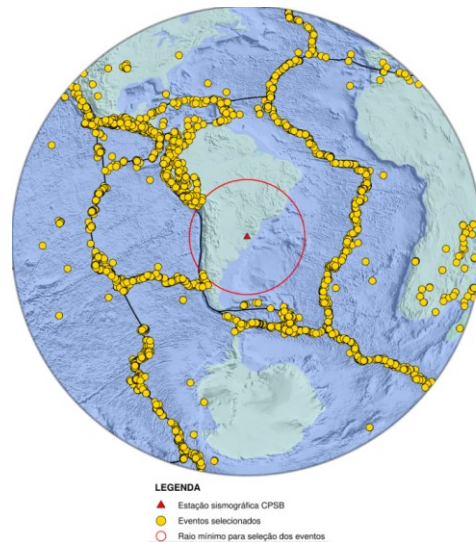


Figura 4 – Mapa mostrando a localização dos 3212 eventos telessísmicos selecionados para a estação CPSB.

Após a seleção dos eventos, é realizado a rotação do sistema de coordenadas de aquisição da estação ZNE (Vertical, Norte-Sul, Leste-Oeste) para o sistema ZRT (Vertical, Radial, Transversal), com o objetivo de separar as ondas P e S. Posteriormente é feito o cálculo das FRs

para cada evento de cada estação através da deconvolução entre as componentes de registro e são selecionadas as FRs que apresentarem a melhor relação da razão sinal-ruído. As FRs selecionadas são utilizadas como parâmetro de entrada no programa de inversão *HK-Stacking* (Zhu & Kanamori, 2000), para obter a estimativa dos valores referentes a espessura crustal e razão Vp/Vs. Por fim esses dados são interpolados gerando um mapa de espessura crustal para a região.

Resultados

O resultado do cálculo e seleção das FRs para a estação CPSB na sua componente radial é apresentado na figura 5.

Para esta estação após a seleção das melhores Funções do Receptor, 82 traços de FRs foram utilizados como parâmetro de entrada no programa *HK-Stacking*. Na figura 5 é possível observar o registro da onda P bem definida, centrada em 0 segundos e a chegada da onda Ps (conversão da onda P em S na descontinuidade de Moho) ocorre em torno de 5 segundos, comportamento esse que é observado no geral em todas as estações sismográficas.

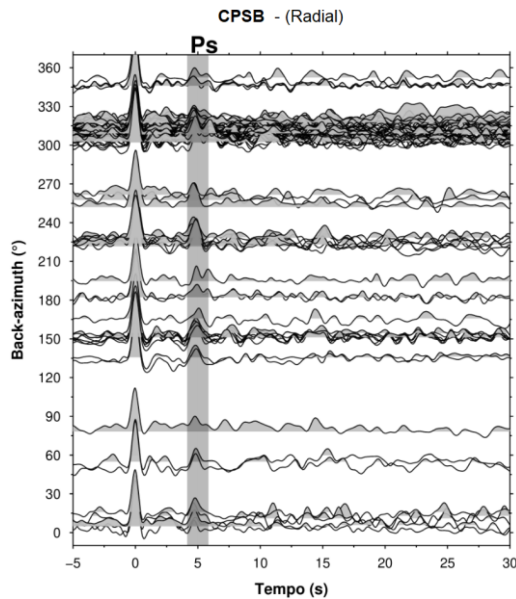


Figura 5 – Resultado do cálculo e seleção das FRs para a estação CPSB.

Após o cálculo e seleção das Funções do Receptor para cada estação, tais dados foram utilizados como parâmetro de entrada no programa *HK-Stacking* para obter a estimativa dos valores referentes a espessura crustal e razão Vp/Vs.

Para a aplicação deste método é necessário informar o valor médio da velocidade da onda P do meio, o qual foi adotado o valor de 6,4 km/s. O resultado do método *HK-Stacking* se trata de um gráfico Vp/Vs (km/s) versus

Profundidade (km), onde a escala de cores representa o grau de coerência em porcentagem (Figura 6).

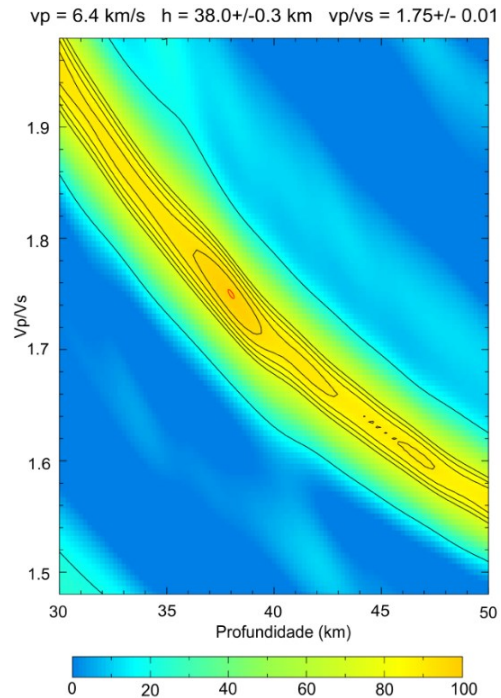


Figura 6 – Resultado do método *HK-Stacking* para a estação CPSB.

A aplicação do método *HK-Stacking* foi realizada em todas as estações sismográficas e a tabela 1 mostra a compilação dos valores de espessura crustal e razão Vp/Vs obtidos a partir do processamento dos eventos telessísmicos, com suas respectivas incertezas.

Tabela 1 – Espessura crustal e razão Vp/Vs obtidos para cada estação sismográfica.

| Estação | H (km) | Vp/Vs |
|---------|--------------|---------------|
| ITQB | 41,6 +/- 2,4 | 1,75 +/- 0,05 |
| CPSB | 38,0 +/- 0,3 | 1,75 +/- 0,01 |
| PLTB | 36,6 +/- 0,7 | 1,79 +/- 0,01 |
| CNLB | 39,4 +/- 4,2 | 1,78 +/- 0,09 |
| RODS | 42,0 +/- 2,5 | 1,71 +/- 0,06 |
| UNIS | 41,0 +/- 4,3 | 1,80 +/- 0,10 |
| ALGR | 42,0 +/- 1,1 | 1,80 +/- 0,03 |
| CRSM | 41,4 +/- 0,4 | 1,74 +/- 0,02 |

A partir da tabela, observa-se que para o estado do Rio Grande do Sul, os valores de espessura crustal variam de 36,6 km a 42 km e o valor da V_p/V_s médio é de 1,76.

As estações sismográficas que estão localizadas acima do Escudo Sul-Rio-Grandense apresentem valores de espessura mais baixos comparado aos valores associados as estações localizadas sobre a região da Bacia do Paraná.

Os dados da tabela 1 foram interpolados a fim de se construir um mapa da espessura crustal para o estado do Rio Grande do Sul (Figura 7).

A partir do mapa da figura 7, é possível observar duas

áreas distintas em relação a espessura crustal para o estado do Rio Grande do Sul, a região da Bacia do Paraná que é caracterizada por uma crosta de espessura variando entre 39,4 km (CNLB) a 42 km (ALGR) e a região do ESRg que possui valores de espessura crustal variando entre 36,6 km (PLTB) a 38 km (CPSB). Entre essas duas regiões existe uma zona transicional correlacionada com o principal limite litológico existente no RS. Além disso, é possível observar uma estrutura de direção NW-SE relacionada a baixos valores de espessura crustal que está localizada sobre a região do Arco de Rio Grande, provável estrutura responsável pelo soerguimento da crosta da região.

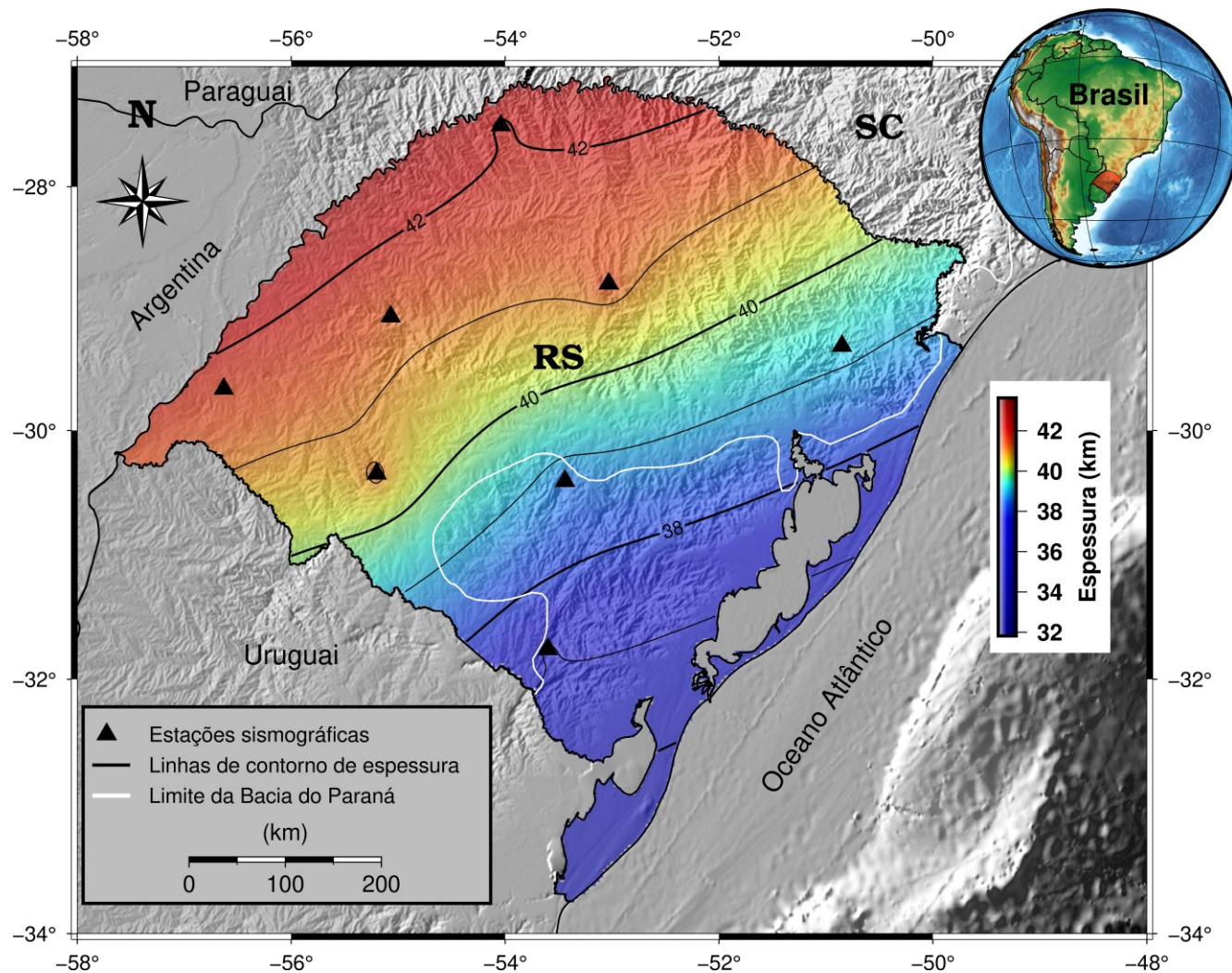


Figura 7 – Mapa de espessura crustal para o estado do Rio Grande do Sul.

Os dados de espessura crustal obtidos foram integrados a dados topográficos e gravimétricos (anomalia Bouguer) na forma de um perfil de 530 km de extensão de direção S-N (Figura 8).

Analisando a figura 8, primeiramente é possível observar no mapa da anomalia Bouguer, que o limite geológico entre a Bacia do Paraná e Escudo Sul-Rio-Grandense é bem demarcado, apresentando valores mais baixos da anomalia Bouguer para a região da Bacia do Paraná (~50 mGal) em comparação ao ESRg (~150 mGal).

Observa-se no geral, que regiões de altos topográficos e

crosta espessa estão correlacionadas com valores baixos da anomalia Bouguer para o perfil.

Essa característica pode ser devido a efeitos intracrustais, como por exemplo, variações laterais de densidade da crosta. Porém, para a região de estudo, esta característica está mais associada a uma mudança significativa na profundidade da descontinuidade de Moho, efeito esse que é explicado pelo fato de que em regiões de crosta espessa, a mesma toma espaço do manto que possui maior densidade, fazendo com que os valores de Anomalia Bouguer sejam menores para estas regiões.

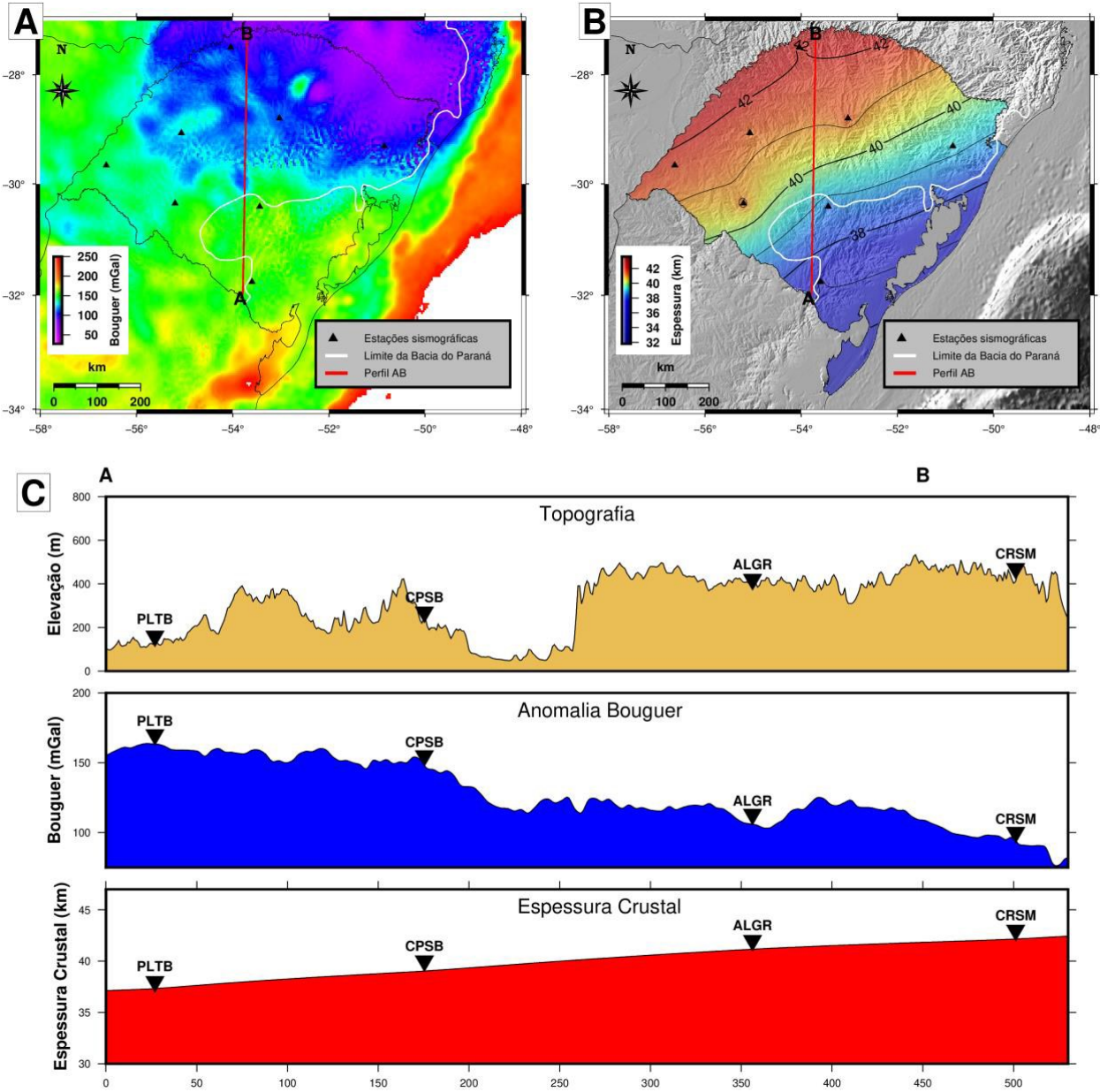


Figura 8 – Integração dos dados de espessura crustal, topográficos e Anomalia Bouguer. Em (a) mapa gravimétrico da Anomalia Bouguer, em B) mapa da espessura crustal do RS e em C) gráficos das três variáveis (topografia, Bouguer, espessura crustal).

Discussão e Conclusões

A partir do processamento dos dados sismológicos pelo método Função do Receptor, foi possível obter informações importantes sobre a estrutura crustal para o estado do RS. Os valores obtidos se apresentam de maneira satisfatória e corroboram com trabalhos realizados anteriormente na mesma área por outros autores. Para a estação CPSB, por exemplo, o valor de espessura crustal obtido neste trabalho foi de 38 +/- 0,3 km, semelhante aos valores obtidos por Assumpção (2013) que foi de 36,6 +/- 1,4 km, porém com um erro menor.

Para todo o estado, os valores de espessura crustal obtidos variam de 36,6 km a 42 km, onde foi possível observar que valores próximos ou cima de 40 km estão associados a Bacia do Paraná e valores menores que estes para a região do ESRg. E para a região do ESRg, foi observado uma faixa de crosta mais fina, que corrobora com a localização do Arco de Rio Grande.

A partir da integração dos dados sismológicos aos dados gravimétricos e topográficos é possível observar uma correlação entre essas variáveis. No geral em regiões com altos topográficos e crosta espessa existe um baixo da Anomalia Bouguer, efeito causado pela mudança na profundidade da descontinuidade de Moho.

Por fim, para um maior detalhamento dos resultados, e assim obter informações mais precisas do comportamento da estrutura da descontinuidade de Moho para o estado do Rio Grande do Sul, se torna necessário a instalação de novas estações sismográficas no estado, possibilitando obter resultados melhores e a geração de modelos tridimensionais, auxiliando na visualização dessa estrutura.

Agradecimentos

Cruz, M.F, agrade à Sociedade Brasileira de Geofísica - SBGf pelo apoio concedido para a realização deste trabalho por meio do Programa de iniciação Científica da SBGf/2019-2020. Os autores em geral agradem a FAPESP pela utilização dos dados da rede XC e à Rede Sismográfica Brasileira pela utilização dos dados da rede BL.

Referências

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; NEVES, B.B.B. 1976. The upper Precambrian of South America. *Boletim IG*, v. 7, p. 45–80.

ASSUMPÇÃO, M.; BIANCHI, M.; JULIÀ, J.; DIAS, F.L.; FRANÇA, G.S.; NASCIMENTO, R.; DROUET, S.; PAVÃO, C.G.; ALBUQUERQUE, D.F.; LOPES, A.E.V. 2013. Crustal thickness map of Brazil: Data compilation and main features. *Journal of South American Earth Sciences*, Elsevier, v. 43, p. 74–85.

FOWLER, C.M.R. 1990. *The solid earth: an introduction to global geophysics*. [S.l.]: Cambridge University Press, p. 472.

LANGSTON, C.A. 1979. Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Wiley Online Library, v. 84, n. B9, p.4749–4762.

LIMA, J.N. 2016. Aplicação do método de função do receptor para determinação da estrutura da crosta e manto superior sob a região sul do Brasil. Universidade Federal do Pampa.

MILANI, E.J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-ocidental. Tese (Doutorado) —Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MILANI, E.J.; FILHO, A.T. 2000. Sedimentary basins of South America. *Tectonic Evolution of South America*, In-Fólio Produção Editorial, Rio de Janeiro, Brasil, v. 31, p. 389–449.

PAVÃO, C.G. 2010. Estudo de descontinuidades crustais na província Borborema usando a função do receptor. M. Thesis, Universidade de Brasília, Brasília.

STEIN, S.; WYSESSION, M. 2003. *An introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. [S.l.]: Blackwell Publishing, p. 498.

TOMAZELLI, L.J.; DILLENBURG, S.R.; VILLWOCK, J.A.; BARBOZA, E.G.; BACHI, F.A.; DEHNHARDT, B.A.; ROSA, M.L.C.C. 2007. Sistemas deposicionais e evolução geológica da planície costeira do Rio Grande do Sul: Uma síntese. Iannuzzi R, Frantz JC (eds), v. 50.

ZHU, L.; KANAMORI, H. 2000. Moho depth variation in southern California from teleseismic receiver functions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, v. 105, n. B2, p. 2969–2980.