

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Estrutura da plataforma continental do sudeste com ondas de superfície do sismo de S. Vicente de 2008

AUTORES:

Paula Gomes de **Carvalho** & Marcelo **Assumpção**

INSTITUIÇÃO:

Universidade de São Paulo – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

ESTRUTURA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO SUDESTE COM ONDAS DE SUPERFÍCIE DO SISMO DE S. VICENTE DE 2008

Abstract

We present the first results of a study about the structure of the continental shelf in SE Brazil. We use records of the earthquake occurred in 2008 near São Vicente, São Paulo's southern coast. The surface waves (Love and Rayleigh) show variation of velocity with the period (dispersion) that is being analyzed using five seismographic stations located in Brazilian SE. The preliminary results shown in this paper are compared with velocities found by Feng et. al., 2007 for the periods of 10, 20 and 30s. We also obtained the velocity profile for the ESAR station (Angra dos Reis, RJ - Brazil) using the velocity inversion (Herrmann & Ammon, 2002). Velocities in the continental crust velocity are larger than the oceanic crust velocity and also indicates that the Santos Basin's basement is about 12 kilometers deep. The velocity inversion of the others stations will be made in the future, as well as the study of the focal mechanism of the earthquake.

Introdução

O sismo ocorrido em 22 de abril de 2008 no Oceano Atlântico, a 270 km da cidade de São Vicente, litoral Sul de São Paulo, foi sentido em várias cidades e registrado por diversas estações sismográficas brasileiras. O tremor (de 5,2 graus na Escala Richter) ocorreu na Bacia de Santos, que é uma ampla bacia sedimentar pertencente à Margem Sudeste Brasileira, localizada entre as bacias de Campos, a norte, e de Pelotas, a sul. O arcabouço dessa bacia é composto por uma coluna evaporítica, depositada durante a separação África – América do Sul, bem preservada in situ em algumas áreas, que foi formada devido à alta taxa de subsidência que levou a acumulação de mais de 2.000 metros de sais em menos de um milhão de anos (Mohriak, Szatmari & Anjos, 2008).

Como principais objetivos do trabalho podemos apontar o estudo da estrutura da crosta na plataforma continental e o mecanismo de falhamento do sismo de São Vicente. Como se sabe, os maiores campos produtores de petróleo do Brasil estão localizados na plataforma e perto do talude (águas profundas). Desse modo, este projeto visa subsidiar estudos sobre a sismicidade dessas áreas da costa leste brasileira (estimando o risco sísmico, além de auxiliar na localização de epicentros na costa leste brasileira), utilizando os registros de ondas de superfície (Love e Rayleigh) geradas pelo sismo de São Vicente (registradas por estações mostradas na Figura 1) e suas variações de velocidade com o período (dispersão). Além de, posteriormente, utilizar o modelamento das formas de onda para determinar o mecanismo focal do sismo, com a finalidade de obter mais informações sobre a estrutura da crosta da plataforma continental e do talude da costa brasileira.

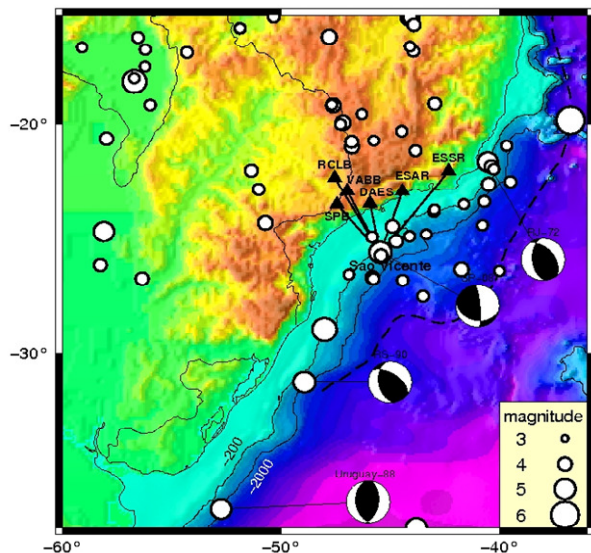


Figura 1: Sismos ocorridos no SE (círculos brancos), com destaque para o de São Vicente (círculos brancos). Também estão plotadas as estações (triângulos pretos) que analisadas. Os diagramas “beach-balls” são estimativas de mecanismos de sismos maiores, indicando predominância de falhamentos inversos. A linha tracejada no oceano mostra o limite entre crosta continental esticada (e submersa) e crosta oceânica.

Metodologia

Os sismogramas originários de um terremoto são dominados por ondas de longo período e maior amplitude que chegam depois das ondas de corpo Primárias (P) e Secundárias (S). Essas ondas são denominadas ondas de superfície e possuem a energia concentrada próxima a superfície da Terra (Stein & Wysession, 2003).

Podem ser de dois tipos: Love e Rayleigh e são trens de ondas que têm um poder de destruição maior do que as ondas P e S. As ondas Love correspondem à sobreposição de ondas SH (componente horizontal das ondas S) com vibrações horizontais concentradas nas camadas mais externas da Terra. Já a onda de superfície Rayleigh é uma combinação de vibrações P e SV (componente vertical das ondas S) contidas no plano vertical.

A respeito desse tipo de onda, podem ser considerados dois tipos de velocidades: de Fase (velocidade com que cada pico de onda se propaga no espaço) e de Grupo (velocidade com que o grupo de ondas se propaga como um todo no espaço).

A velocidade de propagação das ondas de superfície varia com o período. Essa variação depende do intervalo amostrado em profundidade por cada período. Isso faz com que a dispersão das ondas de superfície tenha papel importante no estudo da estrutura da Terra. Períodos maiores geralmente apresentam maiores velocidades e são registrados primeiro, pois como são proporcionais ao comprimento de onda, períodos maiores amostram maiores profundidades, que possuem velocidades de propagação das ondas sísmicas superiores (Stein & Wysession, 2003).

Nessa primeira etapa do processamento dos dados, além pacote de Herrmman & Ammon (2002) utilizado para a construção das curvas de dispersão da onda Rayleigh (Figura 2) e também para a

inversão de velocidade em profundidade, foi utilizado o programa SAC (Seismic Analysis Code) para a filtragem dos sismogramas (Figura 3).

Foram analisados dados de cinco estações (todas localizadas na porção SE do Brasil): ESAR, ESSR, RCLB, SPB e VABB, mostradas na Figura 1. Os valores de velocidades de grupo encontrados também foram comparados com os analisados por Feng em seu trabalho.

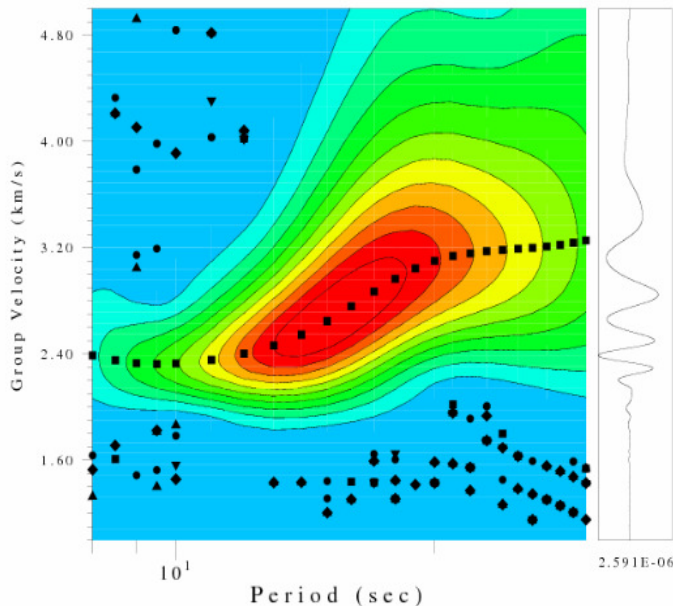


Figura 2: Exemplo da Curva de Dispersão gerada pelo pacote de Herrmann & Ammon (2002) para a estação ESAR. Cores quentes representam períodos de maior energia da onda de superfície. Essa curva foi invertida para a construção do perfil de velocidade.

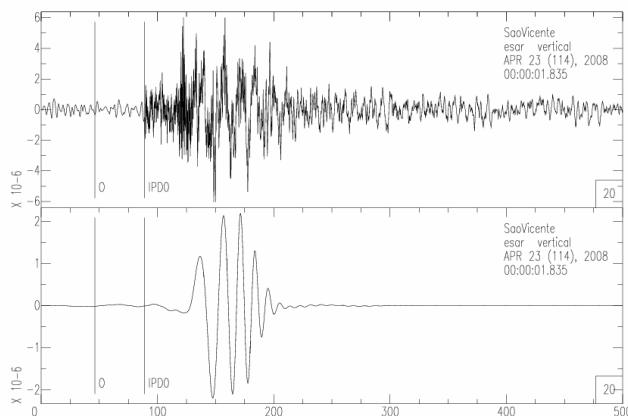


Figura 3: Sismograma filtrado pelo SAC para estação ESAR. O traço de baixo é o resultado do filtro match que passa apenas a onda Rayleigh definida na Figura 2. Nota-se que períodos maiores das ondas de superfície apresentam maiores velocidades, pois amostram interfaces mais profundas.

Resultados e Discussão

As curvas de dispersão obtidas com o pacote de Herrmann & Ammon (2002) mostram que existe uma variação entre os resultados para estação com o percurso das ondas somente no oceano e com o percurso tanto no oceano quanto no continente, como pode ser visto na Figura 4, evidenciando uma

diferença de composição geológica entre esses percursos. Os valores encontrados por Feng (2007) para períodos de 10, 20 e 30s também estão representados por quadrados vermelhos e representam

uma média da velocidade da onda Rayleigh no trajeto dentro do continente para cada um dos períodos representados.

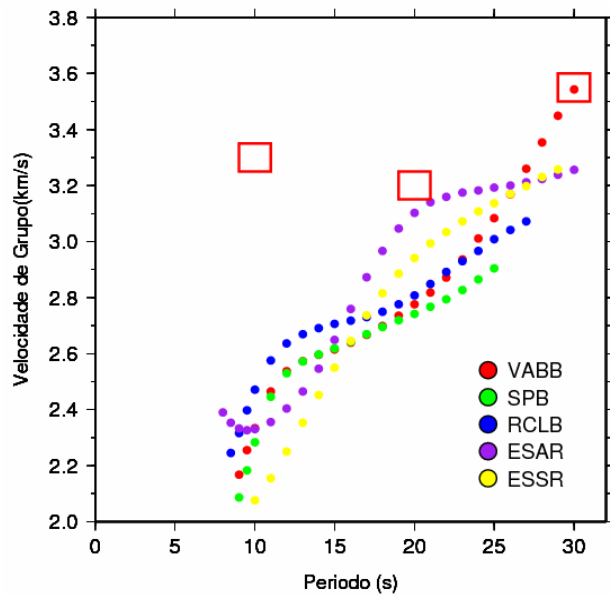


Figura 4: Curvas de Dispersão para a onda Rayleigh para o sismo de São Vicente. Quadrados vermelhos são os valores de velocidade encontrados por Feng et. al. (2007) para os períodos correspondentes a 10, 20 e 30s.

Nota-se que a estação ESAR é a que apresenta maior diferença nos valores de dispersão em relação às demais estações. Isso porque o percurso epicentro-ESAR é somente no oceano, ao passo que das demais estações foi um percurso misto oceano mais continente.

As velocidades apresentadas por Feng para os períodos de 10, 20 e 30s (representadas pelos quadrados vermelhos na Figura 4) são maiores do que as medidas aqui, pois as velocidades das ondas de superfície encontradas por Feng são praticamente somente uma média da Velocidade Continental (V_c), há menor precisão dos dados a partir do limite crostas oceânica – continental, ao passo que as calculadas nesse trabalho correspondem a uma média entre V_c e Velocidade Oceânica (V_o). Esse resultado encontrado evidencia que a velocidade de propagação das ondas de superfície em estruturas oceânicas é menor do que em continentais.

Utilizando-se os resultados de Feng et. al., 2007 (mostrados nas Figuras 5a, 5b e 5c), foram calculados valores médios da velocidade das ondas Rayleigh (figura 6a) no continente para as estações analisadas, exceto ESAR, e foi traçado um perfil de velocidade x profundidade (Figura 6b), através um modelo geológico fixado a priori (com o uso de um shell script).

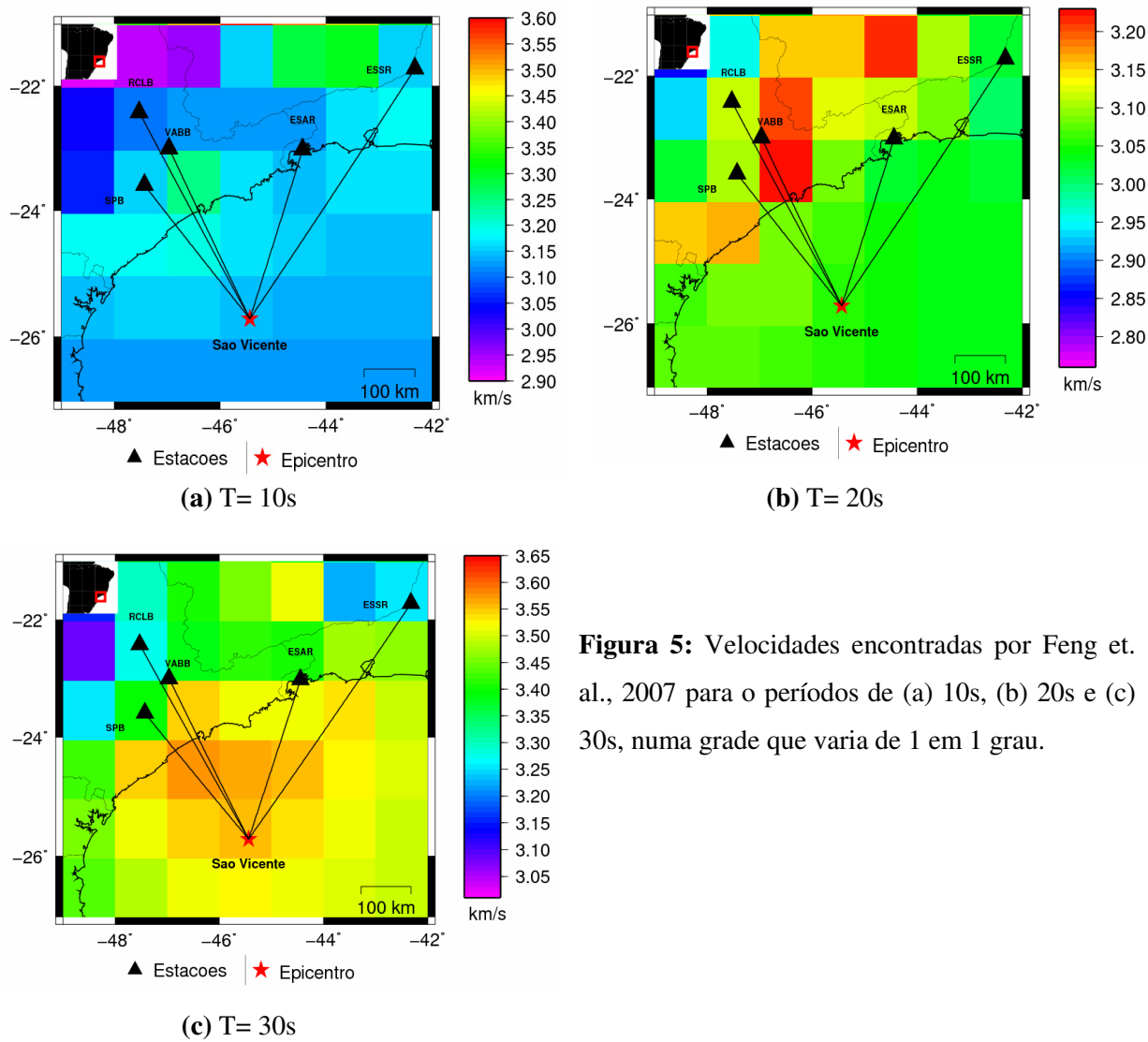


Figura 5: Velocidades encontradas por Feng et. al., 2007 para o períodos de (a) 10s, (b) 20s e (c) 30s, numa grade que varia de 1 em 1 grau.

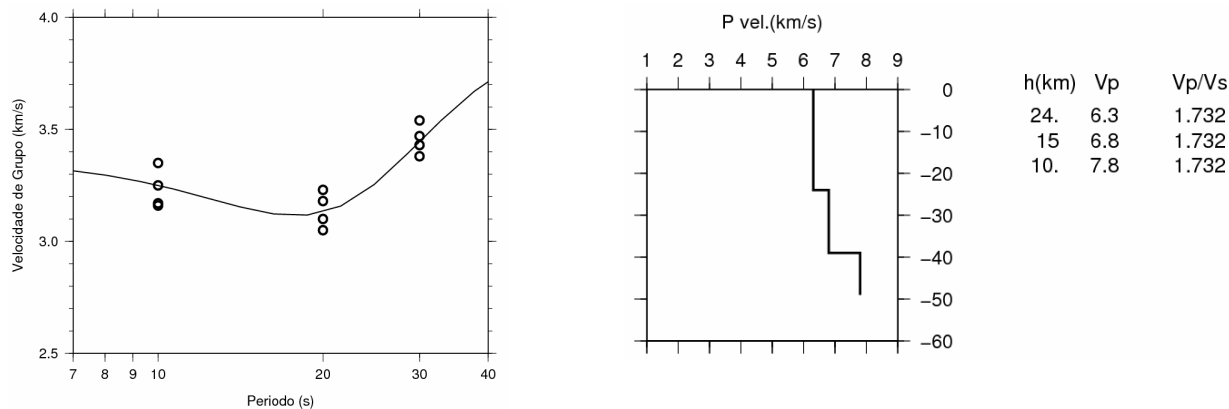


Figura 6: (a) Curva de dispersão com valores médios das velocidades da onda Rayleigh obtida de Feng et. al. (2007) para a parte continental. (b) Modelo Geológico da crosta continental, fixado.

Na figura acima, pode ser observado que o modelo geológico simples para uma crosta continental, fixado a priori, que melhor se ajustou aos dados de velocidades médias no continente apresenta três nítidas camadas: a primeira com velocidade média das ondas P de 6,3 km/s, correspondendo à crosta

superior; abaixo a crosta inferior com espessura de 15 km e velocidade de 6,8 km/s) e por fim a aproximadamente 39 km a divisão crosta – manto, caracterizada pelo brusco aumento de velocidade, onde a velocidade das ondas P passa para 7,8 km, correspondendo ao início do manto superior.

Com o pacote de Herrmann & Ammon (2002) (utilizando os dados de dispersão das ondas Rayleigh) foi feita a inversão de velocidade de grupo inicialmente somente para a estação ESAR. A escolha da inversão para essa estação reside no fato de ela ser a única com percurso das ondas de superfície somente em área oceânica (que consiste no principal objeto de estudo desse trabalho). A inversão realizada, bem como o ajuste dos dados pela curva de dispersão podem ser vistos nas Figuras 7 e 8, respectivamente.

Para o modelo inicial foi usada uma velocidade constante de 3,5 km/s para a onda S para todas as camadas.

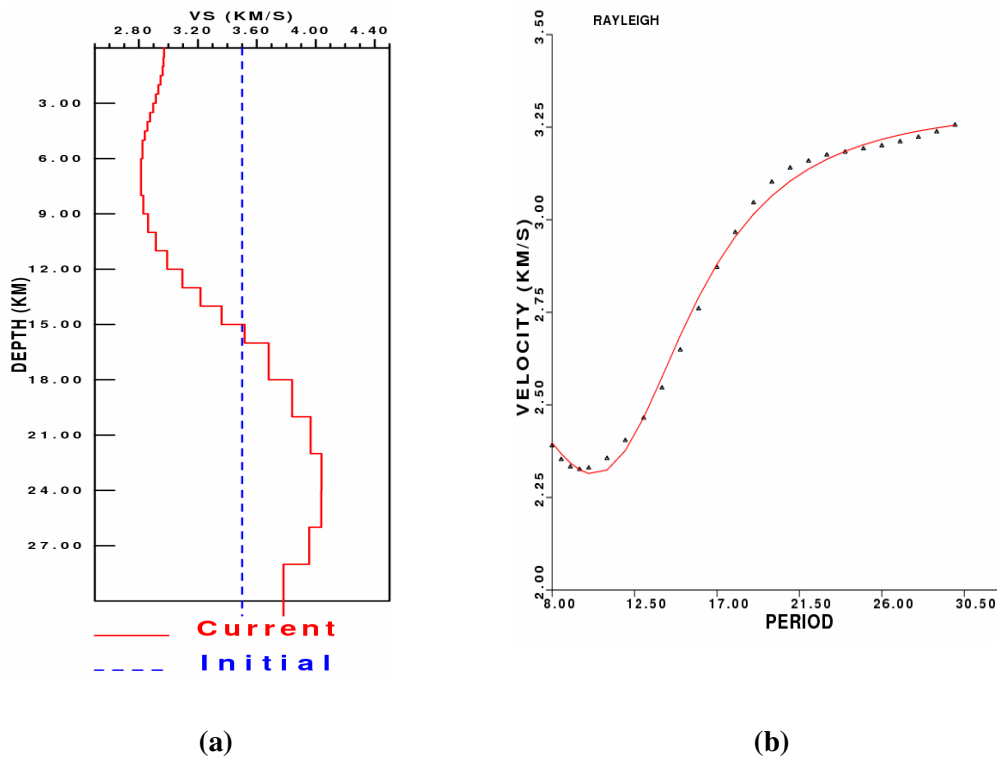


Figura 7: (a) Perfil de velocidade gerado através do programa Surf96 (Herrmann & Ammon, 2002) para dados de dispersão da estação ESAR. Linha azul é o modelo inicial, linha vermelha é o modelo final. $V_s = 3,5$ km/s do modelo inicial corresponde à velocidade esperada do embasamento da crosta superior. (b) Curva de dispersão gerada pelo Surf96 e utilizada para a inversão de velocidade mostrada em (a). Linha vermelha corresponde ao melhor ajuste aos dados da estação ESAR (triângulos pretos).

Analisando-se a Figura 7(a), pode-se identificar o início do embasamento da plataforma continental entre 12 e 15 km, onde já se pode observar uma velocidade das ondas S na faixa de 3,5 km/s, que é uma velocidade típica em rochas cristalinas, sendo o início da crosta. Os primeiros 12 km correspondem à camada de sedimentos da plataforma.

Conclusões

Resultados obtidos da comparação dos valores da velocidade de propagação das ondas de superfície obtido através do sismo de São Vicente com os mostrados por Feng et. al. (2007) indicam que a velocidade de propagação das ondas na crosta continental é maior do que na crosta oceânica.

Modelo geológico fixado (em 6b) para se ajustar a curva de dispersão mostrada em 6a, sugere uma espessura média de 39 km da crosta continental, tendo velocidades da onda P variando de 6,3 a 6,8 km/s para crosta superior e inferior, respectivamente.

O uso do Pacote de Herrmann & Ammon (2002), permitiu a inversão de velocidade para a estação ESAR, podendo ser inferido uma camada de 12 a 15 km de espessura de sedimentos. O início da crosta pode ser identificado na faixa da velocidade da onda S de 3,5 km/s, velocidade correspondente à de rochas cristalinas. A espessura da crosta não pôde ser definida, pois os períodos observados não foram grandes o suficiente ($T \leq 30s$).

Futuramente, as demais estações também serão utilizadas para a realização da inversão de velocidade através da “remoção” da parte continental do trajeto epicentro – estação, obtendo-se um perfil de velocidade x profundidade somente para a plataforma continental, principal foco de estudo desse trabalho, podendo-se desta forma, possivelmente, conseguir informações mais confiáveis sobre a espessura média do pacote de sedimentos.

Agradecimentos

Ao IAG/USP pela infra-estrutura necessária para o desenvolvimento desta pesquisa, à ANP (PRH-19) pela bolsa de Iniciação Científica para Paula Gomes de Carvalho e ao Grupo de Sismologia do IAG.

Referências Bibliográficas

Feng et. al., 2007, M; S. Van der Lee and M. Assumpção, 2007. Upper mantle structure of South America from joint inversion of waveforms and fundamental-mode group velocities of Rayleigh waves. J. Geophys. Res., 112, B04312, doi:10.1029/2006JB004449.

Herrmann, R.B. and Ammon, C.J., 2002, Computer Programs in Seismology, Vol. IV, St. Louis University, Missouri.

Mohriak, W.; Szatmari, P; Couto dos Anjos, S. M.: SAL: Geologia e Tectônica – exemplos nas Bacias Brasileiras. 2008.

Stein & Wysession, An Introduction to Seismology, Earthquakes and Earth Structure. 2003.