

## Estudo de descontinuidades rasas com função do receptor de alta freqüência na Província Borborema.

Cesar Garcia Pavão, Observatório Sismológico/IG/UnB, Brasil  
George Sand França, Observatório Sismológico/IG/UnB, Brasil

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11<sup>th</sup> 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.

### Resumo

A estimativa de descontinuidades na crosta é essencial para o detalhamento de estruturas e feições geológicas, além de corroborarem para o entendimento da evolução tectônica regional. Neste trabalho, utiliza-se o método da Função do Receptor de Langston (1979) com eventos telessísmicos que incidem sob uma estação sismográfica com um ângulo próximo da vertical. Remove-se a resposta do instrumento e de estruturas próximas a fonte. O sismograma sintético obtido após a deconvolução entre as componentes horizontais possui um primeiro pico referente à onda P, seguido de picos menores da onda Ps e múltiplas. A onda Ps é a onda P convertida em S ao passar por uma descontinuidade. Utilizaram-se sete estações sismográficas de banda larga estrategicamente localizadas na Província Borborema. Preliminarmente, encontramos descontinuidade intermediária em 4 estações, mostrando a complexidade da província Borborema. Esse estudo assegurar mais um parâmetro para estimativas da estrutura da crostas, assegurando os estudos da evolução tectônica.

### Introdução

O estudo litosférico sobre a Província Borborema é feito através de metodologias geofísicas, em específico a sismologia, com utilização de estações banda larga. Os estudos sismológicos vêm contribuindo de forma sistemática para o entendimento do interior da terra através de técnicas como dispersão de ondas de superfície, tomografia de onda de corpo e Função do Receptor.

Objetivando corroborar com esses estudos, integraremos as estimativas das descontinuidades rasas obtidas através da função do receptor, com dados telessísmicos captados pelas estações banda-larga estrategicamente localizadas na Província Borborema, ver Figura 1.

A província Borborema abrange cerca de 450.000 km<sup>2</sup> sendo seu limite ocidental a Bacia do Parnaíba, ao sul é limitada pela Cráton São Francisco, e é entendida como uma complexa faixa de colisão, proveniente da movimentação convergente de placas.

Esse trabalho pretende contribuir para um modelo regional de velocidade crustal e espessura, conhecimento dos detalhes de estruturas e feições geológicas crustais e entendimento da evolução tectônica regional.

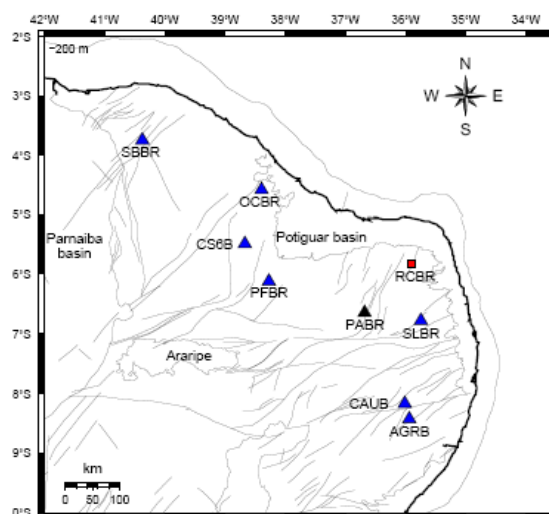


Figura 1 – Estações na província Borborema. Triângulos são as estações usadas nesse estudo, o quadrado é a estação da rede mundial.

### Função do Receptor (FR)

Com a FR no domínio da freqüência, estimar a profundidade da crosta usando a onda P de um telessismo que atinge a base da crosta, próximo a vertical (Ammon 1991). Rotacionam-se os eixos de registro Norte-Sul e Leste-Oeste para as direções Radial e Tangencial, conforme a Figura 2.

A energia da onda P é convertida em S e em reflexões múltiplas quando passa por uma descontinuidade abaixo da estação conforme a Figura 3. A FR tem como objetivo obter a resposta da estrutura sob a estação E(w).

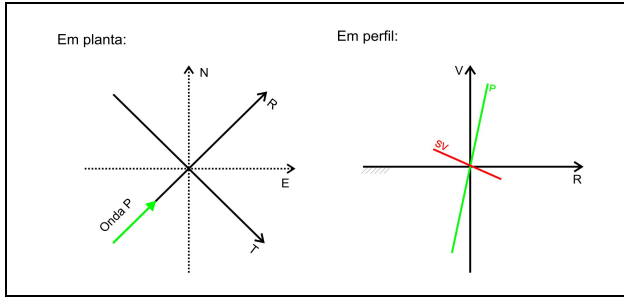


Figura 2 – Esquema de rotação dos eixos. N e E são componentes Norte-Sul e Leste-Oeste, respectivamente. R e T são os componentes Radial e Tangencial, respectivamente.

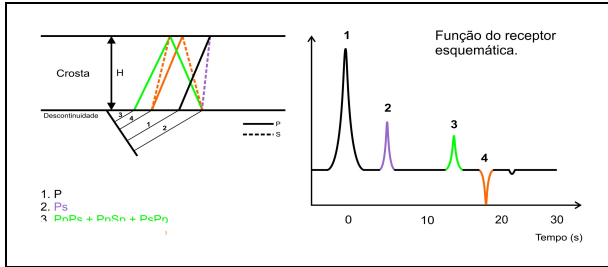


Figura 3 – Diagrama de raio simplificado mostrando as principais conversões da onda P em onda S que compreendem a FR radial. Com exceção da primeira chegada, as letras maiúsculas denotam o percurso para baixo, as letras minúsculas denotam o percurso para cima.

As componentes vertical, radial e tangencial registradas numa estação são representadas por:

$$D_V(t) = I(t) * S(t) * E_V(t) \quad (1)$$

$$D_R(t) = I(t) * S(t) * E_R(t) \quad (2)$$

$$D_T(t) = I(t) * S(t) * E_T(t) \quad (3)$$

O asterisco representa o operador convolução.

Na vertical  $E_V$  é um pico contendo toda energia da onda P e representada pela função delta de Dirac.

$$D_V(t) \approx I(t) * S(t) \quad (4)$$

Aplica-se a transformada de Fourier nas expressões (2), (3) e (4), para obter as expressões no domínio da frequência.

$$D_V(\omega) \approx I(\omega) \cdot S(\omega) \quad (5)$$

$$D_R(\omega) = I(\omega) \cdot S(\omega) \cdot E_R(\omega) \quad (6)$$

$$D_T(\omega) = I(\omega) \cdot S(\omega) \cdot E_T(\omega) \quad (7)$$

A resposta da estrutura  $E(\omega)_R$  e  $E(\omega)_T$  são as deconvoluções das componentes horizontais pela vertical, ou seja, FR radial e tangencial (Langston, 1979, Ammon 1990, 1991).

$$E_R(\omega) \approx \frac{D_R(\omega)}{D_V(\omega)} \quad (8)$$

$$E_T(\omega) \approx \frac{D_T(\omega)}{D_V(\omega)} \quad (9)$$

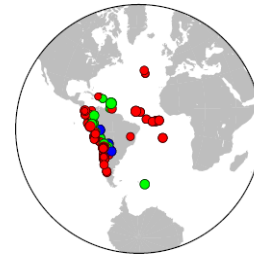
### Análise de dados e Resultados

As FRs foram calculadas usando o filtro gaussiano, com parâmetro  $a$  igual a 8, o que representa um filtro passa baixa com frequência de corte igual 4 Hz e para cada traço, o melhor valor de nível de água foi escolhido entre 0,001 e 0,0001. As FRs foram calculadas usando as rotinas fornecidas por C. J. Ammon.

$$G(\omega) = e^{-\frac{\omega^2}{4a^2}} \quad (10)$$

Foram usados telessismos com magnitude maior que 4.0 e distância epicentral entre 5° e 50° graus. Embora, sofrerem efeitos da triplicação do manto entre 17° e 30° graus, selecionamos esses eventos, de forma que a FR possuísse um maior número de traços. A Figura 4 mostra os epicentros dos eventos usados como referência na FR para as estações.

### EVENTOS



167 eventos	
● Raso (0-100 km)	● Intermediário (100-300 km)
● Profundo (> 300 km)	
○ M 4	○ M 5
○ M 6	○ M 7
○ M 8	○ M 9
167 Terremotos usados na FR. Dados UnB.	
Cesar Garcia Pinnao	

Figura 4 – Mapa dos epicentros dos eventos usados na Função do Receptor.

De acordo com as FRs obtidas para estações RCBR (França 2006) e SLBR (Novo Barbosa 2008), identificou-se um alinhamento de fases anterior da fase Ps (Onda P convertida em S na Descontinuidade de Mohorovicic). Esse fato sugere a ocorrência de uma descontinuidade crustal cerca de 18 km de profundidade na estação RCBR e de 19 km na estação SLBR (Novo Barbosa 2008).

Diante desse fato, inicialmente foi calculada a diferença  $T_{Ps}-T_p$  para suposta descontinuidade localizada a 19 km de profundidade, usando a velocidade da onda P igual 6,4 km/s e razão  $V_p/V_s$  igual a 1,73. A chegada da fase Ps se dá após 2,73 segundos da chegada da onda P direta para estação SLBR.

$$T_{PS} - T_P = h \cdot \left[ \left( v_S^{-2} - p^2 \right)^{1/2} - \left( v_P^{-2} - p^2 \right)^{1/2} \right] \quad (11)$$

A Figura 5 mostra as FRs, ordenadas por parâmetro de raio, para a estação PFBR.

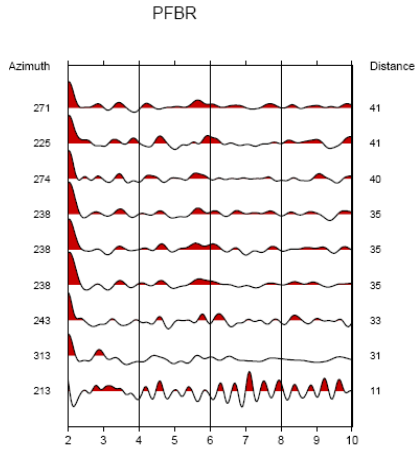


Figura 5 – FR para vários azimutes e distâncias epicentrais para estação PFBR. Eixo horizontal indica o tempo em segundos, eixo vertical direito azimute do evento e eixo vertical esquerdo distância epicentral em graus.

As FRs mostraram a chegada da P direta para todos os traços. Foram desconsiderados alguns traços, devido à baixa razão sinal-ruído, provavelmente por influência da triplicação do manto.

A FR da estação PFBR, observou-se um alinhamento de fases aproximadamente 2,7 segundos após a P direta, sugerindo a existência de uma descontinuidade.

Com relação à estação OCBR, as ondas sísmicas provenientes dos azimutes 272°, 236° e 237° apresentam formas de ondas semelhantes, sugerindo um alinhamento de fase aproximadamente em 4,6 segundos, ou seja, 2,6 segundos após a chegada da P direta.

Os traços da FR na estação SLBR, mostram um alinhamento de fases em aproximadamente 2,6 segundos após a P direta, sugerindo mais uma vez a existência de uma descontinuidade.

Em contrapartida as estações AGBR, CAUB e SBBR, não apresentaram alinhamento de fases.

A tabela (1) mostra a diferença  $T_{ps} - T_p$  em segundos para cada estação e a profundidade em km da suposta descontinuidade.

Posteriormente será utilizado o procedimento HK-stacking (Zhu & Kanamori 2000). Esta técnica usa a correção moveout relativo das chegadas secundárias geradas em uma descontinuidade sísmica abaixo da estação para inferir a profundidade acima da descontinuidade. A única informação necessária a priori é a  $V_p$ , velocidade da onda P no meio. De acordo com Mooney et al., (1998), usaremos  $V_p = 6,4$  km/s. Também, será realizado um teste com a FR interativa (Ligorria & Ammon, 1999) e buscar correlação geológica-tectônica para justificar essas estimativas.

Tabela 1 – Diferença  $T_{ps} - T_p$  em segundos para cada estação e profundidade da descontinuidade em km.

Estação	$T_{ps} - T_p$ (s)	Profundidade (km)
AGBR	-	-
CAUB	-	-
CS6B	2.1 s	14.6 km
OCBR	2.6 s	18.1 km
PFBR	2.5 s	17.4 km
SBBR	-	-
SLBR	2.7 s	18.77 km

### Agradecimentos

Agradecemos ao apoio do CNPQ, através do instituto Milênio. Ao Eduardo Alexandre e Prof. Joaquim Ferreira, UFRN, pelo trabalho de campo e desenvolvimento de toda atividade do Instituto Milênio. Um agradecimento especial ao amigo Paulo Henrique Junker e Alexandre Regis, pela ajuda nas figuras.

### Referências

- Almeida, F.F.M., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A., 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. Atas VIII Simpósio de Geologia do Nordeste. Campina Grande.
- Ammon, C., 1991. The isolation of receiver effects from teleseismic P waveforms: Bull. Seism. Soc. Am., 81, 2504-2510.
- Ammon, C.J., 1997. An overview of Receiver – Function Analysis. Penn State.
- Ammon, C. J., G. E. Randall, and G. Zandt, On the non-uniqueness of receiver function inversions, J Geophys. Res., 95, 15, 303-15, 318, 1990.
- Barbosa, M. F. N. Estimativa da espessura da crosta do NE Brasileiro utilizando a Função do Receptor, Dissertação de mestrado 2008.UFRN
- Costa T. N. Estudo da espessura Sedimentar na bacia do Paraná com Função do Receptor de alta frequência. Dissertação de mestrado 2006. IAG/USP
- França, G. S. L., A estrutura da crosta no Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, usando Função do Receptor. Tese de doutorado 2003.IAG/USP
- França, G. S., Assumpção, M., Ferreira, J. M., 2006. O estudo da estrutura da crosta no NE do Brasil, usando Função do Receptor. In: II Simpósio Brasileiro de Geofísica da Sociedade Brasileira de Geofísica, Natal, 21-23 de setembro.
- Herrmann, R. B. & Ammon, C., Computer programs in seismology – surface waves, receiver functions and crustal structure. St Louis University, St Louis, MO 2002.
- Langston, C. A., Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves, J. Geophys. Res., 84, 4749-4762, 1979.

**Ligorria, J.P. & C. Ammon**, Iterative deconvolution and receiver-function estimation: Bull. Seism. Soc. Am., 89, 195-1400, 1999.

**Zevallos, I., Assumpção, M. & Padilha, A. L.** 2004. Basement depth in the Paraná Basin from joint inversion of teleseismic receiver function and magnetotelluric sounding. I Simpósio de Geofísica da SBF, São Paulo, 26-28/09/2004.