



## Estudo preliminar de estruturas geoeletricas no Domínio Ceará Central pelo método magnetotelúrico

Marco Antônio Poli da Conceição \*, IAG/USP e INPE  
 Antonio Lopes Padilha, DGE/INPE  
 Mauricio de Souza Bologna, IAG/USP

Copyright 2008, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no III Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém, 26 a 28 de novembro de 2008. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do III 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

The present work is focused on initial results from a magnetotelluric survey carried on the Central Ceará Domain, of NW Borborema Province, northeastern Brazil. The magnetotelluric profile is composed of five stations, has approximately 60 km in length and is oriented in the SE-NW direction in order to cross, orthogonally, the main geologic features of the province. The data were processed using robust techniques, from which curves of apparent resistivity and phase were obtained for each station. Afterwards, pseudo-sections of the phase were generated for qualitative analyses. In general, visual inspections of the apparent resistivity curves and of the phase pseudo-sections indicate a more resistive upper layer underlined by a more conductive one. Also, the phase pseudo-sections show a much more conductive lower layer in the SE portion that, geographically, coincides with the transition between the Brasileiro fold belts and the Tróia Massif from Precambrian. The split phase present at the westernmost station in the profile (n.35) suggests the possibility of anisotropy or, even more so, a lateral discontinuity. The study of this anisotropy or discontinuity and the interpretation of other probable geoelectric structures will be performed in the following stages of this work.

### Introdução

Localizada a nordeste do território brasileiro, a Província Borborema (Almeida *et al.*, 1981) (Figura 1) cobre uma área superior a 450.000 Km<sup>2</sup> (Brito Neves *et al.*, 2000). O último grande evento tectônico ocorreu durante o neoproterozóico sobre o qual houve a deposição de uma cobertura sedimentar, ao longo do farenozóico. Porém, a ausência de dados geocronológicos precisos tem resultado em contínuos debates sobre sua evolução tectônica, atribuindo diferentes modelos orogênicos à província (Santos *et al.*, 2008). Em geral, os modelos prevêem que ela teria sido gerada ou devido ao amalgamento do continente Sul Americano com o continente Africano na Gondwana Ocidental (Brito Neves

*et al.*, 2000) ou por uma origem intracontinental (Neves *et al.*, 2000).

Não há muitas informações geofísicas a respeito da estrutura profunda da Província Borborema. As informações existentes provêm de levantamentos gravimétricos (*e.g.* Nogueira *et al.*, 2004) e, para algumas regiões mais específicas, também há levantamentos radiométrico e magnético (*e.g.* Castro, *et al.*, 2002).

Os dados foram coletados pelo Grupo de Geomagnetismo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no âmbito do programa Instituto do Milênio MCT/CNPq, coordenado pelo Prof. Reinhardt A. Fuck e fazem parte de um conjunto de quarenta e três estações instaladas ao longo de um perfil com aproximadamente 500 km de extensão e direção SE-NW (Figura 2). Nunes (2007) e Nunes *et al.* (2007) analisaram as sondagens de 19 a 28 da figura 2. O principal intuito deste trabalho é a obtenção de informações regionais da estrutura geoeletrica profunda da crosta, correlacionando os resultados obtidos com as observações geológicas na superfície, contribuindo dessa forma para o melhor conhecimento da evolução tectônica da província.

### O Método Magnetotelúrico (MT)

No método magnetotelúrico campos eletromagnéticos naturais são usados para investigar estruturas geoeletricas da Terra. Esses campos variáveis no tempo são gerados tanto de tempestades elétricas que ocorrem na baixa atmosfera bem como por correntes elétricas geradas na magnetosfera e ionosfera em respostas as interações do vento solar com o campo geomagnético principal. Considera-se que, em ambos os casos, as ondas incidam na superfície terrestre como ondas planas e difundam no interior da Terra. A medida das amplitudes, fases e direção de propagação dos campos induzidos são um diagnóstico da distribuição de resistividade elétrica em subsuperfície.

A profundidade de investigação das estruturas geoeletricas é dada pelo *skin depth* ou profundidade pelicular ( $\delta$ ), definido por:

$$\delta = \left( \frac{2}{\omega \mu \sigma} \right)^{1/2} \quad (1)$$

onde  $\omega$  é a frequência angular,  $\mu$  a permeabilidade magnética, que no caso MT assume-se a mesma que a do vácuo, e  $\sigma$  é a condutividade elétrica.

O campo eletromagnético no meio material decai exponencialmente, tendo sua amplitude reduzida em 1/e a cada profundidade pelicular, sendo esta apenas uma função do período e da condutividade do meio.

Para extrair informações sobre a resistividade elétrica o método MT efetua medidas simultâneas das componentes horizontais dos campos elétricos ( $\mathbf{E}$ ) e magnéticos ( $\mathbf{H}$ ) na superfície terrestre. Para um semi-espaço infinito e homogêneo a impedância ( $\mathbf{Z}$ ) do meio é definida pela razão das componentes  $E_x$  e  $H_y$  na superfície:

$$Z_{xy} = \frac{E_x}{H_y} \quad (2)$$

Com a resistividade elétrica dada por:

$$\rho_{xy} = \frac{Z_{xy} Z_{xy}^*}{\mu\omega} = \frac{1}{\mu\omega} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad (3)$$

onde  $Z_{xy}^*$  é o complexo conjugado de  $Z_{xy}$ .

A fase  $\phi$  de  $Z$  é a diferença entre as fases de  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{H}$ , sendo escrita como:

$$\phi = \arg(Z) \quad (4)$$

Para um caso geral, no qual a relação tensorial entre as componentes do campo eletromagnético é linear, a impedância pode ser escrita, para cada frequência, como:

$$\begin{aligned} E_x &= Z_{xy} H_y + Z_{xx} H_x \\ E_y &= Z_{yx} H_x + Z_{yy} H_y \end{aligned} \quad (5)$$

### Aquisição de Dados MT

O equipamento magnetotélorico utilizado foi um sistema banda larga GMS06 (Metronix GmbH) de propriedade do Grupo de Geomagnetismo do INPE. O equipamento adquire dados numa faixa espectral entre 0,0008 – 1024 s. A duração típica de cada sondagem foi de 24h. Foram utilizados eletrodos com solução de cloreto de chumbo, separados por uma distância de aproximadamente 150 m. O alinhamento horizontal dos sensores se deu nas direções norte-sul, leste-oeste do sistema de coordenadas geomagnéticas. As medidas de campo magnético foram realizadas com três bobinas de indução.

### Resultados e Discussão

O processamento das séries temporais das cinco estações MT (31 - 35) foi feito empregando o código robusto de Gary Egbert (Egbert, 1998), gerando as curvas de resistividade aparente e fase. Gráficos da variação da resistividade aparente e fase em função do período são os principais parâmetros de uma sondagem MT.

A análise visual das curvas MT (Figura 3) permite inferir a existência de uma primeira camada resistiva. Ela aparece nos dados através de uma elevação da resistividade em torno dos períodos de 0,1 s. Em períodos mais longos, ou seja, em maiores profundidades, vê-se a influência de uma camada mais condutora.

Pode-se também verificar pelas curvas o efeito de deslocamento estático (*static shift*), onde as curvas de resistividade dos modos XY e YX são paralelas (mas não coincidentes) enquanto as fases são praticamente iguais (e.g. sítios 31 e 34). Uma análise qualitativa dos dados MT pode ser representada a partir da pseudo-seção das curvas da fase (Figura 4). As fases são usadas nesse caso, pois não sofrem deslocamento estático. A pseudo-seção representa a distribuição do contraste de resistividade em subsuperfície ao longo do perfil MT em função do período. Com o aumento da resistividade com a profundidade os valores da fase são inferiores a 45° enquanto para os casos em que a resistividade diminui com a profundidade os valores da fase tornam-se acima de 45°. Na ausência de contrastes, as fases permanecem em 45°. Na prática, isso ocorre quando uma camada é muito maior que a penetração do sinal.

Na pseudo seção da fase, tanto para o modo XY, como para o YX, enxerga-se uma camada resistiva para os períodos compreendidos entre 0,001 e 1s e uma camada mais profunda e condutora para os períodos compreendidos entre 1 e 300s. A segunda camada é altamente condutiva, especialmente na porção sudeste (estações 31 e 32), onde as fases XY se aproximam de 90°. No outro extremo, sob a estação 35, os dados XY e YX diferem entre si, indicando uma possível anisotropia na crosta. De fato, isto é claramente visto no gráfico de fase, onde os modos XY e YX diferem quase 30° entre si em período relativamente longos (em torno de 100 s). No meio da seção, os dados indicam um substrato mais homogêneo, com condutividades mais moderadas.

Na parte à sudeste do perfil (Figura 4), sob as estações 31 e 32, nota-se que a camada inferior tem uma maior condutividade, o que também foi verificado por Nunes *et al.* (2007) para as sondagens que eles analisaram próximas a esta região. O perfil MT cruza a transição do cinturão de dobramentos Brasileiro com o Maciço Tróia do Pré-Cambriano, geograficamente coincidindo com esta camada inferior de maior condutividade (estações 31 e 32).

O comportamento da curva da fase da estação 35 (Figura 3) nos longos períodos (10 – 1000 s) requer certa atenção, pois sua variação, de cerca de 30° entre os modos XY e YX, indica uma possível anisotropia profunda abaixo do sítio ou mais provavelmente uma descontinuidade lateral importante a oeste.

### Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido com apoio de uma bolsa de iniciação científica do CNPq. Os autores agradecem à equipe de campo e laboratório do grupo de Geomagnetismo da Divisão de Geofísica Espacial do INPE. Projeto apoiado pelo programa Instituto do Milênio

MCT/CNPq – projeto 42.0222 (“Estudos geofísicos e tectônicos na Província Borborema”) coordenado pelo Prof. Dr. Reinhardt A. Fuck.

### Referências

Almeida, F. F. M. de, Hasui, Y., Brito Neves, B. B. de e Fuck, R. A., 1981, Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17, 1-29.

Brito Neves, B. B., Santos, E. J., Van Schmus, W. R., 2000, Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. In: Cordani, U. G., Milani, E. J., Thomaz-Filho, A., Campos, D. A. (Ed.), *Tectonic Evolution of South America*, p.151-182.

Castro, D. L. de, Branco, R. M. G. C., Martins, G., 2002, Radiometric, magnetic, and gravity study of the Quixada batholith, central Ceara domain (NE Brazil): evidence for Pan-African/Brasiliano extension-controlled emplacement. *Journal of South American Earth Science*, 15, 543-551.

Egbert, G. Gary Ebert's codes. programa de computador on line. Disponível em: <ftp://ftp.oce.orst.edu/dist/egbert/EMTF/EMTF.tar.Z>. Acesso em: Novembro de 1998.

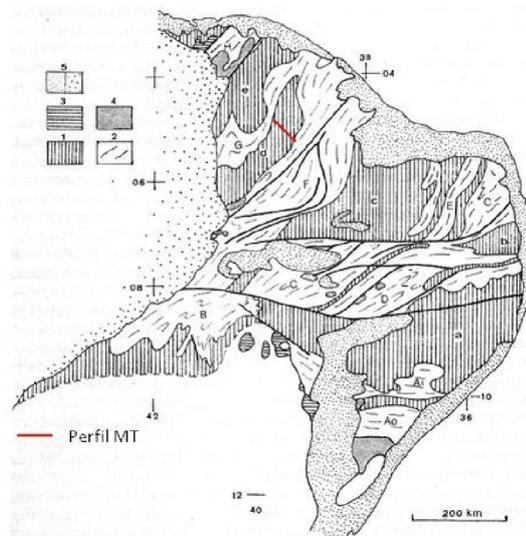
Nogueira, F. C. C., Oliveira, M. S. de e Castro, D. L. de, 2004, Estudo magnético e gravimétrico do arcabouço estrutural da Bacia do Rio do Peixe. *Revista de Geologia*, 17, 74-87.

Santos, Ticiano J. Saraiva, Fetter, Allen H., Hackspacher, P. C., Schmus, W. R. Van, Neto, J. A. Nogueira, 2008, Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW sector of Borborema Province, NE Brazil, during assembly of Western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, 25, 271-284.

Neves, Sérgio P., Mariano, Gorki, Guimarães, Ignez P., Filho, Adjarado F. da Silva, Melo, Silvana C., 2000, Intralithospheric differentiation and crustal growth: Evidence from the Borborema province, northeastern Brazil. *Geology*, 28, 519-522.

Nunes, H. O., Padilha, A. L., Bologna, M. de S., Pádua, M. B. de, Vitorello, I., 2007, Imageamento das estruturas geotectônicas da litosfera na Província Borborema pelo método magnetotélurico, 10<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro.

Nunes, H. O., 2007, Imageamento das estruturas geotectônicas da litosfera na Província Borborema pelo método magnetotélurico, trabalho de graduação II, IAG-USP, Brasil.



Legenda: 1 = Embasamento mais antigo retrabalhado durante o Pré-Cambriano Superior (a = Maciço Pernambuco-Alagoas, b = Maciço Teixeira, c = Maciço Rio Piranha, d = Maciço Tróia, e = Maciço Santa Quitéria); 2 = Cinturão de Dobramentos Brasiliano (A = Cinturão Sergipano, com o = Zona Externa e i = Zona Interna, B = Riacho do Cinturão Pontal, C = Cinturão Piancó-Alto Brígida, D = Cinturão Pajeú-Paraíba, E = Cinturão Seridó, F = Cinturão Jaguaribe, G = Cinturão Curu-Independência, H = Cinturão Médio Coreú); 3 = Cobertura sedimentar correlacionada com o Cinturão Brasiliano; 4 = Depósitos Molássicos; 5 = cobertura sedimentar Farenzóica. As linhas grossas representam as principais falhas.

Figura 1: Província Borborema com a localização do perfil MT.

FONTE: Modificada de Almeida *et al.*, (1981).

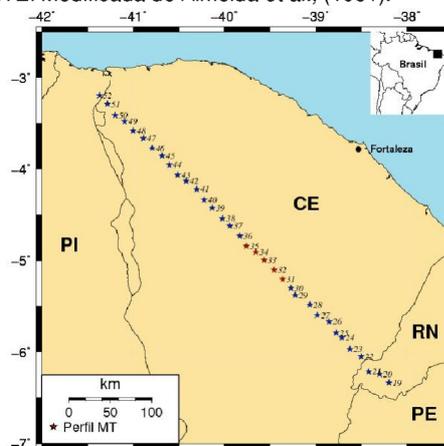


Figura 2: Localização geográfica do perfil MT com destaque (em vermelho) para as estações estudadas nesse trabalho.

## Estudo magnetotelúrico na Província Borborema

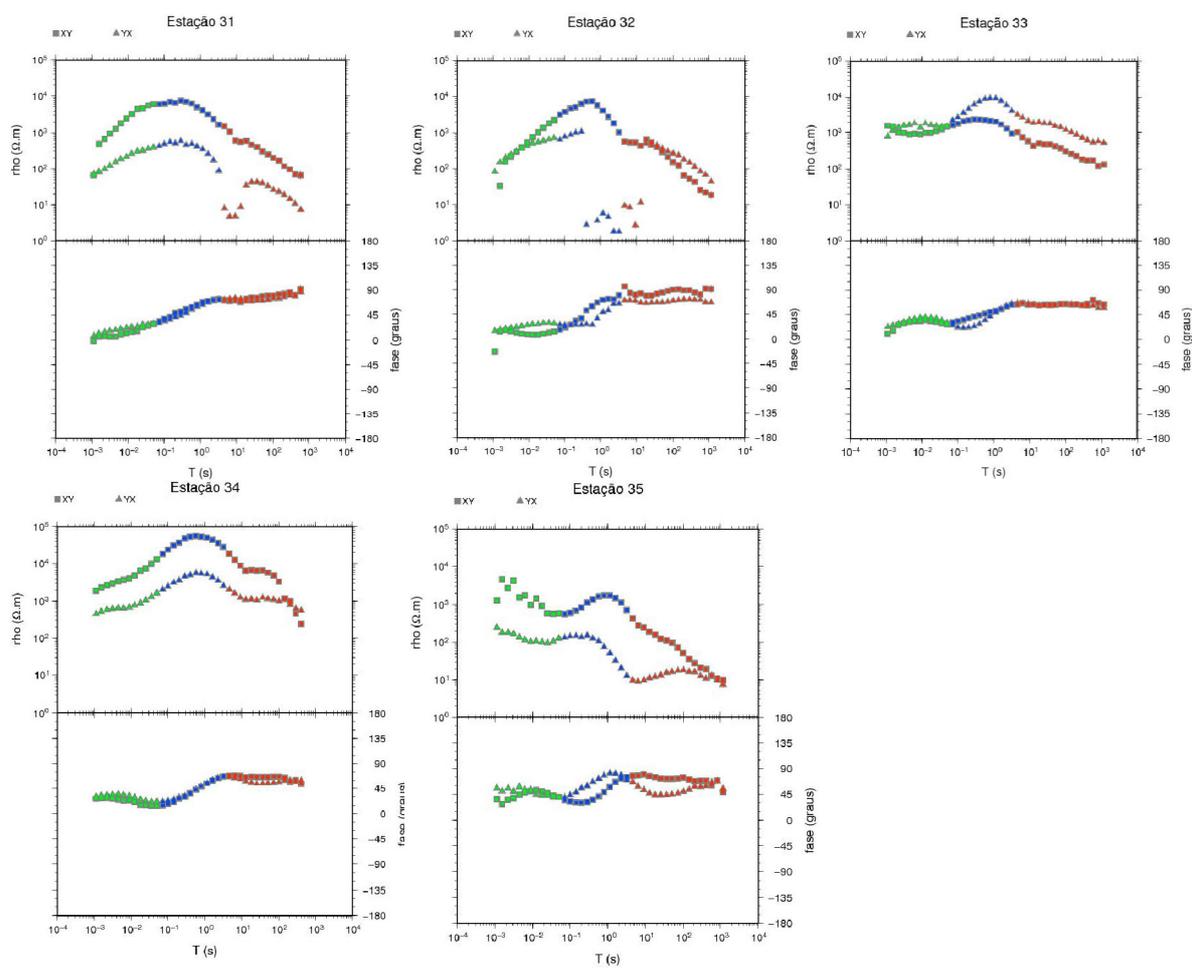


Figura 3: Curvas de resistividade aparente e fase (modos XY e YX) em função do período, para as estações 31 - 35.

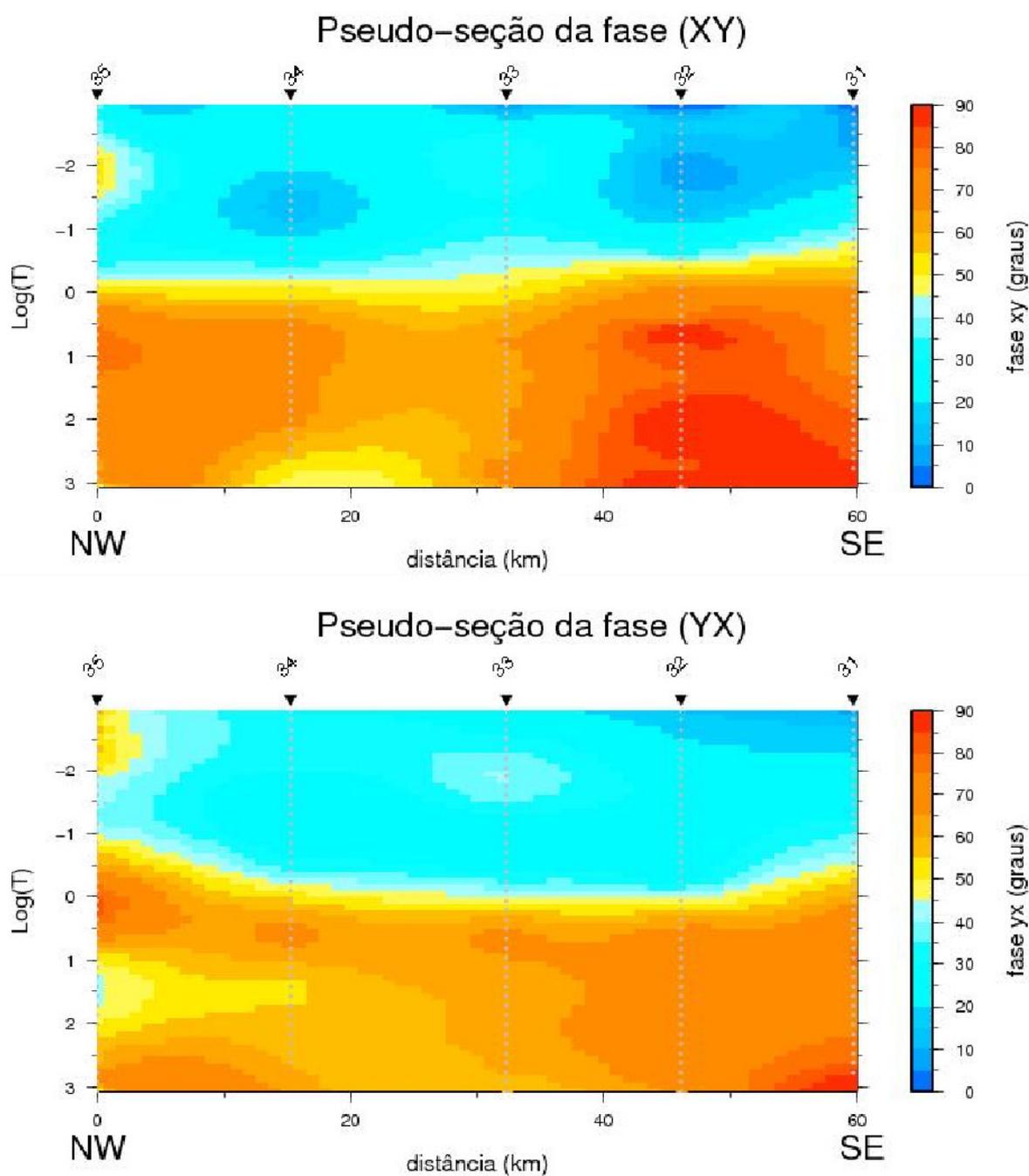


Figura 4: Pseudo seção da fase para as estações 31 - 35. Modo XY e YX.