



## Interpretação preliminar de sondagens magnetotélúricas de longo período na borda SW da Bacia do Pantanal

Maurício S. Bologna, Ícaro Vitorello, Antonio L. Padilha, Marcelo B. Pádua, INPE, Brazil

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8<sup>th</sup> 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 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does 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

Uma análise preliminar de 5 sondagens magnetotélúricas (MT) de longo período, compondo um perfil E-W de cerca de 110 km na borda sudoeste da bacia do Pantanal, indica a presença de uma anomalia de condutividade no manto sob a região de Corumbá, estado do Mato Grosso do Sul. Uma inversão preliminar desses dados mostra um rápido aumento de condutividade a partir de 70-80 km de profundidade, alcançando condutividades extremamente altas em torno de 150 km. Outro fato relevante das medidas é a direção das estruturas geoeletricas que indica que a crosta inferior e o manto superior têm a mesma direção (N35°E). Esses resultados estão em concordância com uma pronunciada anisotropia SKS no bloco rio APA, o que poderia indicar que o manto e a crosta inferior estiveram acopladas durante o evento Brasileiro. Comparando os resultados MT da região de Corumbá com outros disponíveis para a região de Cuiabá, cruzando a faixa Paraguai, pode-se afirmar com base nos dados até agora disponíveis que as características geoeletricas de ambas as regiões são bastante distintas. Isso pode indicar que as duas regiões sofreram processos tectônicos distintos durante a orogênese Brasileira.

### Introdução

A região em subsidência do Pantanal-Chaco da América do Sul, de sedimentação Cenozóica, apresenta importantes anomalias geofísicas em profundidades litosféricas. De fato, uma zona de baixa velocidade sísmica, ao redor de 4,2 km/s, ocorre no manto abaixo do Chaco em profundidades além dos 50 km (Snoke e James, 1997). Coincidentemente, essa área encontra-se na parte meridional de uma anomalia de geóide positiva, de pelo menos 3 m de amplitude e que se alonga para o norte sobre o Pantanal, contornando na sua porção noroeste as intrusivas máficas-ultramáficas de Poxoréu (MT) de idade ao redor de 80 Ma.

Uma modelagem flexural utilizando dados gravimétricos sugere soerguimento e extensão flexural durante a construção dos Andes, desde o Oligoceno, como responsáveis pela depressão da região do Pantanal (Ussami et al., 1999). Entretanto, esse modelo não é único e seu teste depende do estabelecimento de um vínculo temporal com o processo de compressão dos Andes e a subsidência e sedimentação do Pantanal. Nesse caso, a gênese do Pantanal seria independente da evolução dos Andes.

Um estudo magnetotélúrico (MT) usando dados de uma extensa faixa de períodos (desde milésimos até dezenas de milhares de segundos) está sendo desenvolvido na bacia do Pantanal, proximidade de Corumbá, estado do Mato Grosso do Sul. Espera-se com esse levantamento fornecer novos dados da parte mais profunda sob a bacia e assim fornecer informações geofísicas adicionais àquelas existentes sobre as estruturas litosféricas. Resultados de sondagens de alta frequência (método audiomagnetotélúrico) são discutidos em outro trabalho (Fisseha et al., 2003), apresentando-se aqui os primeiros resultados da modelagem dos dados de longo período.

### Metodologia

O método MT utiliza variações temporais do campo geomagnético para obter informações das estruturas geoeletricas do interior terrestre. Para isso, pares de eletrodos não polarizáveis e magnetômetros de alta precisão (bobinas de indução ou fluxgate) são instalados na superfície para efetuarem medidas simultâneas das componentes Hx, Hy e Hz do campo geomagnético e componentes horizontais ortogonais (Ex e Ey) do campo geoeletrico induzido em um amplo espectro de frequências. Ao incidir na superfície da Terra parte do campo magnético penetra em seu interior e induz correntes elétricas. A profundidade de penetração do sinal eletromagnético é função da raiz quadrada do período, mas depende também da distribuição da condutividade elétrica do meio. Tipicamente, sinais da ordem de milésimos de segundos até cerca de 1000 s investigam profundidades desde dezenas de metros até dezenas de quilômetros. Períodos mais longos (acima de 10000 s) podem penetrar desde a base da crosta até várias dezenas de quilômetros do manto superior. Neste estudo, dois tipos de equipamentos MT foram utilizados. Um deles é um sistema de banda larga operado no intervalo entre 0.0008 e 1024 s. O segundo, usado para investigações mais profundas, consiste de sistemas MT de longo período, operados no intervalo de 20 a 13653 s.

### Coleta e processamento de dados

A Figura 1 mostra um mapa geográfico da região de estudo com a localização das estações MT de longo período. O espaçamento médio entre as estações é de 25-30 km. No extremo oeste do perfil, a primeira estação encontra-se nas proximidades da divisa entre Brasil e Bolívia, onde afloram rochas da cobertura cratônica. Situa-se a cerca de 20-30 km a oeste de onde ocorre o contato tectônico com a Faixa Paraguai (Trompette et al., 1998). As 3 estações a leste do perfil adentram a bacia Quaternária do Pantanal.

Todos os dados foram coletados no sistema de referência geomagnética, no qual uma das componentes telúricas e um dos sensores magnéticos ficam alinhados com o meridiano geomagnético. Os sistemas MT de longo período disponíveis no INPE foram operados por

um intervalo de 7 a 15 dias, adquirindo pelo menos uma semana de dados simultaneamente. A simultaneidade das medidas tem a importância de permitir a aplicação da referência remota no processamento dos dados.

Os dados foram inicialmente processados no mesmo sistema de coordenadas em que foram coletados. Nesse processamento, os elementos do tensor de impedâncias MT e as funções de transferência do campo geomagnético foram obtidos a partir das séries temporais das 5 componentes do campo eletromagnético, usando o código robusto de Egbert (1997).

## Resultados

Os dados não rotacionados são mostrados na Figura 2 na forma de pseudo-seções das fases nas duas direções ortogonais de medida. A inspeção dessas pseudo-seções é uma forma conveniente de se ter uma visão preliminar das principais estruturas geoeletricas do perfil. Teoricamente, em um semi-espaço, as fases seriam  $45^\circ$  para todos os períodos. Em uma situação real, porém, as fases variam entre 0 e  $90^\circ$ , e os modos xy e yx são diferentes entre si quando as estruturas se afastam de uma situação unidimensional. Na existência de um contraste positivo de resistividade (aumento da resistividade com a profundidade), as fases permanecem em valores inferiores a  $45^\circ$ , o contrário ocorrendo para um contraste negativo. Em períodos abaixo de 100 s, nota-se um condutor sob as estações 01 e 02, observado mais claramente no modo xy. Abaixo de 1000 s, um outro condutor parece existir sob todo perfil, sendo porém mais forte e mais raso sob as estações 01 e 02.

Na sequência do processamento, fez-se uma análise dimensional dos dados. O objetivo aqui é a remoção de distorções causadas por estruturas rasas heterogêneas e a obtenção da direção das estruturas geoeletricas. Para tanto utilizou-se a decomposição GB (Groom e Bailey, 1989). A decomposição foi feita de modo independente em cada estação, obtendo azimutes semelhantes em cada uma delas. Posteriormente, aplicou-se a decomposição de forma simultânea (McNeice e Jones, 2001) a todo perfil, obtendo-se uma direção geoeletrica de N35E, ou N55W se levarmos em conta a ambigüidade de  $90^\circ$  na determinação do "strike" geoeletrico. A ambigüidade foi aqui resolvida a partir das feições geológicas regionais que mostram uma direção predominante NE. Também, dados de anisotropia sísmica sustentam esta direção, uma vez que no craton Rio Apa registrou-se uma forte anisotropia na direção N56°E (James e Assumpção, 1996).

Outra informação que poderia ajudar na escolha da direção geoeletrica regional seriam os vetores de indução, obtidos a partir das variações do campo magnético vertical medido. A Figura 3 mostra esses vetores para 4 períodos representativos do espectro de medidas. Como pode ser observado, eles bastante fracos nos períodos analisados, apontando para uma mesma direção, SW e WSW para os períodos 5120 e 13653 s, respectivamente. Esse resultado pode indicar a presença de estruturas condutoras distantes e/ou profunda nessas direções.

A Figura 4 mostra a inversão bi-dimensional dos dados na direção transversa elétrica (TE), usando o código REBOCC (Siripunvaraporn e Egbert, 2000). Nessa inversão, as fases foram priorizadas, usando-se 3% de erro para elas, enquanto que para as resistividades usou-se um erro de 25%. Com isso procurou-se minimizar possíveis distorções estáticas afetando as resistividades aparentes. O erro rms total foi de 3,5. Como pode ser visto na figura, a inversão mostra que o condutor profundo no lado oeste do perfil (sob as estações 01 e 02) tem seu topo em cerca de 70-80 km, no manto superior, estendendo-se até profundidades acima de 150 km. Aparentemente esse condutor se estenderia para o restante do perfil em profundidades próximas de 200 km, porém nessa faixa, os dados são mais ruidosos, e portanto menos confiáveis.

## Discussões e conclusões

O forte condutor elétrico no manto litosférico sob a região de Corumbá é compatível com observações de tomografia sísmica, que indicam uma zona de baixa velocidade sob as Bacias do Pantanal e Chaco (Snoke e James, 1997; Van der Lee et al., 2001). Discussões a respeito da origem dessa anomalia sísmica são controversas, pois Van der Lee et al. (2001) consideram-na como sendo causada pela presença de um manto mais quente, enquanto os outros autores invocam processos de metassomatismo. Apenas com os dados disponíveis não é possível discernir entre as duas hipóteses pois ambas gerariam uma anomalia elétrica. Novos dados MT serão necessários, provavelmente em perfis paralelos e mais extensos ao aqui discutido para que os parâmetros geoeletricos possam fornecer informação independente para responder essa questão.

Por outro lado, a coincidência aproximada entre a direção geoeletrica e a anisotropia sísmica registrada no bloco Rio Apa sugere que o bloco cratônico sob o Pantanal tenha sofrido processos deformacionais semelhantes durante a colagem Brasileira. Esse resultado difere bastante da estrutura geoeletrica observada mais ao norte, cruzando a faixa Paraguai na região de Cuiabá (Bologna et al., 2003). Naquele caso ocorrem contrastes significativos na transição entre o craton Amazônico e a faixa remobilizada, enquanto aqui as anomalias mais pronunciadas situam-se sob as rochas cratônicas, havendo poucos contrastes laterais, conforme indicam os vetores de indução. Esses resultados parecem indicar estruturas tectônicas diferentes sob as duas regiões, uma possível indicação da ocorrência de processos distintos durante a orogênese Brasileira.

## Agradecimentos

Este estudo está sendo desenvolvido com financiamento da FAPESP (processos 00/00806-5, 99/12381-0 e 01/02848-0) e do CNPq (processos 350683/94-8 e 351398/94-5).

## Referências

- Bologna, M.S., Padilha, A.L., Vitorello., 2003. Sondagens magnetotelúricas na Faixa Paraguai, Brasil Central: uma análise preliminar. 8<sup>th</sup> Int. Cong. Braz. Geophys. Soc., Rio de Janeiro, 4 pp.

**Egbert, G.D.**, 1997. Robust multiple station magnetotelluric data processing. *Geophys. J. Int.*, 130, 475-496.

**Fisseha, S., Ussami, N., Padilha, A.L., Vitorello, I.**, 2003. Shallow structures and electrical stratigraphy of the Pantanal basin, SW Brazil, using Audio-magnetotellurics. 8th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro, 5 pp.

**Groom, R.W., Bailey.,** 1989. Decomposition of magnetotelluric impedance tensor in the presence of local three-dimensional galvanic distortions. *Geophysics.*, 56, 496-518.

**James, D.E., Assumpção, M.**, 1996. Tectonic implications of S-wave anisotropy beneath SE Brazil. *Geophys. J. Int.*, 126, 1-10.

**McNeice, G.W., Jones, A.G.**, 2001. Multisite, multifrequency tensor decomposition of magnetotelluric data. *Geophysics*, 66, 158-173.

**Siripunvaraporn, W., Egbert, G.**, 2000. REBOCC: An efficient data-subspace inversion for two dimensional magnetotelluric data. *Geophysics*, 65, 791-803.

**Snoke, J.A., James, D.E.**, 1997. Lithospheric structure of the Chaco and Paraná Basins of South America from surface inversion. *Geophysics*, 65, 791-803.

**Trompette, R., Alvarenga, C.J.S., Walde D.**, 1998. Geological evolution of Neoproterozoic Corumbá graben system (Brazil): Depositional context of the stratified Fe and Mn ores of the Jacadigo Group. *J. S. Am. Earth Sci.*, 11, 587-597.

**Ussami, N., Shiraiwa, S., Dominguez, J.M.L.**, 1999. Basement reactivation in a sub-Andean foreland flexural bulge: The Pantanal wetland, SW Brazil. *Tectonics*, 19, 25-39.

**Van der Lee, S., James, D., Silver, P.**, 2001. Upper mantle S velocity structure of central and western South America. *J. Geophys. Res.*, 106, 30,821-30,834.

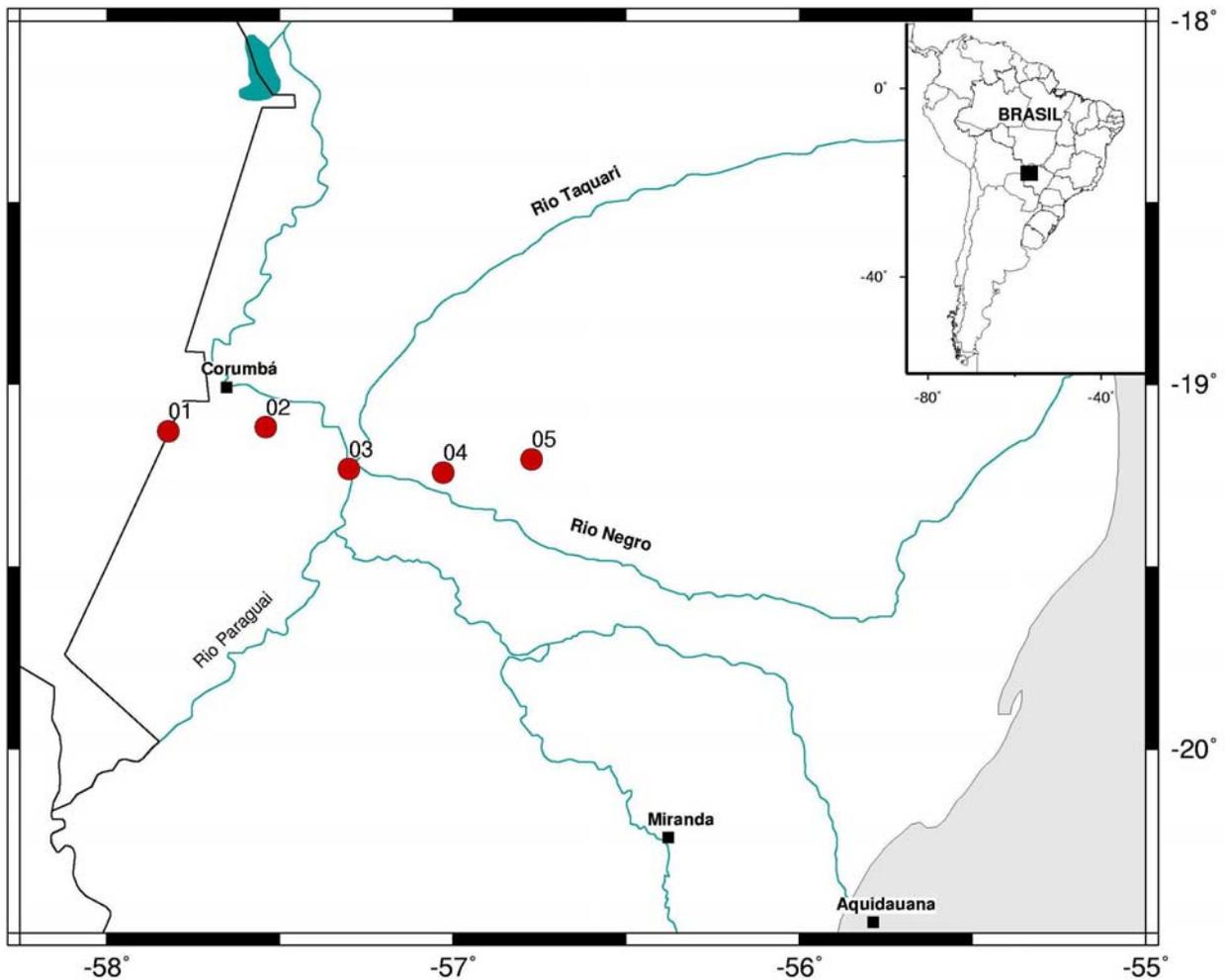


Figura 1 – Localização da área de estudo. São indicadas as estações MT (círculos vermelhos) e algumas cidades (quadrados pretos) e seus respectivos nomes juntamente com a hidrologia. A linha preta refere-se a delimitação política entre Brasil, Bolívia e Paraguai.

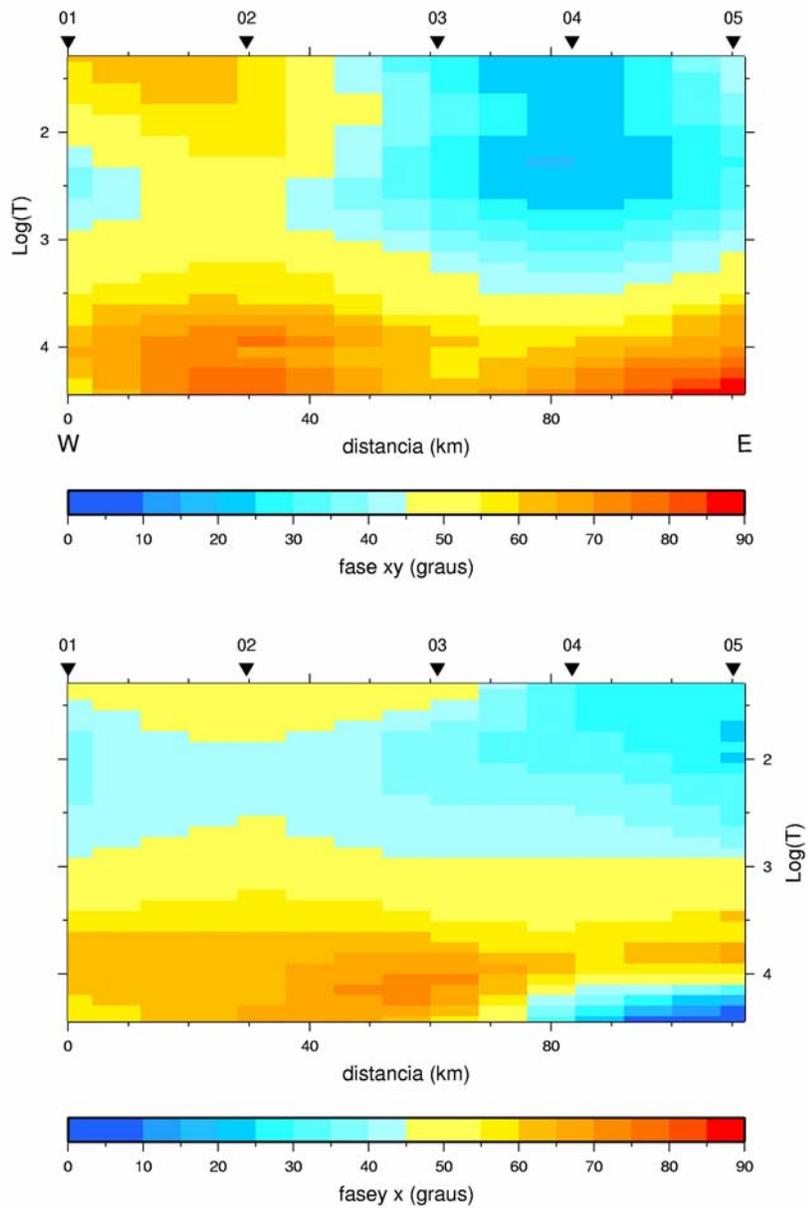


Figura 2 – Pseudo-seções das fases nas duas direções ortogonais de medida (dados não rotacionadas). O modo xy refere-se às medidas feitas com o dipolo elétrico alinhado com o meridiano magnético, cuja declinação média é de N15W.

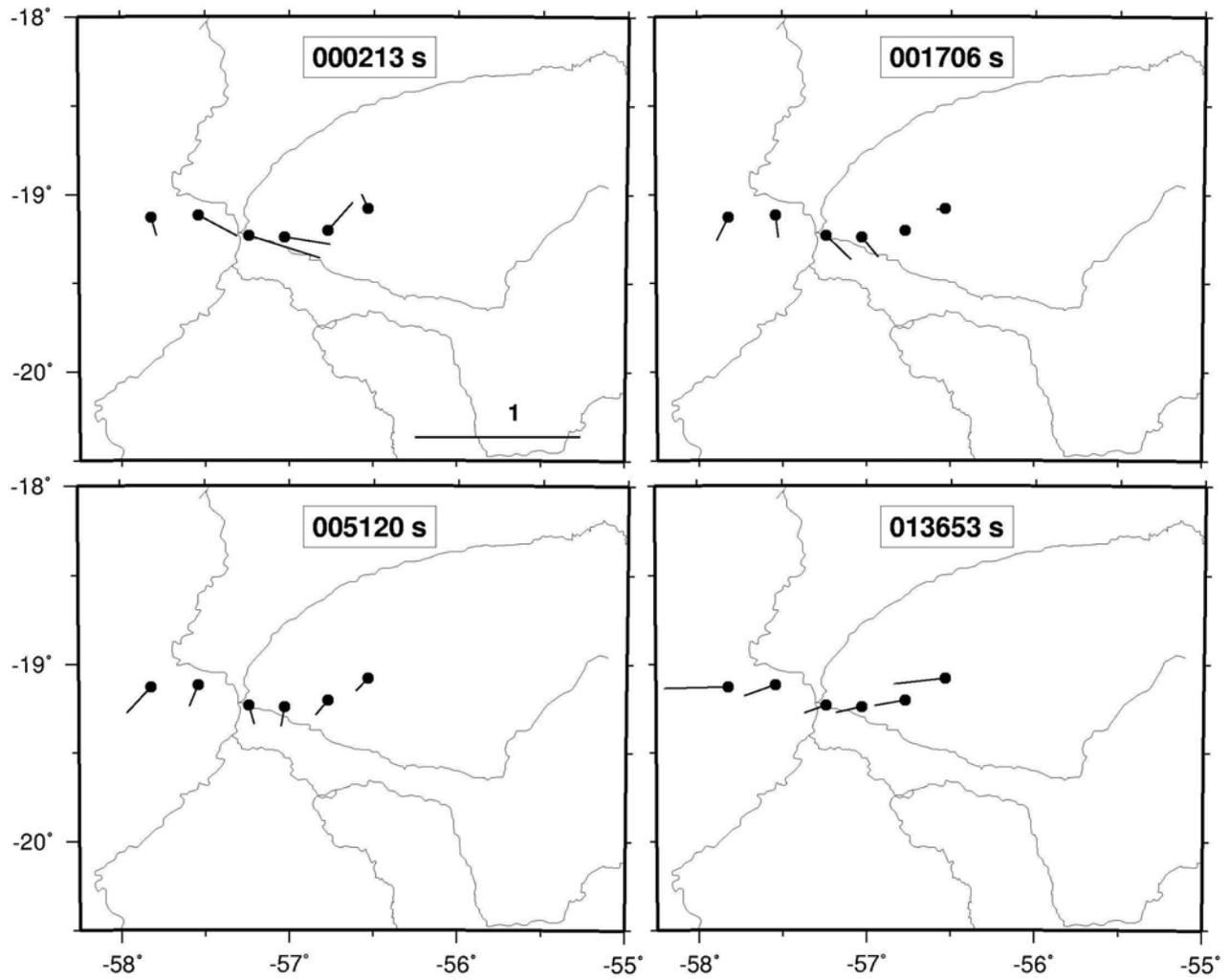


Figura 3 – Vetores de indução do perfil MT. São mostrados 4 períodos representativos das principais variações dentro do espectro de frequências medidas. O vetor unitário é indicado no mapa superior à esquerda.

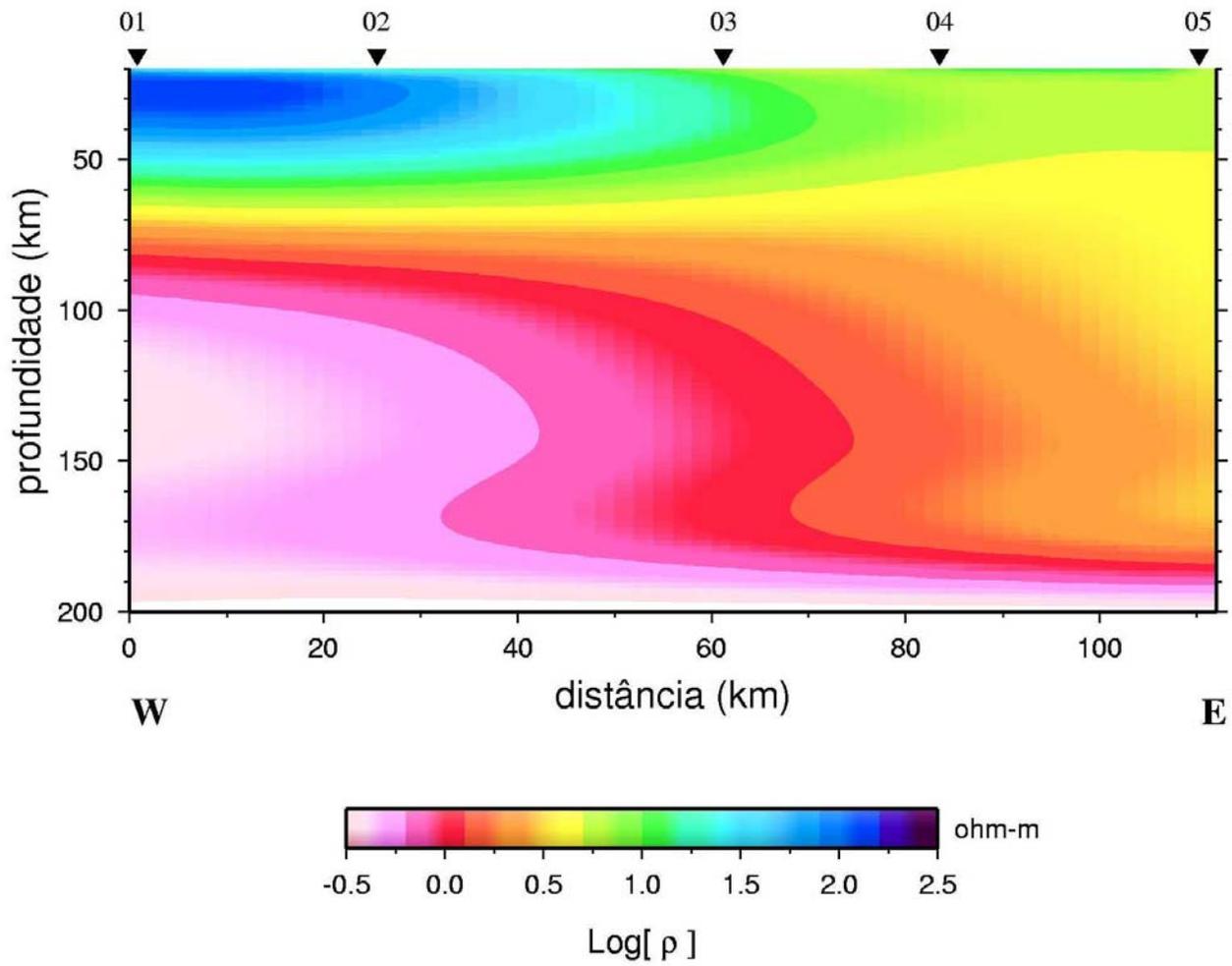


Figura 4 – Modelo 2D resultante da inversão do modo TE.