

**Imageamento de estruturas geelétricas da litosfera na porção
norte da Bacia do Paraná pelo método magnetotelúrico**

Higo Oliveira Nunes

Dissertação Apresentada

ao

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

da

Universidade de São Paulo

para obtenção do Título

de

Mestre em Geofísica

Programa de Pós-Graduação do IAG-USP

Orientador: Prof. Dr. Maurício de Souza Bologna

São Paulo, Julho de 2010

À minha mãe, que tanto lutou pelo sucesso de seus filhos.

Agradecimentos

Ao meu grande orientador Maurício Bologna por todo apoio dado a mim.

Ao grande amigo Carlito, pela força dada a mim durante todos os mais de seis anos de USP.

À todo o grupo de Geomagnetismo do INPE, em especial ao Dr. Marcelo Banik.

À toda minha família.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de mestrado no período de 04/2008 a 03/2010.

“ Sucesso e genialidade são 10% de inspiração e 90% de transpiração”

Albert Einstein

Resumo

NUNES, H. O. **Imageamento das estruturas geoeletricas da litosfera na porção norte da Bacia do Paraná pelo método magnetotelúrico**. 2010. 126 f. Dissertação – Instituto de Astronomia, Geofísica e C. Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

A Bacia do Paraná abrange a parte sul do Brasil e se estende sobre 1.700.000 km². Grande parte de sua espessa (até 4000 m) sequência sedimentar Paleozoica é coberta por uma sequência de até 1700 m de espessura de derrames basálticos continentais do Cretáceo, extravasada logo antes da abertura do Atlântico Sul. Embora a época de sua subsidência e sedimentação seja bem restringida, sua origem e o desenvolvimento ainda é uma questão de debate, em parte devido à escassez de estudos geofísicos profundos capazes de fornecer informações detalhadas sobre a composição e a estrutura da superior e do manto litosférico da bacia. Neste trabalho, a estrutura profunda da parte norte da Bacia do Paraná foi investigada através da análise de um perfil magnetotelúricos (MT) posicionado na direção e composto por 24 estações de banda larga (períodos de 0.001 a ~ 400 s) separadas por cerca de 10 km umas das outras. O perfil atravessa uma anomalia Bouguer negativa, com amplitudes de cerca de 30-15 mGal que tem sido atribuída na literatura à um sistema de grabens soterrados na base dos sedimentos paleozoicos da bacia do Paraná. O Modelo geoeletrico proveniente de inversão regularizada 2D dos dados MT mostra que as sequências vulcano-sedimentar na bacia são relativamente irregulares em toda a área de pesquisa. Particularmente, um afundamento de cerca de 500 m foi observada nas camadas vulcânicas-sedimentares na parte central do perfil ao longo de um trecho de 25 quilômetros de largura e, aparentemente, sem uma correlação espacial direta com as anomalias Bouguer. Essas observações parecem indicar que a área foi afetada por um evento tectônico não necessariamente simultâneo à erupção dos basaltos. A crosta foi imageada como sendo mais homogênea e resistiva na porção NE do perfil em comparação com a porção ocidental. Essa diferença se estende até profundidades do manto superior, possivelmente indicando a existência de uma grande descontinuidade litosférica na área de estudo. Na porção SW do perfil aparece uma anomalia de baixa resistividade localizada em profundidades que variam de 6 a mais de 20 km e é espacialmente coincidente com o mínimo da anomalia Bouguer negativa. Estes resultados podem indicar que a anomalia gravimétrica negativa é, pelo menos em parte, causada por rochas de baixa resistividade e/ou baixa densidade na crosta terrestre, em vez de um graben soterrado. A litosfera mais resistiva pode estar relacionada à um bloco cratônico previamente definido a partir de anomalias Bouguer residuais de um estudo abrangente na bacia do Paraná.

Palavras-chave: Magnetotelúrica, Resistividade elétrica, Litosfera, Bacia do Paraná.

Abstract

NUNES, H. O. **Imaging of geoelectric structures of the lithosphere in the northern portion of the Paraná Basin by the magnetotelluric method.** 2010. 126 f. Dissertacao – Instituto de Astronomia, Geofísica e C. Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

The Paraná Basin encompasses the southern part of Brazil and extends over 1,700,000 km². Much of its up to 4,000 m Paleozoic sedimentary sequence is covered by up to 1,700 m thick Early Cretaceous continental flood basalt erupted just prior the opening of the South Atlantic. Although the time of its subsidence and sedimentation has been well known, the origin and development of the basin is still a matter of debate, partly due to scarcity of deep geophysical studies capable of providing detailed information about structure and composition of the crust and lithospheric upper mantle under the basin. Currently, the deep structure of the northern part of the Paraná Basin has been investigated through the analysis of a magnetotelluric (MT) profile positioned in the SW-NE direction and composed of 24 broadband stations (periods from 0.001 to ~400 s) spaced about 10 km apart. The SW-NE transect crosses a negative Bouguer anomaly with amplitudes about 30-15 mGal which has been attributed in the literature to a system of cryptic grabens buried at the base of the Paleozoic Paraná sediments. Regularized two-dimensional MT inversion shows that the volcano-sedimentary sequence layers in the basin are quite irregular across the survey area. Particularly, an approximately 25-km-wide downfall of nearly 500 m has been observed in the volcanic-sedimentary layers in the central part of the profile. This apparent depression, where the basalt flood layer reaches its maximum thickness, has no direct spatial correlation with the Bouguer anomalies. Thus, it seems that the area was affected by some tectonic event not necessarily contemporaneous with the volcanic eruption. The crust has been imaged as being more homogeneous and resistive in the NE portion compared to the western portion. This difference extends to the uppermost mantle depths, possibly indicating the existence of a major lithospheric discontinuity in the study area. In the SW portion of the profile appears a low resistivity anomaly located at depths ranging from 6 to more than 20 km and is spatially coincident with the minimum of the negative Bouguer anomaly. These results may indicate that the negative gravity anomaly is at least partly caused by some feature of low resistivity and/or low density in the crust instead of a buried graben. The more resistive lithosphere could be related to a cratonic block, previously defined from residual Bouguer anomalies from a large gravity survey in the Paraná basin.

Keywords: Magnetotellurics, Electrical resistivity, Lithosphere, Paraná Basin.

Sumário

Lista de figuras	viii
1 Introdução	1
1.1 Contexto regional da bacia do Paraná	7
1.2 Caracterização da área de estudo	7
2 O Método Magnetotelúrico	12
2.1 Principais premissas do método MT	12
2.2 Sinais Primários	13
2.3 Fundamentos	15
2.4 Representação Tensorial	20
2.5 Arranjo de Campo e Instrumentação	23
2.6 Coleta de dados	25
2.7 Princípios Básicos de processamento de dados MT	27
2.7.1 Remoção da média e tendência linear	27
2.7.2 Análise espectral	27
2.7.3 Estimativa da impedância	28
A) Métodos dos mínimos quadrados	28
B) Referência Remota	29
C) Métodos Robustos	29
2.7.4 Funções de transferência magnética e Vetores de Indução	30
3 Processamento dos Dados	32
3.1 Códigos usados e procedimentos adotados	32
3.2 Consistência dos dados MT	36
3.3 Obtenção das pseudo-seções	38
4 Análises Preliminares	42
4.1 Avaliação do static shift	42
4.2 Transformada Niblett-Bostick	48
4.3 Inversão Unidimensional	50
4.4 Vetores de Indução	53
5 Decomposição dos dados MT	57
5.1 O método de decomposição Groom-Bailey	57
5.2 Procedimentos adotados	59
5.3 Resultados da Decomposição Groom-Bailey	64
6 Inversão Bidimensional	68
6.1.1 Código empregado	68
6.2 Procedimentos adotados	69
6.2.1 Construção do gride para os modelos de resistividade	69
6.2.2 Inversão do modo TM	71
6.3 Resultados da Inversão	72
6.4.1 Transverso Magnético (TM)	72
6.4.2 Transverso Elétrico (TE)	77
6.4.3 Inversão simultânea dos modos TE e TM	81

7 Discussão e Conclusões	86
Referências Bibliográficas	89
Apêndice	93
1. Dados originais de resistividade aparente e fase	93-96
2. Testes de consistência dos dados através da interpolação RHOPPLUS.....	97-104
3. Resultados finais da decomposição Groom-Bailey	105-116
4. Modelos bidimensionais resultantes das inversões intermediárias REBOCC...	117-124

Lista de Figuras

1.1	Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná com localização do perfil MT.	3
1.2	Cartas estratigráficas mais utilizadas para a Bacia do Paraná.	4
1.3	Modelos do embasamento cratônico da Bacia do Paraná.	5
1.4	Localização das sondagens do perfil MT ao longo da região de estudo	6
1.5	Mapa de anomalia bouguer da região de estudo.	9
1.6	Mapa dos vetores de indução obtidos para períodos de 480, 1280, 3840 e 10240 s sobre o Cráton do São Francisco (SFC); Bacia do Paraná (PB); Bacia do Pantanal (PNB); Província do Tocantins (TP); Província da Mantiqueira (MP); e Oceano Atlântico (AO).	10
1.7	Modelo de distribuição da condutância, em escala logarítmica, obtido através do método GDS.	10
1.8	Poços próximos às sondagens MT	11
2.1	Espectro das flutuações do campo geomagnético	14
2.2	Resistividade elétrica das rochas.	19
2.3	Exemplo de um gráfico típico de respostas MT da variação da resistividade aparente e fase em função do período.	22
2.4	Esquema típico de arranjo de campo para aquisição de dados MT de banda larga.	24
2.5	Localização das estações MT.....	26
2.6	a) Estrutura de condutividade elétrica 2-D, b) Magnitude vertical das componentes Reais e Imaginárias do campo magnético e c) Vetores de Indução de Parkinson. ...	31
3.1	Curvas de resistividade aparente e fase da estação apo_008, como exemplo do resultado do processamento e união das bandas B, C e D.	34
3.2	Ruídos - Banda morta e 60 Hz - presentes nas curvas de resistividade aparente e fase da estação apo_003.	35
3.3	Curvas de resistividade e fase resultantes da estimativa pelo código RHOPUS sobrepostas aos dados experimentais.....	37
3.4	Pseudo-seções de resistividade do tensor de impedâncias a) componente XY b) componente YX. ...	40
3.5	Pseudo-seções da fase do tensor de impedâncias a) componente XY b) componente YX	41
4.1	Estações MT mais próximas ao poço 2-RA-1-MS cujos dados medidos foram comparados com os dados de resistividades aparentes e fases da modelagem direta poço 2-RA-1-MS	45
4.2	Comparações das respostas da modelagem direta do poço 2-RA-1-MS com os dados reais das estações mais próximas a esse poço: apo_012, apo_013, apo_014 e apo_015.	46
4.3	Curvas de resistividade aparente e fase empilhadas para as direções a) XY e b) YX.....	47
4.4	Curvas de resistividade em função da profundidade a) XY e b) YX obtidas a partir da transformada Nibliett-Bostick	49
4.5	Modelo de resistividade elétrica da inversão 1-D da direção a) YX e b) XY em escala vertical de 30 km.	51

4.6	Modelo de resistividade elétrica da inversão 1-D da direção a) XY e b) YX em escala vertical de 6 Km.	52
4.7	Vetores de Indução dos dados das 24 estações amostrados para períodos de 0.001s a 410s sobre o mapa de estrutura de falhas do conjunto de dados da CPRM.....	55-56
5.1	Decomposição Groom-Bailey a) frequência por frequência e b) por décadas.	61
5.2	Decomposição Groom-Bailey c) frequência por frequência com shear fixado e d) frequência por frequência com twist fixado. ..	62
5.3	Decomposição Groom-Bailey e) frequência por frequência com strike fixado e f) de todo o espectro de frequências	63
5.4	Azimutes dos strikes geoeletricos normalizados pela diferença de fase entre as componentes XY e YX do tensor. a) 1 a 10s, b) 10 a 100s e c) 100 a 410s.	67
5.5	Azimutes dos strikes geoeletricos a) de 1 a 10s b) 10 a 100s e c) 100 a 410s e vetores de indução a) 4s b) 30s e c) 150s sobrepostos ao mapa de anomalia Bouguer	69
6.1	Exemplo de gride (ou malha) criado para atribuição de valores de resistividade elétrica para modelos 2-D do REBOCC. Os números de 1 a 24 indicam a posição relativa das estações MT deste trabalho.....	70
6.2	Modelo de Terra estratificada unidimensionalmente admitido para entrada do REBOCC.	70
6.3	a) Ajuste das curvas de resistividade e fase do modo TM para o modelo da inversão 2-D.	74
6.3	b) Modelo de resistividade elétrica resultante da inversão 2-D do modo TM do tensor de impedâncias para o skin-depth máximo.....	75
6.3	c) Modelo de resistividade elétrica resultante da inversão 2-D do modo TM do tensor de impedâncias com profundidade máxima de 5 Km.....	76
6.4	a) Ajuste das curvas de resistividade e fase do modo TE para o modelo da inversão 2-D.....	78
6.4	b) Modelo de resistividade elétrica resultante da inversão 2-D do modo TE do tensor de impedâncias para o skin-depth máximo.....	79
6.4	c) Modelo de resistividade elétrica resultante da inversão 2-D do modo TE do tensor de impedâncias com profundidade máxima de 5 Km.....	80
6.5	a) Ajuste simultâneo dos modos TE (vermelho) e TM (azul) das curvas de resistividade e fase.	83
6.5	b) Modelo de resistividade elétrica resultante da inversão 2-D simultâneo (TE e TM) do tensor de impedâncias para todo o skin-depth.....	84
6.5	c) Modelo de resistividade elétrica resultante da inversão 2-D simultâneo (TE e TM) do tensor de impedâncias com profundidade máxima de 5 Km.....	85

Figuras do Apêndice

1.	Dados originais de resistividade aparente e fase	93-96
2.	Testes de consistência dos dados através da interpolação RHOPPLUS.....	97-104
3.	Resultados finais da decomposição Groom-Bailey dos dados de cada estação..	105-116
4.	Modelos bidimensionais resultantes das inversões intermediárias REBOCC	117-124