

**RESUMOS DE TESES E DISSERTAÇÕES
ABSTRACTS OF THESES AND DISSERTATIONS**

INVERSÃO CONJUNTA 1D E 2D DE DADOS DE ELETRORRESISTIVIDADE E TDEM APLICADOS EM ESTUDOS DE HIDROGEOLOGIA NA BACIA DO PARANÁ

Cassiano Antonio Bortolozo

IMAGEAMENTO MAGNETOTELÚRICO ATRAVÉS DO BASALTO NA PORÇÃO CENTRAL DA BACIA DO PARANÁ, SE, BRASIL

David Teixeira Taveira

INTEGRAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS NO ESTUDO DE CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E GEOLÓGICAS NA REGIÃO DA BACIA DO PARECIS

Isabella Nascimento Santos

CARACTERIZAÇÃO DE ESTRUTURAS TECTÔNICAS NA BACIA DOS PARECIS ATRAVÉS DE DADOS MAGNETOTELÚRICOS

Leonardo Beserra Vital

CONTRIBUIÇÕES EM ORIENTAÇÃO DE SENSORES MARINHOS E PROCESSAMENTO DE DADOS EM GPU DO MÉTODO MAGNETOTELÚRICO

Leonardo Guimarães Miquelutti

INVERSÃO CONJUNTA 1D E 2D DE DADOS DE ELETRORRESISTIVIDADE E TDEM APLICADOS EM ESTUDOS DE HIDROGEOLOGIA NA BACIA DO PARANÁ

Cassiano Antonio Bortolozo

Orientador: Dr. Jorge Luís Porsani (USP)

108 p. – Tese (Doutorado) – Defesa 18.02.2016

RESUMO. Nesta pesquisa de doutorado foi desenvolvida uma metodologia inovadora para a interpretação de dados geoeletricos por meio da inversão individual e conjunta 1D/2D para os métodos da eletrorresistividade (ER) e eletromagnético no domínio do tempo (TDEM). Os estudos foram focados no mapeamento de aquíferos sedimentares e cristalinos na bacia do Paraná, nas regiões dos municípios de Bebedouro, Ibirá e Pirassununga, no Estado de São Paulo. A metodologia de inversão conjunta foi escolhida, pois permite reduzir as ambiguidades presentes nos resultados, em relação aos métodos individuais. Para os cálculos diretos nos estudos 1D foram utilizadas as formulações de Johansen (1975) para SEV, e Nielsen et al. (2006) para sondagem TDEM. Para a inversão neste caso foi utilizado um algoritmo de busca global, o *Controlled Random Search* (CRS). Para a modelagem 2D, de dados de eletrorresistividade e TDEM, foi utilizada a formulação por meio da discretização pelo método das diferenças finitas, que permite a análise individual e conjunta desses métodos. Para a inversão de dados, nesse caso, utilizou-se um algoritmo clássico de inversão pelo método de Occam com modelos suavizados, que geraram bons resultados tanto com as inversões individuais como com a inversão conjunta. Para aprimorar os resultados foi implementado um algoritmo de modelagem e inversão de dados de eletrorresistividade pelo método de elementos finitos que incorpora informações da topografia do terreno e dessa forma obteve-se resultados que são melhores interpretados. Para a inversão utilizou-se nesse caso um algoritmo de máxima verossimilhança regularizado que foi implementado de forma pioneira para o caso de eletrorresistividade 2D. Os resultados desta pesquisa estão divididos em duas partes: dados sintéticos e dados reais. Os resultados com a inversão dos dados sintéticos são importantes porque mostram como os processos de inversão individual e conjunta trabalham, validam os resultados e mostram as suas vantagens e limitações. Nos estudos com modelos sintéticos conclui-se que a inversão conjunta 1D e 2D é uma excelente metodologia que explora o melhor dos dois métodos (ER e TDEM), gerando resultados com maior precisão e menos ambiguidades. Com a inversão dos dados reais obteve-se mapas da distribuição da resistividade elétrica nas regiões estudadas, que permitiram mapear os aquíferos sedimentares (Formações Bauru e Botucatu) e cristalinos (Formação Serra Geral) nas regiões de Bebedouro, Ibirá e Pirassununga, contribuindo para aumentar o conhecimento dos sistemas de aquíferos presentes nessas regiões.

ABSTRACT. In this PhD research a new methodology was developed for interpretation of geoelectric data through individual and joint inversion 1D/2D of Resistivity (ER) and Electromagnetic Time Domain (TEM) methods. The studies were focused on the mapping of sedimentary and crystalline aquifers in the Paraná basin, in areas of the municipalities of Bebedouro, Ibirá and Pirassununga, in São Paulo. The joint inversion methodology was chosen for its ability to reduce ambiguities in the results, in relation to individual methods. For direct calculations of 1D studies were used the formulations of Johansen (1975) for VES, and Nielsen et al. (2006) for TEM survey. The 1D inversion process uses a global search algorithm, the Controlled Random Search (CRS). For 2D modeling, of electrical resistivity and TEM, the formulation uses the discretization by the finite difference method, which allows individual and joint analysis of these methods. For 2D data inversion we used a classic Occam's inversion method algorithm with smoothed models that generate good results with individual and joint inversion. To improve the results, we implemented a modeling and inversion algorithm of resistivity data with finite element method, that incorporates information from the topography, and generates results that are better interpreted. For this inversion was used a maximum likelihood smoothed algorithm which has been implemented in an innovative way for the case of 2D resistivity. The results of this research are divided into two parts: synthetic and real data. The results of the synthetic data inversion are important because they show how the individual and joint inversion processes work, validate the results and show its advantages and limitations. In the studies with synthetic models it is concluded that the 1D and 2D joint inversion is an excellent methodology that explores the best of both methods (ER and TEM), yielding results with greater accuracy and less ambiguity. With the inversion of real data was obtained maps of the distribution of electrical resistivity in the studied areas, which allowed mapping the sedimentary (Bauru and Botucatu Formations) and crystalline (Serra Geral Formation) aquifers in the regions of Bebedouro, Ibirá and Pirassununga, increasing the knowledge of the water systems in these regions.

IMAGEAMENTO MAGNETOTELÚRICO ATRAVÉS DO BASALTO NA PORÇÃO CENTRAL DA BACIA DO PARANÁ, SE, BRASIL

David Teixeira Taveira

Orientador: Dr. Sergio Luiz Fontes (ON)

102 p. – Dissertação (Mestrado) – Defesa 04.03.2016

RESUMO. A Bacia do Paraná é uma das maiores bacias sedimentares intracratônicas da Placa Sul Americana. Tem área total aproximada de 1500000 km² estando presente na Argentina, no Uruguai, na República do Paraguai e principalmente no Brasil (1100000 km²). Seu formato é ovalado e a profundidade estimada para o depocentro é de 7000 m. A bacia encontra-se preenchida por rochas sedimentares do Paleozoico e Mesozoico cobertas por uma espessa camada basáltica (até 1700 m), que ocupa dois terços da superfície brasileira da bacia e está associada ao rompimento do Gondwana e à abertura do Oceano Atlântico Sul. Devido à baixa resolução das imagens sísmicas em ambientes magmáticos e com o objetivo de caracterizar a estrutura geoeétrica da bacia, nós utilizamos dados eletromagnéticos, obtidos com o método magnetotelúrico (MT), provenientes de três perfis (dois paralelos com 300 km de extensão cada, e um perpendicular com 150 km, com espaçamento típico entre estações de 1.8 km) promovidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) na região central da bacia. O método MT utiliza a variação temporal dos campos eletromagnéticos induzidos na superfície terrestre para o imageamento da distribuição da resistividade elétrica de estruturas em subsuperfície. Os dados variam predominantemente entre 400 Hz e 0,001 Hz e foram processados com a técnica de processamento robusto proposta por Egbert e Booker (1986) com estações *single-site* e remotas. Utilizou-se o código WALDIM para analisar a dimensionalidade geoeétrica dos dados e determinar a melhor abordagem a ser utilizada na modelagem e inversão dos dados. Para corrigir a presença de *static shift*, foram utilizados dados do método Transiente Eletromagnético (TEM ou TDEM) obtidos nas estações MT. A espessura da bacia varia entre 4000 m e 7000 m e é possível mapear um embasamento fragmentado até a profundidade da crosta inferior, ambos resultados em concordância com estudos prévios na bacia.

ABSTRACT. Known as one of the largest South American Plate's intracratonic sedimentary basin, the Paraná Basin has an area of 1500000 km² spread over several South American countries, specially Brazil (1100.000 km²). With an oval shape and an estimated depocenter's depth about 7000 m, the basin is filled with Paleozoic and Mesozoic sedimentary rocks covered by a thick basaltic layer (Serra Geral formation). The basaltic layer spreads over two thirds of the basin's Brazilian surface and is associated to the Gondwana breaking and opening of the South Atlantic Ocean. Due to the low-resolution of seismic images in magmatic environment and with the purpose to study the basins geoelectric structure, we used broadband magnetotelluric (MT) data from two profiles (one 300 km long with 126 MT stations and a perpendicular one 150 km long with 80 MT stations) as part of a geophysical study promoted by ANP (the Brazilian National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels) in the basin's central region. The MT method uses the induced electromagnetic field's time variation over the surface to image the electric resistivity of the subsurface structures. MT data were acquired in the frequency range 400 Hz and 0.001 Hz and was processed using robust procedure using both single-site and remote reference estimates. Data appraisal was performed using the WALDIM dimensionality analysis and tipper estimations. Static shift present in most of the MT data were corrected using transient electromagnetic (TEM) measurements obtained at all MT stations. 2D MT imaging constrained by borehole data and previous studies presented good results for both profiles. The basin thickness varied between 4000 m and 7000 m and it was also possible to map a fragmented basement reaching lower crustal depths, both results in agreement with previous studies in the basin.

INTEGRAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS NO ESTUDO DE CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E GEOLÓGICAS NA REGIÃO DA BACIA DO PARECIS

Isabella Nascimento Santos

Orientador: Dr. Emanuele Francesco La Terra (ON)

51 p. – Dissertação (Mestrado) – Defesa 31.03.2016

RESUMO. Há indícios de que a Bacia do Parecis tenha um grande potencial para a geração de hidrocarbonetos e que esta corresponda a uma das maiores reservas de gás natural no Brasil. Esta bacia possui uma complexa história evolutiva e pouco se sabe sobre sua arquitetura e configurações geológicas. Com o objetivo de contribuir com este trabalho para o estudo e para um melhor entendimento da bacia, foram usados dados geológicos e geofísicos. Os estudos acerca das estruturas que ocorrem no embasamento de uma bacia sedimentar, é de grande importância para a compreensão de sua evolução estratigráfica. Devido ao fato de que nenhum poço estratigráfico ter alcançado o embasamento, não se sabe ao certo a profundidade máxima alcançada pela bacia em seu depocentro mas estima-se que esta profundidade ultrapasse 6 km. Neste trabalho foi modelada uma seção 2D a partir de dados gravimétricos integrados a estudos magnetotéluricos que estão sendo realizados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. A superfície de anomalia Bouguer da área de estudo foi representada por um polinômio de 4º grau para estimar a profundidade da Moho. O modelo gravimétrico proposto apresentou um bom ajuste com erro R.M.S. de 0,408 mGal. O modelo gravimétrico que se refere a registros sedimentares da bacia, características geológicas foram obtidas através de um poço estratigráfico localizado no perfil e de vínculos com modelos de resistividade elétrica 1D medidas em um perfil regional de direção NW-SE. No modelo gerado a partir de dados gravimétricos residuais e que se referem à bacia sedimentar, ficou evidente a ocorrência de grandes estruturas eu concordam com o contexto tectônico já descrito por estudos anteriores. No Gráben de Pimenta Bueno, onde está a maior espessura sedimentar, apresenta profundidade do embasamento de aproximadamente 5,8 km.

ABSTRACT. There are clues that the Parecis basin has great hydrocarbons potential and that this is one of the largest natural gas reserves in Brazil. This basin has a complex evolutionary history and little is known about its architecture and geological features. In an attempt to contribute to the study and understanding of this basin, they were used geophysical and geological data in the construction of this work. The study of structures within the basement underneath a sedimentary basin is very important to the understanding of its tectonic-stratigraphic evolution. It is not known for certain depth in the basin depocenter because no stratigraphic well reached the basement and it is estimated that this goes beyond the 6 km. In this study a 2D section was modeled as of gravity data in complement to allocated magnetotelluric (MT) studies that are being carried out by the Brazilian National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels – ANP. The Bouguer anomaly surface of the study area was represented by a fourth degree polynomial surface to estimate the relief of Moho. The gravimetric model includes the regional presents good fit with R.M.S error of 0.408 mGal. In sedimentary part, characteristics was obtained by taking into account data from one existing stratigraphic well in the area and also integrating 1D electrical resistivity model links from new magnetotelluric measured data in regional profile. The gravity model that concerns the sedimentary basin records, geological characteristics was obtained through a stratigraphic well located in the profile and integration with electrical resistivity 1D model measures on a regional profile with NW-SE direction. The model generated from residual gravimetric data, which relate to sedimentary basin, gave evidence of the occurrence of regional structures that agree with the tectonic context already described by previous studies. The largest sedimentary thickness occurs in the Pimenta Bueno Graben, where the basement depth is approximately 5.8 km.

CARACTERIZAÇÃO DE ESTRUTURAS TECTÔNICAS NA BACIA DOS PARECIS ATRAVÉS DE DADOS MAGNETOTELÚRICOS

Leonardo Beserra Vital

Orientador: Dr. Emanuele Francesco La Terra (ON)
57 p. – Dissertação (Mestrado) – Defesa 03.03.2016

RESUMO. A Bacia dos Parecis é uma bacia intracratônica brasileira que cobre uma área de aproximadamente 500 000 km². A bacia ocupa a parte sudoeste do cráton amazônico e a profundidade de seus sedimentos é estimada em 6000 m no seu depocentro. A história deposicional da bacia começou durante o Paleozoico. Existem poucos estudos geofísicos na região, onde apenas três poços foram perfurados, mas somente dois são públicos. A Agência Nacional do Petróleo contratou uma aquisição de algumas distribuições 2D de conjuntos de dados multi-geofísicos, tais como sísmicos, magnetotélúricos, gravimétricos e magnetométricos. No presente estudo, foram usados 200 sondagens MT banda larga distribuídas em dois perfis: um na direção NW-SE com 185 km de comprimento e o outro NE-SW com 360 km. O processamento de dados foi realizado através das técnicas robustas de estação única e referência remota. A análise dimensional corroborou o caráter 3D da distribuição de condutividade na área, a qual foi feita pelo algoritmo WALDIM que usa os invariantes rotacionais do tensor magnetotélúrico para fornecer os diferentes tipos de dimensionalidade para cada frequência adquirida. O objetivo deste estudo é, principalmente, definir a espessura do pacote sedimentar e o topo do embasamento cristalino ao longo dos dois perfis MT que cruzam duas estruturas tectônicas da bacia: Alto de Brasnorte e Gráben Pimenta Bueno. Além disso, o estudo correlaciona os contrastes de condutividade da bacia com os estudos geológicos anteriores. Os resultados dos modelos de inversão 2D MT indicam que o Gráben Pimenta Bueno pode alcançar 6000 m e mostra uma boa variação lateral de uma estrutura condutiva para ambos perfis, a qual é relacionada ao pacote sedimentar da bacia. Os modelos de resistividade mostraram uma clara variação do relevo do embasamento o que pode ser início de eventos tectônicos que mudaram as estruturas da bacia.

ABSTRACT. The Parecis Basin is a Brazilian intracratonic basin covering an area of approximately 500 000 km². This basin occupies the southwestern part of the Amazonian craton and its sediments are believed to reach 6000 m depth at the depocenter. The depositional history of the basin has started during the Paleozoic. There are some geophysical studies in this region, where three exploratory boreholes were made, but only two are public. Brazilian Petroleum Agency hired an acquisition of a few 2D distribution of multigeophysical datasets, as seismic, magnetotelluric, gravimetric and magnetometric. In the present study, we carried out 200 broadband soundings distributed in two profiles: one in NW-SE 185 km long and the other in NE-SW 360 km. Data processing has been done by using a robust single site and remote reference processing techniques. The response of WALDIM dimensionality analysis supported a regional 3D character of the conductivity distribution in the area, using the rotational invariants of the magnetotelluric tensor to provide the different types of dimensionality for each acquired frequency. The aim of this study is to define the thickness of the sedimentary package and top of the crystalline basement along the MT profiles has been crossed on two main geological structures from the tectonic framework of the basin: Brasnorte High and Pimenta Bueno Graben. The results of the 2D MT inversion model indicate that the Pimenta Bueno Graben can reach almost 6000 m depth and show good lateral variation of a conductive structure that can be associated to sediments of the basin. The resistivity models showed clearly a variation of the relief from the basement, indicating that tectonic events have changed the basin framework.

CONTRIBUIÇÕES EM ORIENTAÇÃO DE SENSORES MARINHOS E PROCESSAMENTO DE DADOS EM GPU DO MÉTODO MAGNETOTELÚRICO

Leonardo Guimarães Miquelutti

Orientador: Dr. Sergio Luiz Fontes (ON)

64 p. – Tese (Doutorado) – Defesa 03.03.2016

RESUMO. Apresenta-se, nesta tese, um método para recuperar a orientação de sensores magnetotelúricos marinhos (MMT) lançados no fundo oceânico para aquisição de dados. Em um levantamento MMT, contratado pelo Observatório Nacional, a empresa não dispunha de sensores de orientação nos receptores MMT (por exemplo, bússola eletrônica), de modo que a respectiva orientação de cada estação é desconhecida. Métodos para se obter a orientação relativa entre duas estações distintas foram propostos, baseados na variação natural do campo eletromagnético da Terra, e posteriormente testados em dados com orientação conhecida a fim de validação das metodologias propostas. Análise dimensional entre as estações envolvidas foram feitas com o intuito de se investigar se há relação entre o ângulo de orientação relativa obtido e a geometria da subsuperfície considerada. Por fim, as metodologias propostas e testadas foram aplicadas ao conjunto de estações MMT em questão para estimar as respectivas orientações, de modo que a estação de referência, de orientação conhecida, é o Observatório Magnético de Vassouras, situado no continente, a cerca de 120 km de distância das estações marinhas. Paralelamente, apresenta-se a biblioteca C++ intitulada *matCUDA*. Uma instância (ou objeto) de sua classe principal, *Array*, representa um vetor ou matriz, cuja memória é automaticamente alocada e desalocada, baseado nas dimensões e tipo de cada objeto. Operadores matemáticos foram redefinidos com o propósito de realizarem operações matriciais entre diferentes instâncias (isto é, vetores ou matrizes) de *Array*. Além, funções membros de *Array* são também responsáveis pela realização de determinadas operações algébricas. A maioria das operações implementadas ocorrem em GPU (*graphics processing units*), provendo alto desempenho aos códigos que usam a biblioteca *matCUDA*. Finalizando, apresenta-se o “mtaas”, um programa de processamento de dados MT que se utiliza da biblioteca *matCUDA* para calcular os parâmetros desejados. Em fase inicial de desenvolvimento, processa dados adquiridos com equipamentos Phoenix MTU de modo *single-site* e estima o tensor de impedância via métodos dos mínimos quadrados.

ABSTRACT. In this work we present a methodology to retrieve the orientation of marine magnetotelluric sensors (MMT) deployed in the ocean bottom to acquire data. In a past MMT survey, contracted by Observatório Nacional, the company did not dispose of any orientation device installed on the MMT sensors (as electronic compass for example), in a way that the true orientation of these stations are unknown. Based on the Earth's naturally time-varying electromagnetic field, we propose and test methods to evaluate the relative orientation between two stations. Dimensional analysis between involved stations are carried out in order to investigate whether there is relationship between the retrieved relative orientation and the geometry of the respective subsurface geometry. Finally, we use the proposed methodologies to orientate the MMT stations, using Vassouras Magnetic Observatory, located on mainland about 120 km apart from the survey, as the reference station with well-known orientation. Besides, we present the C++ library *matCUDA*. An instance (or object) of its main class *Array* represents a vector or matrix with automatic memory allocation/deallocation based on dimensions and type of each object. Mathematical operators were overloaded to perform algebraic operations between instances of *Array*. Also, function members of *Array* are responsible for some algebraic operation. Most of the implemented process take place on the GPU (*graphics processing units*), delivering high performance to codes using *matCUDA* library. Finally, we present “mtaas”, a MT data processing program that takes advantage of *matCUDA* in order to evaluate the desired parameters. Still under development, it process single-site data acquired with Phoenix MTU systems, using regular least square approach to retrieve the MT impedance tensor.