

## ABSTRACTS OF THESES AND DISSERTATIONS

PALEOMAGNETISMO DA FORMAÇÃO PENATECAUA DA PROVÍNCIA MAGMÁTICA DO ATLÂNTICO CENTRAL NA BACIA AMAZÔNICA, BRASIL

*Giovanni Moreira*

ESTUDO DE PARÂMETROS GEOMECÂNICOS DE UMA CÉLULA EXPERIMENTAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COM MÉTODOS GEOFÍSICOS

*Nataly Marcela Aranda Camacho*

ATENUAÇÃO DE INTENSIDADES EM TERREMOTOS INTRAPLACA NO BRASIL COM REAVALIAÇÃO DE SISMICIDADE HISTÓRICA E IMPLEMENTAÇÃO DA FERRAMENTA MACROSEISMIC INTENSITY DATA ONLINE PUBLISHER (MIDOP)

*Lúcio Quadros de Souza*

MODELAGEM E INVERSÃO DE MÉTODOS POTENCIAIS DO TERRENO GRANITO-GREENSTONE RIO DAS VELHAS NO NOROESTE DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

*Caio Alencar de Matos*

MODELO DE VELOCIDADE DA ONDA S (1D) PARA A LITOSFERA DA BACIA DO PANTANAL

*Estevão Vasconcello Campos Tadeu*

INTERFERÊNCIA DE ESTRUTURAS METÁLICAS EM MEDIDAS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA SOB NÚMERO DE INDUÇÃO BAIXO: ESTUDO EXPERIMENTAL E NUMÉRICO

*Pedro Henrique da Silva Chibane*

TOPOGRAFIA DINÂMICA E CONVECÇÃO MANTÉLICA INDUZIDAS PELA SUBDUCÇÃO DE LITOSFERA OCEÂNICA: UMA ABORDAGEM NUMÉRICA

*Jamison Faustino Gomes de Assunção*

INVERSÃO 2D DE DADOS MAGNETOMÉTRICOS COM MODELO PRISMÁTICO: APLICAÇÃO EM ENXAMES DE DIQUES

*Felipe Lisboa Cavalcante*

**PALEOMAGNETISMO DA FORMAÇÃO PENATECAUA DA PROVÍNCIA MAGMÁTICA DO ATLÂNTICO CENTRAL NA BACIA AMAZÔNICA, BRASIL****Giovanni Moreira**

Advisor: Dr. Marcia Ernesto (USP)

67 p. – Master Dissertation – April 24, 2019

**ABSTRACT.** The Penatecaua magmatism occurring in northern Brazil (Pará State) belongs to the so-called Central Atlantic Magmatic Province (CAMP), which preceded the Pangaea breakup. Near the cities of Medicilândia, Placas, Rurópolis, Monte Alegre e Alenquer diabase sills and dikes outcrop along roads. Recent  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  dating give an age of  $\sim 201$  Ma for the CAMP magmatism in the area. The paleomagnetic study on 20 sampling sites of the Penatecaua magmatism, revealed stable characteristic magnetization components through alternating magnetic field and thermal demagnetizations. The main magnetic carriers are magnetite or low-Ti titanomagnetites. The paleomagnetic pole based on the studied sites and incorporating more data from the literature for the same magmatism is located at  $78^\circ\text{N}$   $85.1^\circ\text{E}$  ( $N = 25$ ;  $95 = 4.2$ ;  $k=47.78$ ) and is coherent to other South American CAMP paleomagnetic poles for which good age control is available. This similarity of results reinforces the observations that the CAMP in South America was a very fast event and this is noticed in the magnetic record of the Penatecaua rocks.

**RESUMO.** O magmatismo Penatecaua no Estado do Pará faz parte da Província Magmática do Atlântico Central (CAMP) cuja formação precedeu a ruptura do Pangea, o mais recente supercontinente. Nos arredores das cidades de Medicilândia, Placas, Rurópolis, Monte Alegre e Alenquer afloram uma grande quantidade de soleiras de diabásio e diques observados ao longo de estradas. Idades  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  recentes atribuem a idade de  $\sim 201$  Ma para o magmatismo CAMP nessa região. Estudo paleomagnético nessas intrusões foi realizado em trinta sítios de amostragem nas cinco áreas acima citadas. A magnetização remanente característica dos sítios estudados é de polaridade normal e foi identificada através de desmagnetizações por campos magnéticos alternados e térmicas e interpretada como termorremamente, adquirida na época do resfriamento da rocha. Os portadores magnéticos são magnetitas ou titano-magnetitas com baixo conteúdo de Titânio. O polo paleomagnético calculado com base em 20 sítios de amostragem e incorporando dados da literatura para o mesmo magmatismo, situa-se a  $76.5^\circ\text{N}$   $80.5^\circ\text{E}$  ( $N=30$ ;  $\alpha 95 =3.8$ ;  $k=50$ ) e é coerente com polos de outras ocorrências ígneas da América do Sul já identificadas como pertencentes ao evento CAMP. Essa similaridade de resultados reforça as observações de que o CAMP na América do Sul foi um evento muito rápido e isso é notado claramente no registro magnético das rochas do Penatecaua.

**ESTUDO DE PARÂMETROS GEOMECÂNICOS DE UMA CÉLULA EXPERIMENTAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COM MÉTODOS GEOFÍSICOS****Nataly Marcela Aranda Camacho**

Advisor: Dr. Vagner Roberto Elis (USP)

218 p. – Doctorate Thesis – June 26, 2019

**ABSTRACT.** The sanitary landfills in Brazil have a high organic content (around 50%), a variety of mixed wastes, and low compaction energy. These characteristics are unusual in the well-studied landfills of developed countries. Improper landfill characterization may lead to groundwater contamination and slope instability. Therefore, it is crucial to understand the behaviour and physical properties of poorly characterized landfills to prevent environmental risks in Brazil. A geophysical survey was performed on the municipal solid waste (MSW) in an experimental cell and a lysimeter located in the city of Campinas, State of São Paulo. Geophysical methods such as seismic refraction, active and passive multichannel analysis of surface waves, crosshole test, electro resistivity and induced polarization were used to estimate physical and elastic parameters of the solid waste. The resulting estimates were unit weight, moisture content, shear modulus, Poisson's ratio, elastic modulus, and the elastic wave velocities. The compressive wave velocity ( $V_p$ ) and the shear wave velocity ( $V_s$ ) were used to characterize and derive the dynamic and elastic properties of the MSW, used to generate a stability analysis. The crosshole test showed that the  $V_p$  ranged from 217 to 252 m/s and the  $V_s$  ranged from 86 to 89 m/s. These low  $V_p$  and  $V_s$  values were attributed to the high content of organic material (53 %), low compaction energy, and climatic conditions such as high pluviometry index and high temperatures. All these variables directly affect the pore fluid saturation, effective stress, and pore pressure. The low velocities estimated at the MSW were consistent with values reported in the literature and landfills located in countries with analogous socioeconomic and climatic conditions. Two boreholes in the experimental cell were used to perform an electrical resistivity test and a moisture analysis. The direct correlation between the electrical resistivity results and the volumetric moisture content was estimated using Archie's law. The calculated Archie's law parameters allowed the estimation of the tomography moisture content from the resistivity tomography. The joint analysis of moisture content, resistivity tomography, induced polarization and water balance in the experimental cell made possible to understand the humidity variation within the cell over time due to climatic conditions.

**RESUMO.** Os aterros sanitários no Brasil são caracterizados por seu alto conteúdo de material orgânico (próximo de 60%), presença de diferentes tipos de resíduos mistos e baixa energia de compactação, fatores que os diferencia dos aterros de países desenvolvidos e de alta renda (que por sua vez são os mais estudados). Para evitar riscos ambientais tais como, contaminação das águas subterrâneas e a instabilidade dos taludes, é crucial entender o comportamento dos aterros e as mudanças em suas propriedades físicas e mecânicas ao longo do tempo. Para isso, utilizando os métodos geofísicos de refração sísmica, análise multicanal de ondas superficiais ativa e passiva, ensaios crosshole, eletrorresistividade e polarização induzida, foram obtidos valores para algumas propriedades físicas como o peso específico e teor de umidade, e dos parâmetros elásticos como módulo cisalhamento, o coeficiente de Poisson, módulo de elasticidade, e velocidades das ondas elásticas, dos resíduos sólidos urbanos em uma célula experimental e um lisímetro na cidade de Campinas no Estado de São Paulo. A velocidade de onda compressiva ( $V_p$ ) e a velocidade de onda cisalhante ( $V_s$ ) são parâmetros importantes para subsidiar a caracterização mecânica de aterros sanitários, utilizando-se as propriedades elásticas e dinâmicas dos RSU para análise de estabilidade. Os resultados obtidos nos ensaios crosshole mostraram que a  $V_p$  variou de 217 até 252 m/s e  $V_s$  variou de 86 até 89 m/s. Estes valores baixos podem ser atribuídos ao alto teor de matéria orgânica, baixa energia de compactação e condições climáticas, como alto índice pluviométrico e altas temperaturas que, juntas, levam a mudanças na saturação do fluido de poros, estresse efetivo e pressão de poros. Estes valores são indicativos do limite inferior das velocidades correspondentes relatadas na maioria da literatura; no entanto, eles estão de acordo com os valores reportados para aterros localizados em países com condições socioeconômicas e climáticas semelhantes. Usando os métodos de eletrorresistividade junto com análises de umidade de amostras obtidas de dois furos na célula experimental, foi encontrada a correlação direta entre a resistividade elétrica e o teor de umidade volumétrico por meio da lei de Archie, onde os parâmetros foram achados. Com a lei de Archie foi calculada a tomografia de teor de umidade a partir das tomografias de eletrorresistividade. Em uma análise conjunta do teor de umidade, tomografia de resistividades, polarização induzida e o balanço hídrico da célula experimental, foi possível entender a variação de umidade dentro da célula ao longo do tempo devido as condições climáticas.

## ATENUAÇÃO DE INTENSIDADES EM TERREMOTOS INTRAPLACA NO BRASIL COM REAVALIAÇÃO DE SISMICIDADE HISTÓRICA E IMPLEMENTAÇÃO DA FERRAMENTA MACROSEISMIC INTENSITY DATA ONLINE PUBLISHER (MIDOP)

Lúcio Quadros de Souza

Advisor: Dr. Marcelo Sousa de Assumpção (USP)

54 p. – Master Dissertation – September 12, 2019

**ABSTRACT.** This thesis is split in two projects: an attenuation of intensities study of intraplate regions in Brazil with re-evaluation of historical seismicity; and an implementation of Macroseismic Intensity Data Online Publisher (MIDOP) tool, capable of publishing macroseismic intensity data on the web. [INTENSITY ATTENUATION] Intensity evaluation attempts to quantify a qualitative description of the effects observed in an earthquake ranked in terms of how strong it was felt and the amount of damage. Despite its qualitative nature, intensity data is essential to study both historical and recent earthquakes, such as in earthquake hazard studies and where dense accelerometric data are missing. The magnitude of historical earthquakes in Brazil have been determined with relations involving magnitude and felt area. Intensity attenuation equations (decay of intensity as a function of magnitude, depth and distance) determined in other regions of the world are intrinsically dependent on the crustal tectonic characteristics and cannot be applied to Brazil without proper evaluation. We determined an intensity attenuation equation using 20 earthquakes in Brazil and neighboring intraplate areas, in the magnitude range 3.5 to 6.2 mb and hypocentral distances up to 720 km. The best attenuation model was  $I = 0.995 M - 1.505 \log R - 0.00116 R + 2.08$  (std. dev. = 0.778) where M is the magnitude (mb) and R the hypocentral distance (km). The uncertainties of the estimated magnitudes using this equation are around  $\pm 0.72$  mb for events with 30 or more intensity points. We tested the new equation with intensity data from two important events: The 1939 offshore earthquake (6 mb) in Southern Brazil and the 2018 Venezuela earthquake (6.9 mb). The fit was reasonable for both earthquakes, with an rms residual of 1.0 and 1.1 intensity units, respectively. We also re-evaluated the 1861 (Lorena SP) and 1946 (Cananéia SP) earthquakes in SE Brazil. The new epicenter of the 1861 earthquake was 23.1°S 44.7°W with a magnitude of 5 mb. The epicenter was located onshore, but the estimated uncertainties include a large offshore region. Given that, the location of the 1861 event remains uncertain. The new epicenter of the 1946 earthquake was 24.9°S 47.7°W with magnitude of 4.3 mb. The epicenter was located close to the coast, with an uncertainty encompassing mostly equally the onshore and offshore (without reaching the continental slope) regions. The new location is close to the original defined epicenter for this earthquake, reinforcing the possibility of the event taking place offshore. [MIDOP] When working with macroseismic intensity data one of the main issues is the lack of a common platform that unifies contributing and searching for this kind of data. It is common that each researcher compiles individually his/her dataset, possibly in different formats, and not always available in a digital medium. To overcome such issues, the Archive of Historical Earthquake Data (AHEAD) coordinated at Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Sezione di Milano in Italy developed the first dedicated solution to publish macroseismic intensity data on the internet. The AHEAD team created MIDOP, a coding-free approach that allows users to create a secure and lightweight web interface capable of transforming raw macroseismic data tables in interactable intensity maps. That interface allows for easy search, download and upload of macroseismic information, that is accessible to any user on the internet. The MIDOP was implemented with a compilation of several Brazilian historical earthquakes (mainly historical events from the book Sismicidade do Brasil from Berrocal et al., 1984). MIDOP is already deployed in the address (accessed 31 of July of 2019): <http://moho.iag.usp.br/midop/> It is expected that MIDOP will allow for further collaboration between researchers through the use of standard formats and easier access to Brazilian macroseismic data.

**RESUMO.** Este trabalho é dividido em dois projetos: estudo da atenuação de intensidades em regiões intraplaca brasileiras com reavaliação de sismicidade histórica; e a implementação da ferramenta Macroseismic Intensity Data Online Publisher (MIDOP), capaz de disponibilizar dados macro sísmicos de intensidade na internet. [ATENUAÇÃO DE INTENSIDADES] Medidas de intensidade buscam quantificar a descrição qualitativa dos efeitos observados em um terremoto em termos de quão forte foi sentido e da quantidade de danos. Apesar de sua natureza qualitativa, dados de intensidade são essenciais no estudo de tremores de terra históricos e recentes, como em estudos de risco sísmico e em regiões onde faltam dados acelerométricos. A magnitude de terremotos históricos no Brasil tem sido determinada com relações que envolvem a magnitude e área sentida. Equações de atenuação de intensidades (diminuição da intensidade em função da magnitude, profundidade e distância) determinadas em outras regiões do mundo são intrinsecamente

dependentes das características tectônicas crustais para onde foram calculadas e não podem ser aplicadas no Brasil sem uma avaliação apropriada. Foi determinada uma equação de atenuação de intensidades usando 20 terremotos no Brasil e regiões intraplaca vizinhas, no intervalo de magnitude 3.5 a 6.2 mb e distâncias hipocentrais de até 720 km. O melhor modelo de atenuação foi  $I = 0.995 M - 1.505 \log R - 0.00116 R + 2.08$  (desv. pad. = 0.778) onde M é a magnitude (mb) e R a distância hipocentral (km). As incertezas de magnitudes estimadas usando essa equação são por volta de  $\pm 0.72$  mb para eventos com 30 ou mais medições de intensidade. Nós testamos a nova equação com dados de intensidade de dois importantes eventos: O terremoto offshore de 1939 no sudeste brasileiro (6 mb) e o terremoto venezuelano de 2018 (6.9 mb). O ajuste foi razoável para os dois terremotos, com um resíduo rms de 1.0 e 1.1 unidades de intensidade, respectivamente. Nós também reavaliamos os tremores de 1861 (Lorena SP) e 1946 (Cananéia SP) no sudeste brasileiro. O novo epicentro do evento de 1861 foi 23.1°S 44.7°O com magnitude de 5.0 mb. O epicentro foi localizando onshore, mas as incertezas estimadas incluem uma grande região offshore. Devido a isto, a localização do evento de 1861 permanece incerta. O novo epicentro do evento de 1946 foi 24.9°S 47.7°O com magnitude de 4.3 mb. A localização do epicentro foi próxima da costa, com uma incerteza englobando semelhantemente as porções onshore e offshore (sem chegar ao talude). A nova localização é muito próxima do epicentro original para este terremoto, reforçando a possibilidade de o evento ter sido localizado offshore. [MIDOP] Quando trabalhamos com dados macrossísmicos de intensidade um dos principais problemas é a falta de uma plataforma que unifique a contribuição e pesquisa desse tipo de informação. É comum que cada pesquisador compile individualmente sua base de dados, possivelmente em diferentes formatos, e que nem sempre está disponível num meio digital. Para superar tais problemas, o Archive of Historical Earthquake Data (AHEAD) coordenado no Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Sezione di Milano na Itália desenvolveu a primeira solução dedicada a publicar dados macrossísmicos de intensidade na internet. A equipe do AHEAD criou MIDOP, uma solução que não requer experiência de programação web que permite usuários criarem uma interface simplificada e segura na internet, capaz de transformar tabelas de dados brutos em mapas interativos de intensidade. A interface permite buscar, baixar dados e contribuir informação macrossísmica, que estará disponível a qualquer usuário na internet. Foi implementado MIDOP com um compilado de diversos terremotos históricos brasileiros (maioria eventos do livro Sismicidade do Brasil de Berrocal et al., 1984). MIDOP está disponibilizado no endereço (acessado 31 de julho de 2019): <http://moho.iag.usp.br/midop/> A expectativa é de que MIDOP permitirá maior colaboração entre pesquisadores através do uso de formatos de arquivos padronizados e facilitação de acesso a dados macrossísmicos no Brasil.

**MODELAGEM E INVERSÃO DE MÉTODOS POTENCIAIS DO TERRENO GRANITO-GREENSTONE  
RIO DAS VELHAS NO NOROESTE DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO****Caio Alencar de Matos**

Advisor: Dr. Yára Regina Marangoni (USP)

67 p. – Master Dissertation – September 12, 2019

**ABSTRACT.** It is common to use gravimetric modeling on greenstone belts due the high contrast density between the greenstone rocks (usually metamafic and metaultramafic) and its basement (usually gneisses and granites). The present work estimates the geometry of the greenstone belt near Pitangui city on the state of Minas Gerais - Brazil. To estimate the geometry five 2D gravimetric forward modeling sections are presented. The models were constrained by a published seismic section, sections obtained from the magnetization vector inversion (MVI), calculated from magnetometric data, and from geological contacts. The geometry of the greenstone belt is presented by the forward modeling, even in regions where the greenstone belt is not outcropping. The maximum depth of the greenstone belt ranged from approximately 1 to 5 km; the models indicated that the maximum depth becomes shallower toward South. The anomalous modeled body edges present abrupt contacts between the greenstone belt and the basement. The lateral boundaries (outcrops or not) were estimated by Bouguer anomaly map. An important model result is an extension of the greenstone belt at NW under the Bambuí Group.

**RESUMO.** É comum o uso da modelagem gravimétrica sobre greenstone belts devido ao alto contraste de densidade entre as rochas que preenchem o greenstone (geralmente metamáficas e metaultramáficas) e o seu embasamento (geralmente gnaisses e granitos). O presente trabalho faz modelagens gravimétricas 2D do greenstone belt na região da cidade de Pitangui em Minas Gerais - Brasil. São apresentadas 5 sessões de modelos gravimétricos 2D usando como vínculos uma seção sísmica publicada, seções retiradas da inversão do vetor magnético (MVI), que foi calculada sobre os dados magnetométricos e os limites geológicos mapeados. As modelagens apresentaram a estimativa da geometria do greenstone belt em profundidade, independente se ele aflora ou não. A profundidade máxima do greenstone belt variou de 1 a 5 km, aproximadamente, sendo que a calha vai ficando mais rasa na porção Sul do greenstone. As bordas da modelagem mostraram um contato abrupto do greenstone com o embasamento. Os limites laterais (afloramentos ou não) foram estimados por meio do mapa gravimétrico de anomalia Bouguer. Um resultado importante da modelagem foi o prolongamento do greenstone à NW, sob o Grupo Bambuí.

## MODELO DE VELOCIDADE DA ONDA S (1D) PARA A LITOSFERA DA BACIA DO PANTANAL

**Estevão Vasconcello Campos Tadeu**

Advisor: Dr. Marcelo Sousa de Assumpção (USP)

70 p. – Master Dissertation – September 13, 2019

**ABSTRACT.** The Pantanal Sedimentary Basin is seismically active, with recorded earthquakes of magnitudes up to  $m_b$  5.4. The upper mantle of this region exhibits a relatively low P and S seismic wave velocity, compared to neighboring regions in South America (Assumpção et al., 2004; Feng et al., 2007). To better understand the cause of this velocity anomaly in the Pantanal Basin, we analyzed surface wave dispersion curves of earthquakes with magnitudes greater than or equal to 5.5, with different azimuthal distributions. We measure phase and group velocities for the fundamental and first superior vibration modes for Rayleigh surface waves and the fundamental mode of Love wave dispersion curves. We apply the Multiple Filtering Technique and stacking methods to obtain the group and phase velocities of the Rayleigh and Love waves. This allowed us to obtain S wave velocity (1D) models for the Pantanal Basin. The group and phase velocities were inverted using the linear method of Surf96, resulting in six S-wave velocity models for the Pantanal Basin. Two models exhibit velocities higher than those in IASP91 at 110 km and 150 km depth. The other four have low-velocities in a region between 110 km and 120 km, as well as at 150 km depth. This most likely evidences a thinner lithosphere in the Pantanal Basin, as proposed by Assumpção et al. (2004).

**RESUMO.** A Bacia Sedimentar do Pantanal é sismicamente ativa, com terremotos registrados de magnitude até  $m_b$  5,4. O manto superior desta região apresenta uma queda de velocidade das ondas sísmicas P e S, em comparação com as regiões vizinhas na América do Sul. Para entender melhor a causa dessa anomalia de baixa velocidade na Bacia do Pantanal, analisamos as curvas de dispersão de ondas de superfície de terremotos com magnitudes maiores ou iguais a 5,5, com diferentes distribuições azimutais. Medimos as velocidades de fase e de grupo para o modo de vibração fundamental e primeiro modo superior das ondas Rayleigh e fundamental para a Love. Aplicamos a Técnica de Filtragem Múltipla e o método de empilhamento para obter as velocidades de grupo e de fase dessas ondas. Isso nos permitiu obter modelos de velocidade da onda S (1D) para a Bacia do Pantanal. As velocidades de fase e de grupo foram invertidas usando o método linear de Surf96, resultando em seis modelos de velocidade para a Bacia do Pantanal. Dois modelos exibem velocidades mais altas do que as do IASP91 em 110 km e 150 km de profundidade. Os outros quatro têm velocidades baixas nas regiões entre 110 km e 120 km, assim como em 150 km de profundidade. Isto provavelmente evidência uma litosfera mais fina na Bacia do Pantanal, como proposto por Assumpção et al. (2004).

**INTERFERÊNCIA DE ESTRUTURAS METÁLICAS EM MEDIDAS DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA  
SOB NÚMERO DE INDUÇÃO BAIXO: ESTUDO EXPERIMENTAL E NUMÉRICO****Pedro Henrique da Silva Chibane**

Advisor: Dr. Carlos Alberto Mendonça (USP)

35 p. – Master Dissertation – October 3, 2019

**ABSTRACT.** One of the main sources of interference in geophysical investigations with electromagnetic methods operating at low induction numbers is the presence of metallic structures (fences, antennas, transmission lines, among others). The general recommendation is that the equipment must be distant enough from these structures, about one or twice the separation of the coils that make up the acquisition system. This work presents an experimental and numerical study to characterize the interference produced by metal structures (fences made of galvanized wires) in apparent conductivity measurements with the EM34 (*Geonics Limited*) equipment. The fences were arranged with disconnected and connected wires to verify the distortions caused by the electric and magnetic fields individually. The numerical modeling was performed by the finite element method of the COMSOL *Multiphysics* software. The modeling procedures comprised program validation using numerical and experimental results available in the literature. Once validated, the programs were subjected to consistency tests in order to determine the accuracy of the obtained solutions, considering the effects of the mesh parameterization and the experimental data specifications (separation between coils and frequency). Modeling results show that, for induction numbers greater than 1, the apparent conductivity values, both from analytical and numerical evaluations, lack linearity with true values and show negative values in the coplanar horizontal model when the homogeneous half-space conductivity is greater than  $610.9 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ . Experimental and numerical results show that fences with disconnected wires (not forming coils) do not significantly interfere with the electrical conductivity measurements obtained with EM34. For connected wires, however, the interference is observed, being higher in more resistive terrains. In the experiments performed, it was observed that the distortion caused by fences with connected wires occurs at a smaller distance (about 1/5 of the coil separation) than that usually assumed (between 1 and 2 times such separation).

**RESUMO.** Uma das principais fontes de interferência em investigações geofísicas com métodos eletromagnéticos operando em número de indução baixo decorre da presença de estruturas metálicas (cercas, antenas, linhas de transmissão, entre outras). A recomendação geral é de que o equipamento esteja distante dessas estruturas, entre uma ou duas vezes a separação das bobinas que compõem o sistema de aquisição. Este trabalho apresenta um estudo experimental e numérico para caracterizar a interferência produzida por estruturas metálicas (cercas constituídas por fios de material galvanizado) em medidas de condutividade elétrica aparente com o equipamento EM34 (*Geonics Limited*). As cercas foram dispostas com fios desconectados e conectados para se verificar as distorções causadas pelos campos elétrico e magnético de forma individualizada. A abordagem numérica foi realizada pelo método dos elementos finitos do programa COMSOL *Multiphysics*. A modelagem compreendeu a validação do programa utilizando resultados numéricos e experimentais disponíveis na literatura. Uma vez validado, os programas foram submetidos a testes de consistência no intuito de determinar a precisão e a acurácia das soluções obtidas, considerando os efeitos da parametrização da malha e as especificações dos dados experimentais (separação entre bobinas e frequência). Essa modelagem mostrou que, para números de indução maior que 1, os valores de condutividade aparente, tanto analíticos quanto numéricos, perdem a linearidade com valores verdadeiros e apresentam valores negativos no arranjo horizontal coplanar quando a condutividade do semi-espaço homogêneo é maior do que  $610,9 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ . Os resultados experimentais e numéricos mostram que cercas com os fios desconectados (não formando espiras) não interferem significativamente nas medidas de condutividade elétrica obtidas com o EM34. Para os fios conectados, entretanto, a interferência é perceptível, aumentando em terrenos mais resistivos. Nos experimentos realizados, observou-se que a distorção causada por cercas com fios conectados ocorre em uma distância menor (cerca de 1/5 da separação entre as bobinas) que aquela usualmente aceita (entre 1 e 2 vezes tal separação).



## TOPOGRAFIA DINÂMICA E CONVECÇÃO MANTÉLICA INDUZIDAS PELA SUBDUÇÃO DE LITOSFERA OCEÂNICA: UMA ABORDAGEM NUMÉRICA

**Jamison Faustino Gomes de Assunção**

Advisor: Dr. Victor Sacek (USP)

122 p. – Master Dissertation – December 20, 2019

**ABSTRACT.** One of the main forces that drive plate tectonics is induced by the subduction of cold and dense oceanic lithosphere, creating a negative buoyancy relative to the adjacent hotter mantle. This downward movement perturbs the flow pattern mainly in the upper mantle, also affecting the vertical displacement of the Earth's surface in the geological time scale, phenomenon known as dynamic topography. Due to the physical complexity of these processes, a natural way to study subduction of lithospheric plates is through the use of numerical models. The aim of the present work is the development of numerical scenarios that reproduce some of the main aspects observed about geometry and kinematics of oceanic plates in subduction based on geophysical constraints. Specifically, I focused my attention on the subduction of the Nazca plate under the continental lithosphere of South America, at a latitude of 18°S. On the first part of this project, several numerical simulations were made to study the buoyancy of the Nazca plate. The results showed that for a relatively thicker oceanic lithosphere, the slab tends to deflect downwards, but it resists more to bending due to its rigidity. An opposing buoyant force produced by the oceanic crust contributed to an upward deflection of the subducting slab even when the resulting density of the entire slab was greater than the surrounding asthenospheric mantle density. The best combination found for the smallest deflection was that of an 80 km thick oceanic lithosphere with an 8 km thick oceanic crust with a density of 2800 kg/m<sup>3</sup>. On the second part of this project, the Nazca plate was simulated for more than 50 Myr to study its stagnation on the upper-to-lower mantle boundary. It was noticed that increasing the viscosity alone cannot explain slab flattening at 660 km, as phase change reflected by the increase in density was critical when studying slab penetration in the lower mantle.

**RESUMO.** Uma das principais forças que guiam a tectônica de placas é induzida pela subdução da litosfera oceânica fria e densa, criando uma flutuabilidade negativa em relação ao manto mais quente adjacente. Esse movimento descendente perturba o padrão de fluxo principalmente no manto superior, afetando também o deslocamento vertical da superfície da Terra na escala de tempo geológica, fenômeno conhecido como topografia dinâmica. Devido à complexidade física desses processos, uma maneira natural de estudar a subdução de placas litosféricas é através do uso de modelos numéricos. O objetivo do presente trabalho é o desenvolvimento de cenários numéricos que reproduzam alguns dos principais aspectos observados sobre geometria e cinemática de placas oceânicas em subdução com base em vínculos geofísicos. Especificamente, concentrei minha atenção na subdução da placa de Nazca sob a litosfera continental da América do Sul, a uma latitude de 18°S. Na primeira parte deste projeto, várias simulações numéricas foram feitas para estudar a flutuabilidade da placa de Nazca. Os resultados mostraram que, para uma litosfera oceânica relativamente mais espessa, a placa tende a defletir para baixo em relação à geometria observada da placa, mas resiste mais à flexão devido à sua rigidez. Já a crosta oceânica contribuiu para uma deflexão ascendente da placa em subdução, mesmo quando a densidade resultante de toda a placa era maior que a densidade do manto astenosférico circundante. A melhor combinação encontrada para a menor deflexão foi a de uma litosfera oceânica de 80 km com uma crosta oceânica de 8 km com uma densidade de 2800 kg/m<sup>3</sup>. Na segunda parte deste projeto, a placa de Nazca foi simulada por mais de 50 Myr para estudar sua estagnação próximo à transição para o manto inferior. Percebeu-se que o aumento da viscosidade por si só não pode explicar a horizontalização da placa em 660 km, pois a mudança de fase, induzindo um aumento da densidade no manto inferior, foi crítica para simular-se a estagnação de placas oceânicas acima do manto inferior.

## INVERSÃO 2D DE DADOS MAGNETOMÉTRICOS COM MODELO PRISMÁTICO: APLICAÇÃO EM ENXAMES DE DIQUES

Felipe Lisboa Cavalcante

Advisor: Dr. Carlos Alberto Mendonça (USP)

94 p. – Master Dissertation – February 2, 2019

**ABSTRACT.** This work presents a method of inversion of magnetometric data profiles in dyke swarms, using the modules of a program developed in the context of the Master. Dyke swarms produce complex patterns of anomalies, depending on the density of dikes along the evaluated profile, the magnetic properties of each unit and the existence of shallower and deeper sources. Few techniques prove effective in inverting data in such a scenario, either to retrieve reliable parameters for each dyke or average values in more complex cases. The method includes a stepwise inversion approach for multiprism models that are interactively identified according to the quality of fit to the data. In the proposed approach, the intensity of the anomalous vector field is initially inverted to provide geometric parameters (position along the profile and depth of the top) and the product of the magnetization intensity by the thickness for the model units. The obtained model is used to invert the total field anomaly data to obtain the magnetization inclination for each prism of the model. For profiles with few prisms (dykes), this approach proves to be effective in recovering the true parameters for each model unit. For profiles with a higher density of prisms, only mean values of different dyke populations can be recovered. This is achieved by applying a group analysis approach using the k-means algorithm, for alternative solutions obtained in the inversion of data. The method is tested with synthetic data generated by simple and complex configurations of prisms and interferences. Once tested with numerical simulations, the method is applied to a profile of the Dike Swarm of the Ponta Grossa Arch. The cluster analysis of alternative solutions identified at least three generations for the dikes in this profile, according to the average parameters of the groups. The mean values obtained with the cluster analysis were also used to calculate the crustal expansion along the profile, reaching values between 12 and 23%. In addition, inversion results were analyzed with wells from the Groundwater Information System (SIAGAS) database to evaluate the productivity of wells with respect to their proximity to specific dyke units. This study shows that more productive wells are located near a class of shallower dikes, as identified by the k-means analysis. For wells drilled in a zone of influence of this class of dykes in crystalline rocks of high metamorphic degree (tufts, meta-tufts), the productivity is about 14.5 times greater than those drilled in the hosting rocks. For wells in the zone of influence of this class of dykes in crystalline rocks of low metamorphic degree, the productivity is about 4.3 higher than the ones in the hosting rocks. A conceptual model for groundwater exploration is presented considering the distribution of shallow dikes in the studied region.

**RESUMO.** Este trabalho apresenta um método de inversão de perfis de dados magnetométricos em enxames de diques, utilizando os módulos de um programa desenvolvido no contexto do Mestrado. Os enxames de diques produzem padrões complexos de anomalia, dependendo da densidade de diques ao longo do perfil avaliado, das propriedades magnéticas de cada unidade e da existência de fontes mais rasas e profundas. Poucas técnicas se mostram eficazes em inverter dados em tal cenário, seja para recuperar parâmetros confiáveis para cada dique ou valores médios em casos mais complexos. O método inclui uma abordagem de inversão por etapas para modelos compostos por múltiplos prismas finos, identificados interativamente de acordo com a qualidade do ajuste aos dados. Na abordagem proposta, a intensidade do campo vetorial anômalo é inicialmente invertida para fornecer parâmetros geométricos (posição ao longo do perfil e profundidade do topo) e o produto da intensidade de magnetização pela espessura para as unidades do modelo. O modelo obtido é usado para inverter os dados de anomalia de campo total para se obter a inclinação de magnetização para cada prisma do modelo. Para perfis com poucos prismas (diques), essa abordagem revela-se eficaz na recuperação dos parâmetros verdadeiros para cada unidade do modelo. Para perfis com maior densidade de prismas, apenas valores médios de diferentes populações de diques podem ser recuperados. Isso é obtido aplicando uma abordagem por análise de grupo usando o algoritmo k-means, para soluções alternativas obtidas na inversão de dados. O método é testado com dados sintéticos gerados por configurações simples e complexas de prismas e interferências. Uma vez testado com simulações numéricas, o método é aplicado a um perfil do Enxame de Diques do Arco de Ponta Grossa. A análise de cluster de soluções alternativas identificou pelo menos três gerações para os diques neste perfil, de acordo com os parâmetros médios dos grupos. Os valores obtidos com a análise de grupos também foram utilizados para calcular a expansão crustal ao longo do perfil, chegando a valores entre 12 e 23%. Além disso, resultados de inversão foram analisados com poços da base de dados do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS) para avaliar a produtividade de poços com respeito à sua proximidade a unidades

específicas de diques. Este estudo mostra que poços mais produtivos estão situados próximos de uma classe de diques mais rasos, conforme identificado pela análise k-means. Para poços perfurados em zona de influência dessa classe de diques em rochas cristalinas de alto grau metamórfico (tufos, meta-tufos), a produtividade é cerca de 14,5 vezes maior do que aqueles perfurados nas encaixantes. Para poços em zona de influência dessa classe de diques em rochas cristalinas de baixo grau metamórfico, a produtividade é cerca de 4,3 maior do que nas encaixantes. Um modelo conceitual para exploração de águas subterrâneas é apresentado levando-se em consideração a distribuição de diques mais rasos na região estudada.