

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**USO DE INFORMAÇÕES GEODÉSICAS PARA ESTUDOS TECTÔNICOS NO
PANTANAL**

JOSÉ RENATO SILVA DE OLIVEIRA

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Machado

Dissertação de Mestrado

Nº 797

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Rômulo Machado

Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho

Prof. Dr. Éder Cassola Molina

Prof. Dr. Fabrício Bau Dalmas

SÃO PAULO
2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Serviço de Biblioteca e Documentação do IGc/USP

Ficha catalográfica gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a)
via programa desenvolvido pela Seção Técnica de Informática do ICMC/USP

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de catalogação da publicação:
Sonia Regina Yole Guerra - CRB-8/4208 | Anderson de Santana - CRB-8/6658

Oliveira, José Renato Silva de
 Uso de informações geodésicas para estudos
tectônicos no Pantanal / José Renato Silva de
Oliveira; orientador Rômulo Machado. -- São Paulo,
2018.
 59 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Recursos Minerais e Hidrogeologia) -- Instituto
de Geociências, Universidade de São Paulo, 2018.

1. Pantanal. 2. GNSS. 3. Tectônica. 4.
Geodinâmica. 5. Geodésia. I. Machado, Rômulo, orient.
II. Título.

RESUMO

OLIVEIRA, J. R. S. USO DE INFORMAÇÕES GEODÉSICAS PARA ESTUDOS TECTÔNICOS NO PANTANAL. 2018. p. 69. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brasil.

O presente estudo tem como objetivo principal analisar o contexto tectônico e geodinâmico do Pantanal, a partir de dados provenientes dos Sistemas Globais de Navegação Por Satélite (GNSS). Essa dissertação é estruturada no formato de dois artigos. Para tanto, foram usados dados geodésicos de monitoramento contínuo e periódicos. No primeiro capítulo discute-se a compartimentação tectônica atual da Bacia do Pantanal com base em dados geodésicos e integração com dados sísmológicos, lineamentos estruturais e modelos de velocidade para placa Sul-americana. Os resultados mostram que grande parte da bacia está sendo alçada, ao passo que o seu entorno e a parte sul estão sendo rebaixados, conforme sugerem os valores da componente Up (vertical). Este comportamento pode ser explicado pela presença de falhas normais E-W ou de falhas oblíquas ENE com componente extensional para sul, as quais em ambos os casos são coincidentes com a orientação de lineamentos cartografados a partir de imagens de satélites na Bacia do Pantanal. No segundo capítulo é apresentada uma análise das variações das altitudes geodésicas, causadas por imposição de carga em superfície. Os resultados indicam que os deslocamentos possuem amplitude que varia de 40 a 140 milímetros por ano, corroborando a hipótese de que os pulsos de cheia e seca no Pantanal que apresentaram amplitudes de 3,6 a 7,6 metros têm relação direta com os deslocamentos nas altitudes GNSS. Além disso, é proposto que a imposição de carga em superfície, imposta pelos rios que compõem o Pantanal e registradas nos dados GNSS, pode estar agindo como um gatilho para desencadear a sismicidade registrada na bacia.

Palavras-chave: Pantanal, GNSS, tectônica, geodinâmica, geodésia

ABSTRACT

OLIVEIRA, J. R. S. USO DE INFORMAÇÕES GEODÉSICAS PARA ESTUDOS TECTÔNICOS NO PANTANAL. 2018. p. 69. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brasil.

The main objective of this study was to analyze the Pantanal's tectonic and geodynamic context, based on data from the Global Navigation Satellite Systems (GNSS). This dissertation is structured in the format of two articles. For this purpose, continuous and periodic geodetic data were used. The first chapter discusses the current tectonic compartmentalization of the Pantanal Basin, based on geodetic data and integration with other data sources like seismic, structural lineaments and velocity models for South American plate. The results show that a large part of the basin is being raised, while its surroundings and the southern part are being lowered, as suggested by the values of the Up component. This behavior can be explained by the presence of normal EW faults or oblique faults ENE with extensional component to the south, which in both cases are coincident with the orientation of lineaments mapped from satellites images in the Pantanal Basin. In the second chapter, an analysis of the variations of the geodesic altitudes caused by surface loading is presented. The results indicate that the displacements have an amplitude ranging from 40 to 140 millimeters per year, corroborating the idea that the flood and dry pulses in the Pantanal that presented amplitudes of 3.6 to 7.6 meters have direct relation with the displacements in the GNSS altitudes. In addition, it was proposed that the surface loading, imposed by the Pantanal rivers, and recorded in the GNSS data, may be acting as a trigger for the seismicity observed in the basin.

Keywords: Pantanal, GNSS, tectonics, geodynamics, geodesy

1 Introdução

1.1 Apresentação ao tema

Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS) é o termo usado para designar as diferentes constelações de satélites artificiais operantes atualmente. As constelações com maior número de satélites em órbita são: NAVSTAR-GPS (Sistema norte-americano) e GLONASS (Sistema Russo), sendo que a primeira conta com 32 satélites e a segunda, com 28 satélites (MONICO, 2007).

Usando sinais transmitidos pelos GNSS, as posições dos receptores terrestres podem ser calculadas com alta precisão. Ao contrário dos métodos de levantamento geodésico mais antigos, que envolviam a medição periódica de ângulos, distâncias ou elevações entre pontos, o GNSS pode fornecer três das componentes (latitude, longitude e altitude) de forma rápida e eficaz. Este sistema é composto por três segmentos: espacial, de controle e de usuários (MONICO, 2007).

No âmbito do segmento de controle, atualmente existem diversos centros que são responsáveis pela disponibilização de dados GNSS, podendo ser citados, dentre eles, o IGS (*International GNSS Service*), o NGL (*Nevada Geodetic Laboratory*) e o SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). No Brasil, o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) é responsável pelo Sistema Geodésico Brasileiro e pela RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), que conta atualmente com 121 estações geodésicas instaladas. Além disso, existem as redes estaduais de marcos geodésicos, que possuem suas coordenadas homologadas pelo IBGE.

Embora o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) tenha sido primeiramente desenvolvido para o posicionamento geodésico e para a navegação, esse sistema possibilitou a análise de diversos fenômenos terrestres, permitindo que os estudos de deslocamento de placas, deformações, dentre outros, fossem feitos com maior confiabilidade. Após a consolidação da teoria da Tectônica de Placas ou Tectônica Global é cada vez mais comum o surgimento de modelos geodésicos e geofísicos que visam estimar a taxa de deslocamento dos continentes. Dentre os modelos mais conhecidos e difundidos pode-se citar: NNR-NUVEL-1A; APKIM2000; APKIM8.8; VEMOS2009 (SOUZA, 2013).

Blewitt (1993) apresenta um panorama dos avanços do Sistema Global de Posicionamento de 1978 a 1992, com o uso de técnicas geodésicas para estudos geodinâmicos. O autor mostra que os avanços foram significativos e que as posições fornecidas pelo GPS chegam a níveis milimétricos, em escalas locais. Bock et al. (1993) relatam que, medidas de deformação crustal em regiões tectonicamente ativas, são mais efetivas com o uso do Sistema Global de Posicionamento.

Argus et al. (1995) realizaram estudo da movimentação de placas e a deformação crustal associada, com base em dados coletados com o Sistema Global de Posicionamento. Os resultados indicaram diferenças pouco significativas em comparação com o modelo NNR-NUVEL-1A.

No âmbito da rede SIRGAS, alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos. É o caso do estudo realizado por Drewes & Heidbach (2012), que determinaram o modelo de velocidade planimétrico (VEMOS 2009) para a placa sul-americana e do Caribe.

Soto (2006) realizou a estimativa da velocidade de deformação da rede SIRGAS na área dos Andes chilenos, utilizando observação de GPS periódica e contínua e comparou os resultados com diferentes modelos de velocidade geofísicos e geodésicos disponíveis. Os resultados indicaram que os modelos de velocidades NNR-NUVEL-1A e APKIM 2000 não explicam o movimento na região de deformação dos Andes chilenos.

Marotta et al. (2013) estimaram a taxa de deformação intraplaca da região sul-americana, baseada em observações geodésicas na rede SIRGAS. No total foram utilizadas 140 estações. Os resultados mostraram diferenças na taxa de deformação ao longo da placa, sendo a porção oeste, localizada próxima à zona de subducção dos Andes, a que apresentou deformações mais significativas.

Sánchez & Drewes (2016) indicam que eventos sísmicos de grandes proporções causam mudanças na posição e velocidade de estações geodésicas. Os autores realizaram estudo para determinar um novo modelo de deformação para América Latina e Caribe (VEMOS 2015), após notável evento sísmico ocorrido em 2010 no Chile e no México, que gerou descontinuidades de 4 m em algumas estações. Conforme descrito pelos autores, o modelo (VEMOS 2015) é baseado em soluções multianuais de 456 estações de monitoramento contínuo.

A imposição de cargas na superfície terrestre é outro fenômeno que pode ser

avaliado usando métodos geodésicos. As deformações causadas por esse tipo de evento são visíveis em séries temporais de dados GNSS e afetam, principalmente grandes sistemas fluviais continentais, conforme demonstrado por Bevis et al. (2005) em um estudo de caso na Bacia Amazônica.

Outro grande sistema fluvial existente no Brasil é o do Pantanal. A Bacia do Alto Paraguai (BAP) compreende 4,3% do território brasileiro, englobando os Estados de Mato Grosso do Sul (51,8%) e de Mato Grosso (48,2%), incluindo duas grandes regiões fisiográficas, sendo a primeira a do Pantanal ou Planície do Pantanal, com cerca de 140.000 km², e a segunda a do Planalto, que circunda a planície, com aproximadamente 217.000 km² (WWF,2009).

Muito embora o Pantanal seja conhecido pela sua rica biodiversidade e por ser um importante ecossistema, do ponto de vista geológico é ainda pouco conhecido. Sabe-se que o Pantanal é uma planície úmida, dominada por um sistema de leques aluviais. Constitui uma bacia sedimentar tectonicamente ativa, de idade cenozoica, caracterizada por mudanças climáticas e tectônicas que vêm ocorrendo desde o final do Pleistoceno (ASSINE, 2003). O Pantanal é um ambiente extremamente dinâmico onde se observa altas taxas de sedimentação, avulsões, sismos dentre outros eventos (ASSINE, 2005; FACINCANI et al., 2011). Tendo em vista que o Pantanal é uma importante entidade geotectônica, estruturada por falhas nas suas bordas e com intensa atividade sísmica, o presente trabalho visa analisar essa dinâmica por meio de informações geodésicas.

Sendo assim, esta dissertação está sendo apresentada no formato de dois artigos científicos, que tratam principalmente da aplicação de técnicas geodésicas para estudos tectônicos e geodinâmicos no Pantanal. O primeiro artigo “ANÁLISE DOS DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS E VERTICAIS DO PANTANAL E SEU ENTORNO POR MEIO DE OBSERVAÇÕES GEODÉSICAS” apresenta uma análise dos deslocamentos horizontais e verticais atuais da Bacia do Pantanal, baseado em observações geodésicas periódicas e contínuas e sua relação com a tectônica (Neotectônica). No segundo artigo intitulado “VARIAÇÃO SAZONAL DAS ALTITUDES GEODÉSICAS NO PANTANAL: IMPLICAÇÕES GEODINÂMICAS” é apresentado uma análise das variações das altitudes geodésicas, causadas por imposição de carga em superfície e as implicações geodinâmicas para a Bacia do Pantanal.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral utilizar informações geodésicas para estudos tectônicos e geodinâmicos na bacia sedimentar do Pantanal e no seu entorno, partindo do princípio de que a bacia é tectonicamente ativa. Os objetivos específicos são: analisar o contexto de movimentação no domínio da bacia e correlacioná-lo com dados sismológicos e lineamentos estruturais, determinar as áreas onde ocorrem soerguimentos ou subsidência com base nas altitudes geodésicas, bem como analisar a ocorrência de deslocamentos cíclicos nas altitudes geodésicas e qual o seu impacto na geodinâmica na bacia.

1.3 Material e Métodos

No âmbito do primeiro capítulo, os vetores de deslocamento das estações geodésicas foram obtidos com a realização de trabalhos de campo com um receptor Topcon HIVER GGD de frequência L1/L2 e por meio da compilação de conjuntos de velocidades já existentes. Foi empregado o método de correção nas observações geodésicas, denominado Posicionamento por Ponto Preciso. O modelo VEMOS2015 também foi usado, a fim de suprir as áreas que não contam com cobertura de dados GNSS. Os lineamentos estruturais utilizados foram os propostos por Paranhos et al. (2013) e os dados sismológicos de mecanismos focais propostos por Assumpção et al. (2016) e Dias et al. (2016). Os dados foram especializados no *software* QGIS 2.14. com o uso do complemento *Vector Field Renderer*.

Para o desenvolvimento do segundo capítulo foi utilizado o *software* RINEX Edition a fim de obter as séries temporais de dados GNSS corrigidas. As estações usadas foram: CUIB (Cuiabá, MT), MSCG (Campo Grande, MS), MSCO (Corumbá, MS) MSCB (Fazenda Nhumirim, Corumbá, MS) e MSAQ (Aquidauana, MS). Os dados de cota dos rios foram obtidos no site HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA), que disponibiliza as séries históricas de monitoramento. Como resultado final, foram gerados gráficos de correlação entre as variáveis analisadas no *software* Microsoft Excel.

1.4 Área de Estudo

A Bacia do Pantanal (BP) é uma depressão tectônica interior, cujo embasamento é constituído principalmente por rochas metamórficas de baixo-grau e magmáticas neoproterozoicas do Grupo Cuiabá (ASSINE, 2003). A realização de estudos geológicos no Pantanal constitui-se num grande desafio, em função da extensa planície na região e na escassez de afloramentos. Resta então o estudo com métodos indiretos (geofísicos, sensores remotos) ou diretos nas rochas do entorno do mesmo, para assim melhor entender a origem e a evolução da BP. A figura 1.1 apresenta as principais unidades que compõem a bacia.

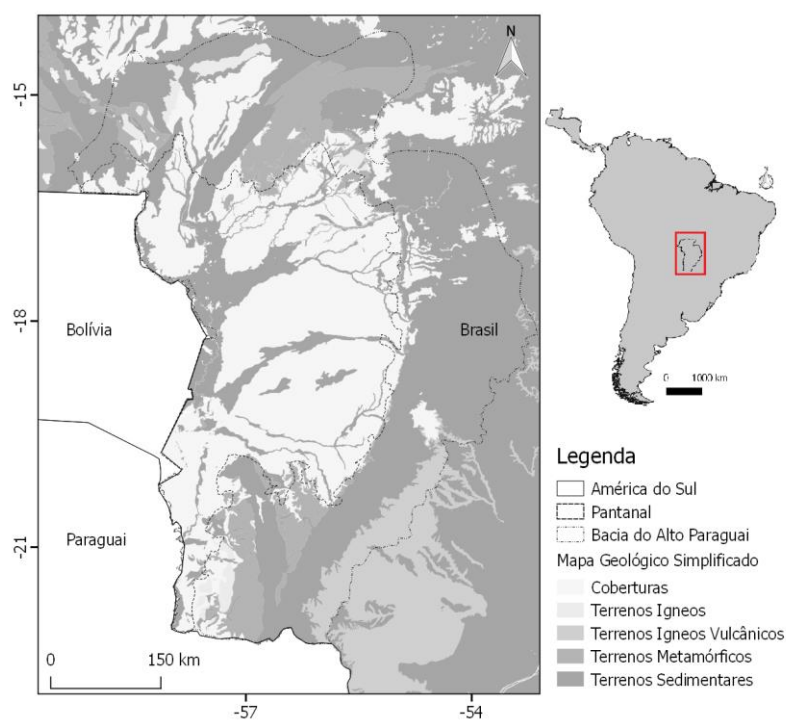


Figura 1.1. Localização da área de estudo e as principais unidades que compõem a Bacia do Pantanal e seu entorno.

A BP é composta em sua maioria por rochas sedimentares e coberturas quaternárias. Já no seu entorno são encontradas ocorrências de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral que estão relacionadas ao evento de ruptura do Gondwana. Terrenos metamórficos são encontrados na borda leste da bacia e também ao sul, constituindo as rochas mais antigas do embasamento da bacia. Em termos de unidades tectônicas, as principais que circundam a BP acham-se apresentadas por Paranhos et al. (2013) como sendo o Cinturão Paraguai (NNE-

SSW), o Cinturão Tucavaca (EW-EEW), a Serra da Bodoquena (NS), e a borda leste do Pantanal (NS). Devido ao processo de cheia e seca não ocorrer de forma homogêna, nota-se no Pantanal uma compartimentação em termos de unidades de Paisagem. Nesse sentido, diversos autores têm proposto a separação de sub-regiões no Pantanal. É o caso do trabalho de Miotto et al. (2012), que utilizando imagens de satélites, dividiram a bacia em dezoito diferentes sub-regiões.

Gonçalves et al. (2011) relatam que a precipitação média anual da bacia é de 1.396 mm, variando entre 800 mm a 1.600 mm e as chuvas mais intensas são observadas na região do planalto. Segundo estes autores, a declividade dos terrenos que integram as planícies e pantanais mato-grossenses varia de 50 a 30 cm/km no sentido leste-oeste e de 3 a 1,5 cm/km de norte para o sul.

1.5 Conclusões

A utilização da geodésia em estudos tectônicos e geodinâmicos vem crescendo cada vez mais, principalmente por se tratar de uma ferramenta que permite fazer análises com precisão milimétrica. Desse modo, as estações GNSS de monitoramento contínuo e também as estações periódicas fornecem subsídios para monitorar as atividades tectônicas, sismológicas e geodinâmicas do Pantanal.

O primeiro capítulo permitiu caracterizar e quantificar a movimentação atual da Bacia do Pantanal, por meio do uso de dados GNSS contínuos e periódicos. A compilação de dados de diferentes fontes provou ser uma alternativa viável, à medida que diversos centros de análises produzem suas próprias soluções geodésicas para cálculos de velocidades GNSS. A técnica de Processamento por Ponto Preciso utilizada nas observações periódicas mostrou-se eficaz, permitindo integrar os resultados com as soluções provenientes do monitoramento contínuo. A análise integrada com mecanismos focais de sismos e lineamentos estruturais permitiu evidenciar a compartimentação tectônica do Pantanal, bem como sugerir que parte da movimentação observada estaria associada a um campo de esforços compressivos.

No segundo capítulo foi possível demonstrar que as altitudes geodésicas no Pantanal sofrem deslocamentos não constantes, devido à sazonalidade dos rios que compõem a bacia. A amplitude desses deslocamentos se assemelha a de outros

grandes sistemas fluviais, como é o caso da Bacia Amazônica. A análise das altitudes do GNSS e as cotas dos rios mostrou que há uma correlação inversa entre as variáveis, também evidenciada no teste de Spearman. No entanto, como indicado, outros fatores devem ser considerados na geodinâmica da bacia, como, por exemplo, os sismos e lineamentos estruturais. A imposição de carga em superfície, causada pelos rios que compõem o Pantanal, pode estar agindo como um gatilho para desencadear a sismicidade atual registrada na bacia.

Recomenda-se, em trabalhos futuros, a realização de estudos que consigam determinar os efeitos pré e pós-sísmicos no Pantanal, com base na análise de variação das coordenadas estimadas com técnicas de posicionamento geodésico.

Referências Bibliográficas

AB'SABER, A. N. O Pantanal Mato-Grossense ea teoria dos refúgios. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 50, n. 2, p. 9–57, 1988.

ABD-ELAZEEM, Mohamed; FARAH, Ashraf; FARRAG, Farrag. Assessment study of using online (CSRS) GPS-PPP Service for mapping applications in Egypt. **Journal of Geodetic Science**, v. 1, n. 3, p. 233-239, 2011.

ADÂMOLI, J. **O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os Cerrados. Discussão sobre o conceito de “Complexo do Pantanal”**. Anais do XXXII Congresso Nacional da Sociedade Botânica. **Anais...Teresina, Piauí: 1982**

ALMEIDA, F. F. M. 1945. Geologia do Sudoeste Matogrossense. Boletim do DNPM/DGM, 116: 1-118

ALMEIDA, F. F. M. **Geologia da Serra da Bodoquena (Mato Grosso)**. DNPM, 1965.

ALVES, Chaenne Milene Dourado; MONICO, João Francisco Galera; ROMÃO, Verônica Maria Costa. Análise da acurácia no PPP a partir da solução de ambiguidades GPS em curtos períodos de ocupação. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2011.

ARGUS, Donald F.; HEFLIN, Michael B. **Plate motion and crustal deformation estimated with geodetic data from the Global Positioning System**. Geophysical Research Letters, v. 22, n. 15, p. 1973-1976, 1995.

ASSINE, M. L. et al. Compartimentação geomorfológica, processos de avulsão fluvial e mudanças de curso do Rio Taquari, Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 1, 2005.

ASSINE, M. L. et al. Geology and geomorphology of the Pantanal basin.

In: **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Springer, Cham, 2015. p. 23-50.

ASSINE, M. L. **Sedimentação na Bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil**. Tese de Livre Docência. UNESP, 2003

ASSINE, M. L. **Sedimentação na Bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil**. Tese de Livre Docência. UNESP, 2003

ASSINE, M. L.; SOARES, P. C. **Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil**. *Quaternary Internacional*, v. 114, n. 1, p. 23–34, 2004.

ASSUMPÇÃO, Marcelo et al. Intraplate stress field in South America from earthquake focal mechanisms. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 71, p. 278-295, 2016.

BEVIS, M., D. ALSDORF, E. KENDRICK, L. P. FORTES, B. FORSBERG, R. SMALLEY Jr., and J. BECKER (2005), **Seasonal fluctuations in the mass of the Amazon River system and Earth's elastic response**, *Geophys. Res. Lett*, 32, L16308, doi: 10.1029/2005GL023491.

BEVIS, M., E. KENDRICK, R. SMALLEY JR, CSER. A. (2003), **Geodetic measurement of the local elastic response to the changing mass of water in lago Laja, Chile**. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. doi: 10.1016/j.pepi.2003.05.001

Blewitt, G. (1993) **Advances in Global Positioning System Technology for Geodynamics Investigations: 1978–1992**, in *Contributions of Space Geodesy to Geodynamics: Technology* (eds D. E. Smith and D. L. Turcotte), American Geophysical Union, Washington, D. C.. doi: 10.1029/GD025p0195

Bock, Y, Agnew DC, Fang P, Genrich JF, Hager BH, Herring TA, Hudnut KW, King RW, Larsen S, Minster JB, Stark K, Wdowinski S, Wyatt FK. 1993. **Detection of Crustal Deformation from the Landers Earthquake equence Using Continuous Geodetic Measurements**. *Nature*. 361:337-340.

BORSA, A. A.; AGNEW, D. C.; CAYAN, D. R. **Ongoing drought-induced uplift in the western United States**, *Science*, 345. 2014. doi:10.1126/science. 1260279.

BRANNER, J. C. Earthquakes in Brazil. **Bulletin of the Seismological Society of America**, v. 2, n. 2, p. 105–117, 1912.

BRASIL. Constituição, 1988. Constituição da República Federativa do Brasil, 1988. São Paulo: Ed. Revista dos Tribunais, 1989.

BRAVO, J. M. et al. Coupled hydrologic-hydraulic modeling of the Upper Paraguay River basin. **Journal of hydrologic engineering**, v. 17, n. 5, p. 635-646, 2011.

CALAIS, E. et al. Deformation of the North American plate interior from a decade of continuous GPS measurements. **Journal of geophysical research: solid earth**, v. 111, n. B6, 2006.

CALDAS, Franciane Lima. Análise de deformação da rede GNSS/SP com base na teoria da elasticidade. Dissertação de Mestrado. UNESP, 2014.

CALDAS, Franciane Lima; CHAVES, João Carlos. DETERMINAÇÃO DO MODELO DE DEFORMAÇÃO DA REDE GNSS/SP COM BASE NA TEORIA DA ELASTICIDADE. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 1, 2015.

CASULA, Giuseppe et al. Modelling environmental bias and computing velocity field from data of Terra Nova Bay GPS network in Antarctica, by means of a quasiobservation processing approach. **Antarctica: A Keystone in a Changing World—Online Proceedings of the 10th ISAES USGS'**, Edited by Cooper, AK and Raymond, CR, **Open-File Report**, v. 1047, 2007.

CHEN, Qizhi et al. A deforming block model for the present-day tectonics of Tibet. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 109, n. B1, 2004.

LIMA, C. C. D. Ongoing compression across intraplate South America: observations and some implications for petroleum exploitation and exploration. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 1, p. 203-207, 2000.

DETTMERING, Denise et al. Potential of ENVISAT radar altimetry for water level monitoring in the Pantanal wetland. **Remote Sensing**, v. 8, n. 7, p. 596, 2016.

DIAS, F. L., et al. **The 2009 earthquake, magnitude mb 4.8, in the Pantanal Wetlands, west-central Brazil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 88(3): 1253-1264, 2016.

DILL, R.; DOBSLAW, H. Numerical simulations of global-scale high-resolution hydrological crustal deformations. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 118, n. 9, p. 5008-5017, 2013.

DREWES, H.; HEIDBACH, O. **The 2009 Horizontal Velocity Field for South America and the Caribbean**. In: Kenyon S., M.C. Pacino, U. Marti (Eds.), **Geodesy for Planet Earth**, IAG Symposia, p. 657-664, 2012.

ECKEL, Edwin Butt; MILTON, Charles; SULSONA, Pedro Tirado. **Geology and mineral resources of Paraguay--a reconnaissance, with sections on igneous and metamorphic rocks and soils**. 1959.

Ecoa - Ecologia e Ação. **Sistema de Monitoramento, Comunicação e Alerta**. Disponível em:<
<https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=21c1eede00fe4a13a700540e663840a2/>>.

FACINCANI, EM.; ASSUMPÇÃO, MS.; ASSINE, ML.; FRANÇA, GSLA. **Sismicidade da Bacia do Pantanal Mato-Grossense**. XIII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos (XIII SNET). Campinas-SP, 2011

FERRANTI, Luigi et al. Rates of geodetic deformation across active faults in southern Italy. **Tectonophysics**, v. 621, p. 101-122, 2014.

GALGANA, Gerald et al. Analysis of crustal deformation in Luzon, Philippines using geodetic observations and earthquake focal mechanisms. **Tectonophysics**, v. 432,

n. 1-4, p. 63-87, 2007.

GONCALVES, HC; MERCANTE, MA; SANTOS, ET. Hydrological cycle. Braz. J. Biol. [online]. 2011, vol.71, n.1, suppl.1, pp.241-253. ISSN 1519-6984.

GUIMARÃES, G. N. et al. Analysis of the crust displacement in Amazon Basin. In: **Geodesy for Planet Earth**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. p. 885-891.

GUPTA, Harsh K. A review of recent studies of triggered earthquakes by artificial water reservoirs with special emphasis on earthquakes in Koyna, India. **Earth-Science Reviews**, v. 58, n. 3-4, p. 279-310, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual do Usuário - Aplicativo Online IBGE-PPP, Versão: janeiro 2017. Disponível em < https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf>.

KREEMER, Corne; BLEWITT, Geoffrey; KLEIN, Elliot C. A geodetic plate motion and Global Strain Rate Model. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, v. 15, n. 10, p. 3849-3889, 2014.

LEANDRO, Rodrigo F.; SANTOS, Marcelo C.; LANGLEY, Richard B. Analyzing GNSS data in precise point positioning software. **GPS solutions**, v. 15, n. 1, p. 1-13, 2011.

LITHERLAND, M. et al. The Proterozoic of eastern Bolivia and its relationship to the Andean mobile belt. *Precambrian Research*, v. 43, n. 3, p. 157-174, 1989.

MANSON, Rachael et al. Ice velocities of the Lambert Glacier from static GPS observations. **Earth, planets and space**, v. 52, n. 11, p. 1031-1036, 2000.

MAROTTA, Giuliano Sant'Anna et al. **Strain rate of the South American lithospheric plate by SIRGAS-CON geodetic observations**. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 47, p. 136-141, 2013.

MATSUOKA, Marcelo Tomio et al. Potencialidades do serviço on-line de Posicionamento por Ponto Preciso (CSRS-PPP) em aplicações geodésicas. **Gaea-Journal of Geoscience**, v. 5, n. 1, p. 42-48, 2009.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, Carlos Augusto França. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 53-64, 2009.

MAZZOTTI, S. Geodynamic models for earthquake studies in intraplate north america. **Geological Society of America Special Papers**, 425, 17–33, 2007

MENDES, D. **Filtros passa-baixas ponderados e dados SRTM aplicados ao estudo do Pantanal da Baixa Nhecolândia, MS: aspectos tectônicos e de distribuição de lagoas hipersalinas**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2008.

MERINO, Eder Renato et al. REALCE E INTEGRAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS ÓTICAS COM DADOS SRTM PARA MAPEAMENTO E ESTUDO DE GRANDES PLANÍCIES FLUVIAIS: EXEMPLOS DE APLICAÇÃO NO PANTANAL. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 1, 2015.

MINITAB, I. N. C. MINITAB statistical software. **Minitab Release**, v. 13, 2000.

MIOTO, C. L.; ALBREZ, E. DO A.; PARANHOS FILHO, A. C. Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. **Revista Entre-Lugar**, v. 8, p. 165–180, 2012.

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. Editora Unesp, 2007.

Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do Solo na Bacia do Alto Paraguai – Porção Brasileira – Período de Análise: 2002 a 2008. Iniciativa: CI – Conservação Internacional, ECOA - Ecologia e Ação, Fundación AVINA, Instituto SOS Pantanal, WWF Brasil. Brasília, 2009.

NASCIMENTO TEIXEIRA, N. I. E. L.; DAMASCENO FERREIRA, Luiz Danilo. MONITORING THE CRUST MOVEMENT AT THE SALTO CAXIAS HYDROELECTRIC POWER DAMS: An Analysis of the Stability of Supporting and Controlling Points. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 16, n. 1, 2010.

NASCIMENTO, Lécio Alves et al. GERAÇÃO AUTOMATIZADA DE SÉRIES TEMPORAIS DE DADOS POSICIONAIS UTILIZANDO O IBGE-PPP/Automated generation of time series of positional data using the IBGE-PPP. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 1, p. 150, 2017.

NASCIMENTO, Lécio Alves et al. Influência da carga hidrológica na altitude geométrica a partir de análise de séries temporais estimadas no método PPP. 2016.

OCALAN, Taylan et al. Accuracy Investigation of PPP Method Versus Relative Positioning Using Different Satellite Ephemerides Products Near/Under Forest Environment. **Earth Sciences Research Journal**, v. 20, n. 4, p. D1-D9, 2016.

OLIVEIRA, Ana Paula Garcia et al. Sensoriamento Remoto e Componentes Limnológicos na Caracterização de Lagoas do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul.

PARANHOS FILHO, A. C. et al. A study of structural lineaments in Pantanal (Brazil) using remote sensing data. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 3, p. 913–922, 2013.

PARANHOS FILHO, Antonio Conceição et al. Controle Estrutural da Hidrografia do Pantanal, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 40, n. 1, 2017.

PEREZ, J. A. S. et al. **Velocity field estimation using GPS precise point positioning: the South American plate case**. Positioning, v. 1, n. 05, 2002.

PESCI, Arianna; TEZA, Giordano; CASULA, Giuseppe. Improving strain rate estimation from velocity data of non-permanent GPS stations: the Central Apennine study case (Italy). **GPS solutions**, v. 13, n. 4, p. 249-261, 2009.

PROL, F. DOS SANTOS et al. TRANSFORMAÇÃO ENTRE REFERENCIAIS E CÁLCULO DE VELOCIDADES ATRAVÉS DO APLICATIVO WEB TREVel/Transformation Between Reference Frames and Calculation of Velocities

Through the Web Application TREVel. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 66/3, 2014.

PROL, F. DOS SANTOS; JUNIOR, J. M., PARANHOS, A. C. **Análise do Posicionamento Geodésico como ferramenta para monitorar as Variações do Nível de um Rio**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. 2015.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**, 2018

RICCOMINI, C.; ASSUMPÇÃO, M. **Quaternary tectonics in Brazil**. Episodes, v. 22, p. 221–225, 1999.

ROSA, María Laura et al. Thin crust beneath the Chaco-Paraná Basin by surface-wave tomography. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 66, p. 1-14, 2016.

Sánchez L., Drewes H. (2016): **VEMOS2015: Velocity and deformation model for Latin America and the Caribbean**, doi: [10.1594/PANGAEA.863131](https://doi.org/10.1594/PANGAEA.863131), supplement to: Sánchez L. Drewes H. (2016): **Crustal deformation and surface kinematics after the 2010 earthquakes in Latin America**. Journal of Geodynamics, doi: [10.1016/j.jog.2016.06.005](https://doi.org/10.1016/j.jog.2016.06.005).

SILVA, J. DOS S. V. DA; ABDON, M. DE M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. Especial, p. 1703–1711, 1998.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS, HIDROWEB. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. v. 1, 2006.

SOARES, P. C.; ASSINE, M. L.; RABELO, L. **The Pantanal Basin: Recent Tectonics, Relationships to the Transbrasiliano Lineament**. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais...Santos, SP: 1998.

SOTO, Juan Carlos Báez. **Monitoramento das deformações da rede de referência do SIRGAS em área com atividade tectônica**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.

SOUSA, FRANCISCO J. Revisão da geologia da porção SW do estado de Mato Grosso, S do estado de Rondônia e do leste da Bolívia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 1, p. 74-81, 2017.

SOUZA, O. C. DE et al. **Mudanças hidrológicas no pantanal associadas a processos erosivos e tectônicos na bacia do rio Taquari, MS**. Embrapa Gado de Corte, 2004.

Souza, Wanessa de Oliveira. **Modelagem do movimento da placa tectônica sul-americana por meio de dados VLBI e GNSS**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

TALWANI, P. Unified model for intraplate earthquakes. **Intraplate Earthquakes**. Cambridge University Press, Cambridge, p. 275–327, 2014.

TEFERLE, F. N.; ORLIAC, E. J.; BINGLEY, R. M. An assessment of Bernese GPS

software precise point positioning using IGS final products for global site velocities. **GPS solutions**, v. 11, n. 3, p. 205-213, 2007.

TEIXEIRA, N. I. E. L.; FERREIRA, L. D. D. Estabelecimento de Redes Geodésicas Locais de Alta Precisão para o Monitoramento de Deformações da Crosta: Estudo de Caso de uma Barragem de Usina Hidrelétrica. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 11, n. 1, 2005.

USSAMI, N. et al. Investigações geofísicas integradas na planície do Pantanal Mato-Grossense: implicações tectônicas e hidrogeológicas de sub-superfície. **3º Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal, Corumbá, Resumos**, v. 125, 2000.

USSAMI, Naomi; SHIRAIWA, Shozo; DOMINGUEZ, José Maria Landim. Basement reactivation in a sub-Andean foreland flexural bulge: The Pantanal wetland, SW Brazil. *Tectonics*, v. 18, n. 1, p. 25-39, 1999.