

## A sismicidade da falha transformante de São Paulo, no Atlântico Equatorial, e a consistência com o soerguimento do Arquipélago de S. Pedro e S. Paulo.

Guilherme Weber Sampaio de Melo<sup>1</sup>, Aderson Farias do Nascimento<sup>2</sup>, Joaquim Mendes Ferreira<sup>2</sup>, Regina Spinelli<sup>2</sup>, Eduardo Alexandre de Menezes<sup>2</sup>, Neymar Pereira da Costa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física Teórica e Experimental – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

<sup>2</sup> Departamento de Geofísica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Copyright 2014, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI SimBgf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

### Abstract

A seismographic station was installed at Saint Peter and Saint Paul Archipelago through a partnership between the LabSis/UFRN and Brazilian Navy. As it is located in the region of Saint Paul Transform Fault at Equatorial Atlantic, tectonism often occurs causing stress and strain which often leads to earthquakes.

Thanks to the monitoring infrastructure built on the archipelago, 123 events were registered from May 2011 to June 2013. Most of epicentral locations of those seismic events recorded were located in the same region of the existing compressing that originates the tectonic uplift of the archipelago.

### Introdução

Com uma distância de aproximadamente 1.100km de Natal/RN, o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) é um conjunto de pequenas ilhas localizadas na coordenada 00° 55.1' N, 29° 20.7'W. O ASPSP possui área total de aproximadamente 17.000m<sup>2</sup> e constitui o pináculo de um colossal edifício submarino rochoso com cerca 4000m de profundidade, na região da falha transformante de São Pedro, no Oceano Atlântico Equatorial, visto em Miguens (1995) e Motoki et al (2009). As rochas com origem magmática que formam o arquipélago são peridotitos serpentinizados do manto abissal, constituintes de uma saliência morfológica tabular com cerca de 90km de comprimento e 25km de largura denominada Megamullion de São Pedro e São Paulo (Figura 01). Este Megamullion sofre direta exposição ao manto no fundo do oceano e o torna referência por se tratar do único lugar oceânico na qual isso ocorre, como demonstrado em Motoki et al (2009) e Sichel et al (2009).

Devido ao movimento da falha, esforços tectônicos são gerados e também ocorrem a liberação de energia sísmica, em muitos casos perceptíveis por pesquisadores que visitam a ECASPSP(Estação Científica do Arquipélago de São Pedro e São Paulo). Com isso, através de uma parceria entre a Marinha do Brasil e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte, no ano de 2011 foi instalado uma estação sismográfica no local, onde além de poder obter um melhor entendimento dessa sismicidade é possível utilizar os dados para estudo de outros fenômenos tais como ruído sísmico e

evolução crustal do Atlântico Equatorial. Após as análises, entre os anos de 2011 e 2013 foram detectados 123 tremores locais, sendo que dentre eles, somente 13 também foram identificados por outras redes de monitoramento global tais como a USGS(Serviço Geológico dos Estados Unidos).

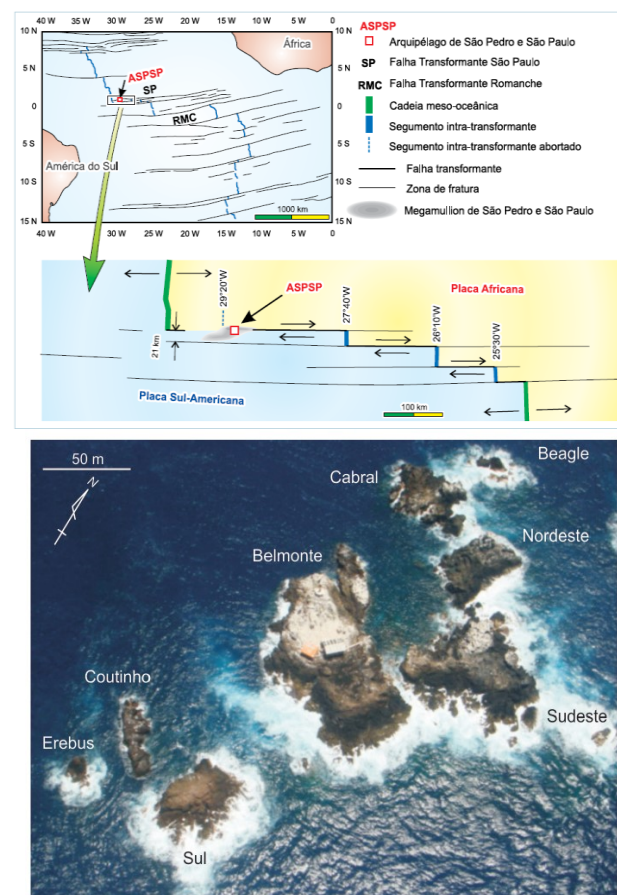


Figura 1 - Na primeira imagem (modificada de Sichel et al (2009)), é possível verificar a localização do arquipélago no oceano Atlântico a partir da tectônica de placa. Já na segunda (modificada de Motoki et al (2009)), pode-se observar uma imagem aérea de todas as ilhas.

**Localização Epicentral**

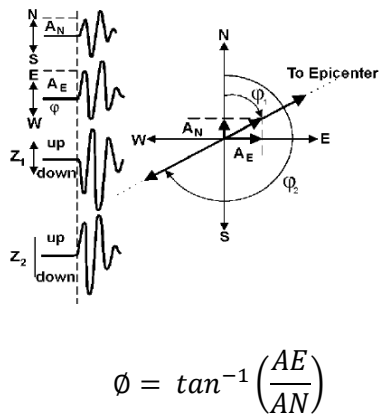
O epicentro é um importante dado a ser obtido, pois a partir dele é possível compreender informações a respeito da sismicidade do local, como exemplo, a tendência de evolução da ruptura, a relação com a estrutura geológica, as deformações, além de vários outros fatores que podem ser identificados. Inicialmente, foi pesquisado em fontes bibliográficas quais os valores apropriados da velocidade das ondas P e S para a geologia do arquipélago, que é composto por peridotitos. Foi identificado através da fonte Chulik et al (2013) que para crosta oceânica as ondas sísmicas tem suas velocidades  $V_p = 8,2 \text{ km/s}$  e  $V_s = 4,4 \text{ km/s}$ , onde através disso foi obtido a relação de Poisson (K) com valor:

$$K = \frac{V_p}{V_s} = \frac{8,2}{4,4} \sim 1,86$$

aplicando os valores do tempo de percuro da ondas P( $t_p$ ) e S( $t_s$ ) na equação da distância epicentral(D) (Havskov et al (2010)) :

$$D = (t_s - t_p) * 9,49$$

O método dos círculos é o mais comum no uso das universidades, sendo que para isso (Bath (1979)) é feito o uso de no mínimo de três estações nas quais tenham sido registrado o evento. Mas, como temos disponível apenas uma estação instalada, a localização epicentral de cada evento sísmico foi realizada, a partir da análise com o programa SAC(Seismic Analysis Code), com o calculo do valor azimutal das polaridades no inicio da onda P em cada uma das três orientações do sinal, na qual, isso é feito a partir da divisão da amplitude Leste-Oeste pela amplitude Norte-Sul (Figura 2).



$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{AE}{AN} \right)$$

Figura 2 – Sismograma demonstra como é feito a análise da onda e a equação usada no cálculo do azimute (modificada de Bath (1979).)

De acordo com o sentido positivo ou negativo da componente vertical do sinal, seguindo a tabela (Figura 03) obtida em Havskov et al (2010) referente às

diferenciações, é necessário fazer a soma de 180° ao valor azimutal.

Z	+	-	+	-	+	-	+	-
N	+	+	-	-	-	-	+	+
E	+	+	+	+	-	-	-	-
Adiciona:	180°	0	0	180°	0	180°	180°	0

Figura 3 - Regra do sentido das polaridades para o aumento de 180° ao azimute calculado.

**Resultados**

Por ser um local com constante tectonismo entre placas, periodicamente são notificados eventos de atividade sísmica no atlântico equatorial por diferentes redes de monitoramento do mundo, sendo que suas concentrações normalmente se localizam em zonas de fraturamento entre as duas crostas da dorsal meso-oceânica, tornando a ocorrência em locais intraplaca uma quantidade muito baixa (Sykes (1967)). Logo, durante o período iniciado a partir da instalação da estação e o início do seu funcionamento em 2011, foram detectados um total de 123 casos de sismicidade (Figura 07), sendo que dentre eles, 13 também tiveram seu registro em outras redes.

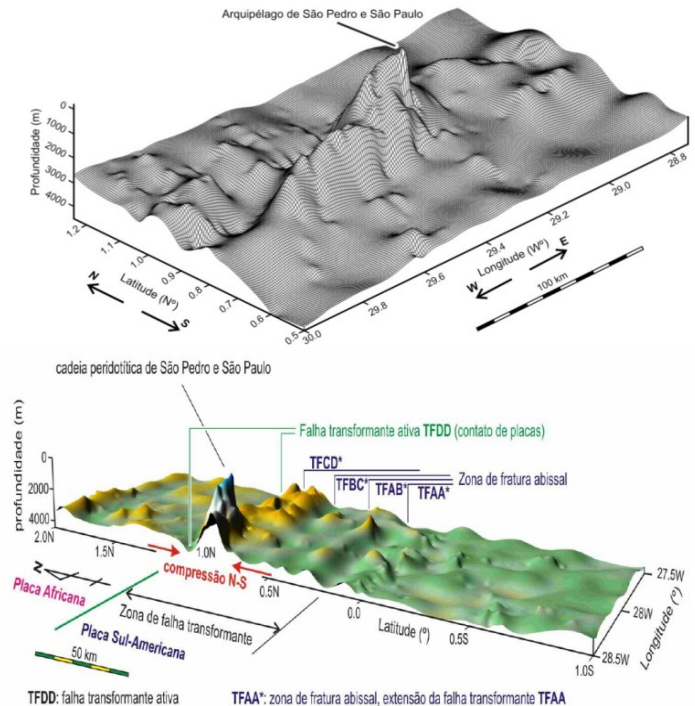


Figura 4 - Nas imagens obtidas a partir de Motoki et al (2009) e Motoki et al (2010), é possível observar a topográfica da cadeia geomorfológica do arquipélago.

Com isso, a partir do cálculo da distância epicentral dos mesmos, dos 110 que não foram listados em nenhuma outra rede foi verificado que a maior parte desses tremores estão em uma distância que varia entre 20km e 40km. Estes valores são os mesmos valores equivalentes as proximidades da limitação da cadeia geomorfológica (Figura 04). Estas distâncias epicentrais são consistentes com outros dados relatados por Campos et al (2009) que demonstraram que nos arredores dos mesmos encontra-se constante fraturamento em uma falha reversa na qual acaba provocando.

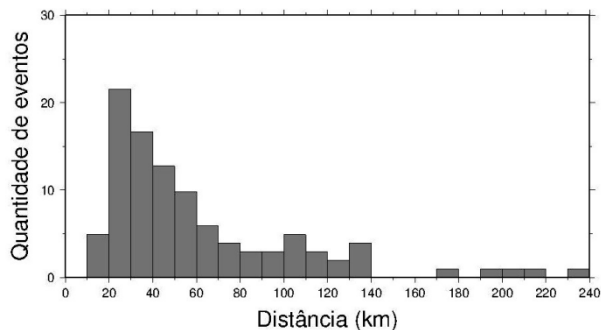


Figura 5- Relação entre o número de tremores detectados pela estação do ASPSP e o valor das distâncias epicentrais.

Por outro lado a sismicidade mais distante (>50 km) pode não estar relacionada com o soerguimento, mas sim com a zona de fratura de São Paulo, que normalmente são reportados pela USGS no Atlântico Equatorial (geralmente com magnitude acima de 4.0 mb). Dentre os eventos que já foram registrados pela ASPSP e pela rede mundial, um deles foi de magnitude 4.6 na escala Richter ocorrido no dia 15/06/2013 com epicentro localizado nas coordenada 0,665° N e -28,161° W (Figura 6).

A grande distância entre o sismógrafo no ASPSP e o continente impõe alguns desafios ao funcionamento da instalação, dadas as dificuldade logística e as condições ambientais locais.

### Discussão e Conclusões

Através do presente trabalho, as análises dos dados da estação do ASPSP e localizações epicentrais podemos chegar as seguintes conclusões:

1. A maior parte dos epicentros encontrados estão situados em diferentes locais na região entre a latitude 0.5-1.5 N e longitude 27-31 W, o que é consistente com as rupturas e deformações que ocorrem na Falha Transformante de São Paulo.
2. O mapa epicentral é consistente com a interpretação que o ASPSP é um megamullion que se encontra em constante deformação. O soerguimento causado pelas deformações dos esforços tectônicos que ocorrem entre as latitudes 0.5°-1.2°N e longitudes

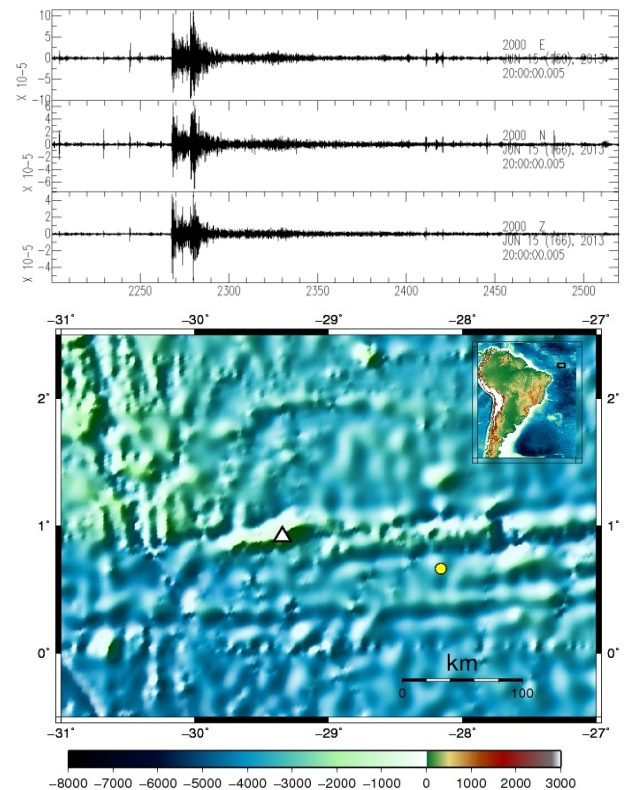


Figure 6 - O sismograma e o mapa detalham o evento de 4.6 registrado tanto pela estação do ASPSP como também por estações da rede mundial USGS em junho de 2013.

29°-30° W podem estar relacionados com os epicentros identificados, já que muitos deles se encontram entre as coordenadas 0.5-1.3 N e 27.7-29.9 W.

3. É de se entender que a divergência entre a placa Sul-Americana e Africana encontra-se ativa. A estação sismográfica do ASPSP constitui-se, portanto, um excelente observatório da sismicidade numa falha transformante. A análise da sismicidade revelou atividade sísmica que não era possível ser observada anteriormente.
4. Com a continuidade da coleta de dados que está sendo feita, novas análises epicentrais dos eventos serão realizadas. Assim, com posse dos dados utilizados no presente trabalho e os que estão sendo registrados na estação, será realizado um trabalho para determinação das magnitudes e a aceleração no ASPSP.

### Agradecimentos

A Marinha do Brasil (SECIRM) e ao CNPq, pelo apoio na aquisição do equipamento, instalação do mesmo, manutenção, treinamento e logística associadas. AFdN e JMF agradecem ao CNPQ pelas bolsas de pesquisa.

Aos professores Marcelo Assumpção e Marcelo Bianchi, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP, pelo apoio e ajuda no entendimento em relação às dúvidas do software GMT.

### Referências

Bath, M., 1979. Introduction to seismology. Birkhauser Velauser, Basel. 428 pp.

Chulick, et al. (02 co-authors), 2013. Seismic structure of the crust and uppermost mantle of South America and surrounding oceanic basins. *Journal of South American Earth Sciences*, vol.42: 260-276.

Campos et al. (04 co-authors), 2009. Holocene tectonic uplift of the St. Peter and St. Paul Rocks (Equatorial Atlantic) consistent with emplacement by extrusion. *Marine Geology*, vol. 271: 177-186.

Havskov, J., Ottemoller, L., 2010. Routine da processing in earthquake seismology: with sample data, exercises and software. Springer. 2nd ed. 103-107.

Motoki et al. (04 co-authors), 2009. Taxa de soerguimento atual do arquipélago de São Pedro e São Paulo, Oceano Atlântico Equatorial. *Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, Brasil*, vol. 62: 331-342.

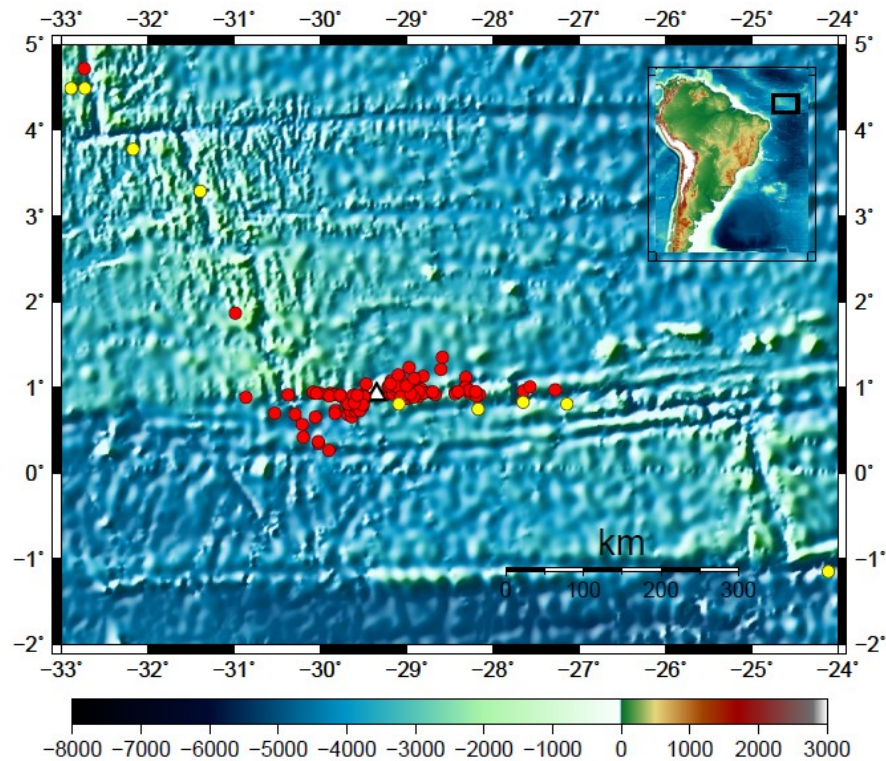
Motoki et al. (05 co-authors), 2010. Morfologia abissal em torno do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Oceano Atlântico Equatorial, e sua relação com o tectonismo de soerguimento ativo. *Revista de Geografia, Recife*, v. especial VIII SINAGEO, n 2.

Miguens, A. P., 1995. Navegação Costeira, Estimada e em Águas Restritas. Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha, Rio de Janeiro, vol. 1.

Sichel et al. (05 co-authors), 2009. Rocha ultramáfica do manto abissal. Os dez anos da Estação Científica do arquipélago de São Pedro e São Paulo. Brasília: SECIRM.

Sykes, L. R, 1967. Focal mechanism solutions for earthquakes along the world rift system. *Bulletin of the Seismological Society of America*, v 60: 1749-1752.





*Figura 7 - No mapa, é possível verificar a localização da estação (Triângulo) e dos epicentros (Círculos) sendo que os de vermelhos referem-se aos ainda não publicados, ao contrario dos em amarelo que já se encontram em outros bancos de dados. Pode-se perceber que a maior parte deles estão na mesma região onde acontecem as compressões que provocam o soerguimento, entre as coordenadas de longitudes -29 e -30, e as 0 e 1.5 na latitude.*