



Uma nova área sísmica em São Caetano -PE e sua correlação com o Lineamento Pernambuco.

H. C. de Lima Neto*¹, J. M. Ferreira^{1,2}, A. F. do Nascimento^{1,2}, M.S. Assumpção³, F. H. R. Bezerra^{1,2}, & E.A.S. Menezes².

1- Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN, Brasil.

2- Departamento de Geofísica - UFRN.

3- Departamento de Geologia - UFRN.

3- Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - USP.

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The seismic activity in Sao Caetano began in 2006 and occurred on 5/20/2006, in this city, an earthquake of magnitude 4.0 m_b . This is the largest earthquake recorded in the Pernambuco State until today. In 2007 we installed a network of local stations to study the seismicity in Sao Caetano area (Lima Neto *et al.*, 2009) and has been proven the correlation between seismicity and a branch to northeastern Pernambuco Lineament. In the year 2010 was recorded earthquakes in Sao Caetano in two distinct areas - the area previously studied in 2007 (Lima Neto *et al.*, 2009) and a region closer to the center of the city, where an event magnitude 2.7 m_b on 10 March, 2010/03/2010.

The determination of hypocenters was performed using the program HYPO71 and the focal mechanism compound was obtained based on visual inspection of the focal sphere aided by the hypocentral location. The hypocenters determination showed that these earthquakes have a clear correlation with the Pernambuco Lineament. The area where these events were analyzed. The composite focal mechanism obtained had the following parameters: strike 266 deg, dip 62 deg and 125 deg for rake, featuring a normal fault. The fault plane was determined using the dip of the hypocenters location.

Although both activities occurred at different locations both showed strong correlation with the Pernambuco Lineament and its branches. One of consequences of this study is that the Pernambuco Lineament has a seismogenic potential and its activity has implications for seismic hazard in the region.

Introduction

A região Nordeste do Brasil é uma das de maior atividade sísmica intraplaca no país (Berrocal *et al.* 1984; Assumpção, 1992, 1993). Nos últimos quarenta anos, a atividade sísmica na região tem sido caracterizada por enxames de sismos que podem durar mais de 10 anos e por eventos que atingem magnitudes de até 5,2 m_b .

As atividades sísmicas registradas por redes instaladas pelo Laboratório Sismológico da UFRN mostram o grande potencial sismogênico da região Nordeste do Brasil. Dentre as principais áreas sísmicamente ativas destaca-se o Agreste Pernambucano (Figura 1).

Nesta região, diversos eventos sísmicos vêm sendo relatados desde o século XIX e, nos últimos anos, tem se manifestado de forma mais intensa e numerosa (Ferreira *et al.*, 2008; Lima Neto *et al.*, 2009; Lopes *et al.*, 2010). Além disso, esta região possui importantes estruturas tectônicas mapeadas, destacando-se o Lineamento Pernambuco, uma zona de cisalhamento de escala continental com 700 km de comprimento que aparece claramente na superfície (Davison, *et al.*, 1995).

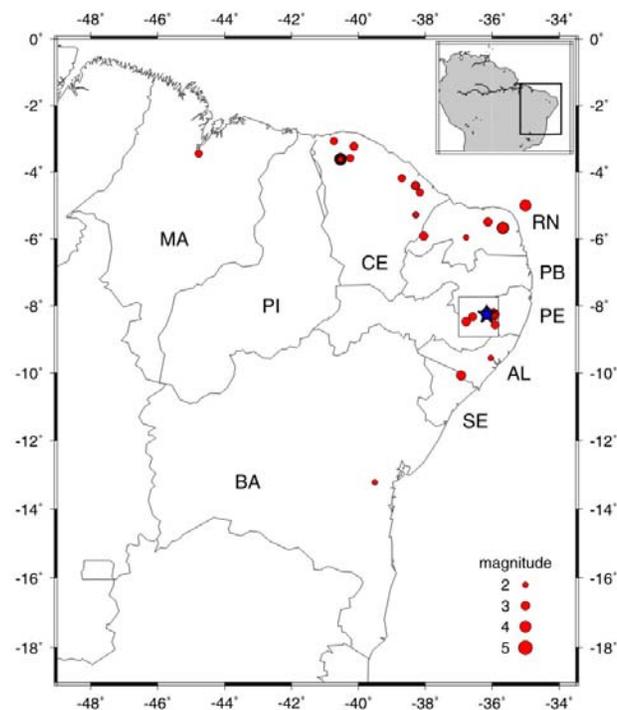


Figura 1- Mapa mostrando a distribuição da sismicidade no Nordeste do Brasil no período de 2006 até 2010. Os círculos (vermelhos) denotam os epicentros com tamanhos especificando o valor da magnitude de cada evento. O quadrado indica a região Agreste de Pernambuco e área de São Caetano, estudada neste trabalho, é representada por uma estrela azul.

Metodologia

Foi utilizada uma rede sismográfica local composta por sete estações (figura 2) providas de sismômetros de período curto modelo L4C3 (vertical, NS e EW, em cada estação) Todas as estações utilizaram o registrador Reftek130. A taxa de amostragem utilizada foi de 250 amostras por segundo.



Figura 2- Estação em operação em São Caetano - rede SO2010. O sismômetro encontra-se dentro do recipiente cinza. O registrador encontra-se dentro da caixa cinza.

A atividade sísmica estudada neste trabalho é a que está localizada próximo à cidade de São Caetano (Figura 1). Foram analisados os dados registrados pela rede de estações sismográficas (Rede SO) no período de setembro a dezembro de 2010. A atividade de 2007 (círculos amarelos, Figura 3 e 4) teve sua correlação comprovada com uma feição geológica mapeada - uma ramificação do Lineamento Pernambuco na direção NE (Lima Neto *et al.*, 2009).

Neste estudo foram utilizados os sismos que tiveram distância epicentral mínima de até 10 km e foram registrados em pelo menos três estações. O programa SAC (Tapley & Tull, 1991) foi utilizado para fazer a leitura dos tempos de chegada e as polaridades das ondas P e S.

Os hipocentros foram determinados com o programa HYPO71 (Lee & Lahr, 1975) que tem sido utilizado com sucesso no estudo da sismicidade no Nordeste do Brasil (Ferreira *et al.*, 1987, 1995, 1998 e 2008; do Nascimento, 1997; Lima Neto *et al.* 2009).

A solução do mecanismo focal composto proposta neste estudo considerou o primeiro movimento da onda P utilizando polaridades claras (P 0) e o mergulho dos hipocentros.

Resultados - Hipocentros

Os resultados das análises dos dados registrados pela rede de São Caetano, entre 15 de setembro e 21 de dezembro de 2010, revelam epicentros próximos ao Lineamento Pernambuco. Durante este período foram registrados cerca de 80 sismos, no mínimo, em uma

estação . Na figura 3 é mostrado os eventos que foram registrados pela rede de São Caetano 2010. De acordo com esta figura na área de São Caetano estudada em 2007 a ocorrência de sismos continua, assim como no município de Caruaru.

O estudo mais recente de sismicidade local realizado na região Agreste de Pernambuco foi apresentado por Lima Neto *et al.*, (2009), onde foram analisados dados de uma rede local instalada nas proximidades da cidade de São Caetano. Devido à proximidade da área sísmica estudada neste trabalho da área anteriormente citada, foi utilizado o mesmo modelo de velocidades para localização dos hipocentros, ou seja, $V_P/V_S = 1.70$ e $V_P = 5.9$ km/s. Os hipocentros foram calculados com auxílio do programa HYPO71 (Lee & Lahr, 1975) e os sismogramas foram interpretados com o auxílio do programa SAC (Tapley & Tull, 1991).

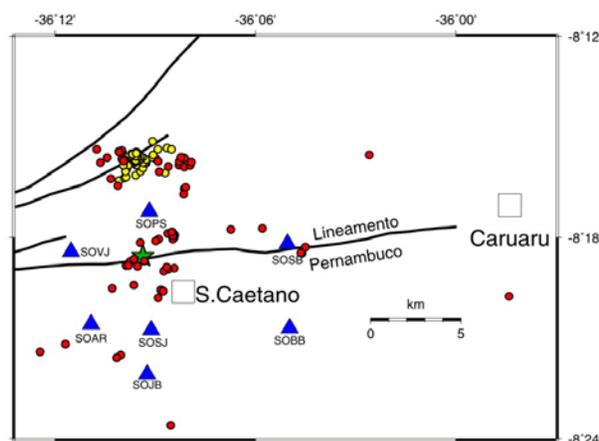


Figura 3- Mapa Epicentral dos eventos registrados pela rede de São Caetano 2010 (círculos vermelhos). As estações da rede de São Caetano (triângulos azuis), operaram entre 15/09/2010 e 21/12/2010. Os círculos amarelos indicam a localização dos sismos estudados em 2007 (Lima Neto *et al.* 2007); a estrela verde indica a localização do sismo de magnitude 2.7 mb do dia 10/03/2010, e o quadrado indica a área urbana de São Caetano.

Para este estudo foram selecionados 20 sismos registrados em pelo menos quatro estações e com maior precisão epicentral (e distância epicentral menor que 10 km), hipocentral, gap <math> < 180^\circ </math> e valores baixos para o residuo médio quadrático de tempo (ERH \leq 0.3km, ERZ \leq 0.4km e RMS \leq 0.03s). A localização da área epicentral estudada é próxima ao centro urbano de São Caetano, bem diferente da atividade ocorrida em 2007, conforme se vê na Figura 4. O agrupamento dos sismos ocorridos em 2010 conforme a profundidade- h - (epicentros - círculos vermelhos h \leq 4.5 km e quadrados vermelhos 4.5 < h \leq 9 km) está localizado próximo ao Lineamento Pernambuco e os eventos são bastantes sentidos pela população devido a proximidade com o centro urbano de São Caetano.

Embora ambas as atividades tenham ocorrido em locais diferentes ambas mostraram forte correlação com o

Lineamento Pernambuco e suas ramificações. A atividade de 2007 (círculos amarelos, Figura 4) teve sua correlação comprovada com uma feição geológica mapeada - uma ramificação do Lineamento Pernambuco na direção NE (Lima Neto *et al.*, 2009).

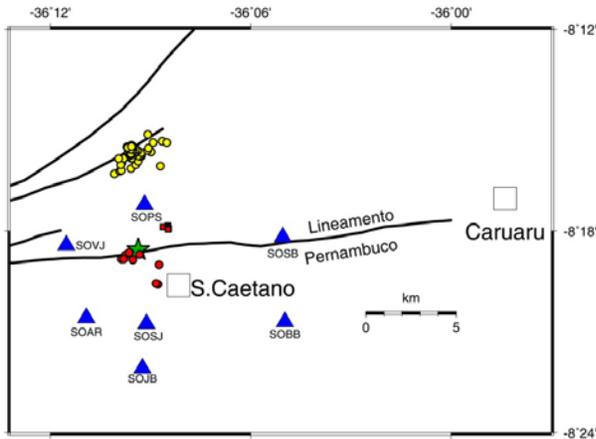


Figura 4- Mapa Epicentral dos 20 sismos (círculos - $h \leq 4.5$ km - e quadrados vermelhos - $4.5 < h \leq 9$ km), com maior precisão hipocentral e epicentral, registrados pela rede de estações de São Caetano (triângulos azuis), entre 15/09/2010 e 21/12/2010. Os círculos amarelos indicam a localização dos sismos estudados em 2007 (Lima Neto *et al.* 2007); a estrela verde indica a localização do sismo de magnitude 2.7 mb do dia 10/03/2010, e o quadrado indica a área urbana de São Caetano.

Na figura 5 são mostrados os 16 eventos selecionados em escala ampliada da Figura 4. De acordo com essa figura os sismos apresentam duas distribuições. Um agrupamento no Lineamento Pernambuco e o está numa linha aproximadamente perpendicular ao Lineamento Pernambuco. Para se visualizar melhor a situação existente e tentar determinar com segurança a direção do plano de falha foram feitas duas projeções:

uma projeção vertical num plano paralelo à falha mapeada e uma projeção vertical no plano perpendicular a essa mesma falha.

A figura 5.a mostra a distribuição dos sismos no plano cartográfico, as setas verdes b e c indicam, respectivamente, a direção da projeção vertical no plano paralelo a falha e no plano vertical perpendicular a falha. O ponto central para essas projeções está na origem das setas b e c. A figura 5.b mostra a projeção vertical no plano paralelo à falha mapeada e a figura 5.c mostram a projeção vertical no plano perpendicular a essa falha.

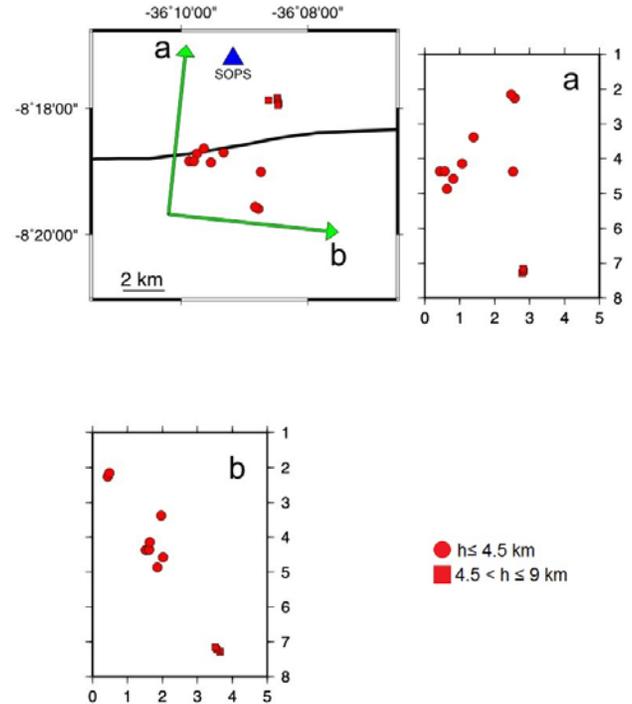


Figura 5- Mapa dos sismos selecionados para determinação do mecanismo focal composto (a). Os 16 sismos da Figura 4 selecionados possuem $rms \leq 0.035$ s, $erh \leq 0,3$ km, $erz \leq 0,3$ km, $gap \leq 180^\circ$ e $NO \geq 08$ observações.

Resultados Preliminares - Mecanismo focal

A solução inicialmente proposta neste estudo, para o mecanismo focal composto, levou em consideração a distribuição dos hipocentros (o mergulho e o azimute) e. Só foram utilizadas as polaridades de excelente qualidade das ondas P registradas (P0) dos 16 eventos selecionados (figura 5).

O plano de falha e o mergulho foram obtidos foi de 266° e o mergulho 62° . Desse modo, baseando-se nesta solução encontrada, o mergulho e o azimute foram fixados em 266° e 62° , respectivamente, para os 16 eventos selecionados (figura 5).

Baseado na existência de estações com alternância de polaridades, o que denota proximidade de um dos planos nodais, o rake foi ajustado em -125° . O mecanismo focal proposto é de um plano de falha na direção aproximada E-W, com movimento normal (figura 6).

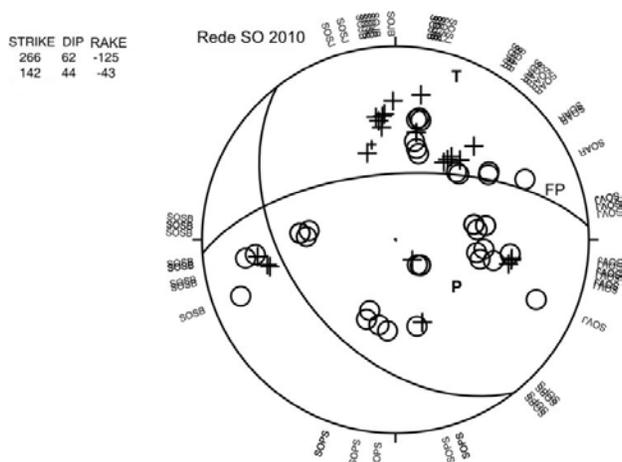


Figura 6- Mecanismo focal composto para os 16 eventos selecionados. Hemisfério inferior, projeção de igual área. Cruzes e círculos representam os primeiros movimentos compressivos e dilatacionais, respectivamente. P e T São os eixos de compressão e dilatação, respectivamente. FP indica o plano de falha.

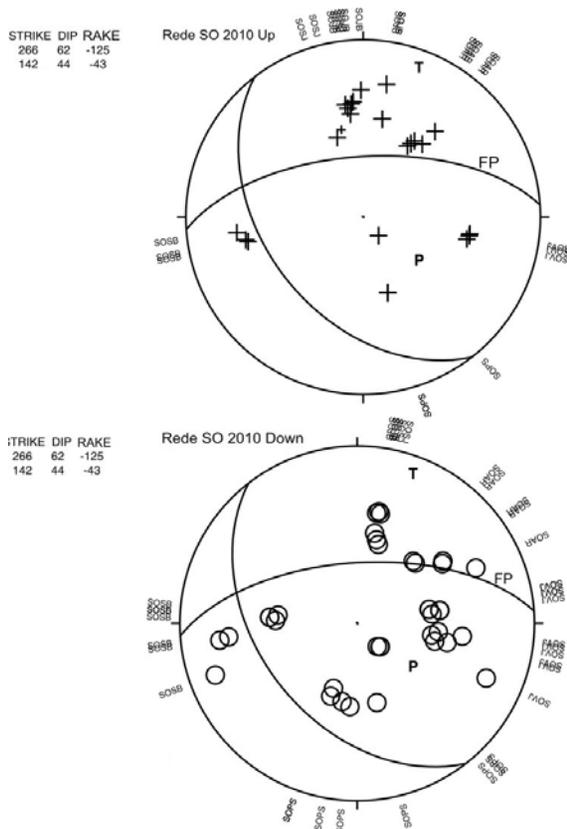


Figura 7 Visualização da alternância de polaridades do mecanismo focal da figura 6, mostrando as polaridades separadamente. Na figura 7.a estão representadas as polaridades positivas e na figura 7.b as polaridades negativas. FP indica o plano de falha.

Discussão e Conclusões

Neste estudo foi mostrado que os epicentros da sismicidade registrada em São Caetano - PE no ano de 2010 não está concentrada apenas na área estudada em 2007. Os epicentros na nova área (epicentros - círculos e quadrados vermelhos na figura 4) está localizado próximo ao Lineamento Pernambuco e os eventos são bastantes sentidos pela população devido a proximidade com o centro urbano de São Caetano.

A profundidade dos sismos estudados variou entre 2,1 km até no máximo 8,4 km. Os sismos da nova área de 2010 apresentados na figura 4 estão concentrados em dois agrupamentos, um no Lineamento Pernambuco e o outro numa linha aproximadamente perpendicular ao Lineamento Pernambuco.

O mecanismo focal composto foi encontrado para os 16 sismos selecionados. O azimute (266°) e o mergulho (62°) foram obtidos através do método dos mínimos quadrados. Baseado na existência de estações com alternância de polaridades, o que denota proximidade de um dos planos nodais, o rake foi fixado em -125° . O mecanismo focal composto preliminarmente proposto é de um plano de falha na direção aproximada E-W, com movimento normal. A próxima etapa será fazer o mecanismo focal composto separado para cada um dos dois agrupamentos (eventos no Lineamento Pernambuco e eventos que são perpendiculares ao lineamento Pernambuco).

A determinação hipocentral mostra que os sismos de 2010 (círculos e quadrados vermelhos, Figura 4) ocorreram próximo ao centro urbano de São Caetano e possuem uma clara correlação geométrica com o Lineamento Pernambuco. Esse tipo de correlação entre feições geológicas mapeadas e sismicidade no nordeste brasileiro é rara, de um modo geral, mas bastante freqüente na atividade sísmica relacionada com o Lineamento Pernambuco e suas ramificações.

Os resultados alcançados podem ser melhorados tanto na determinação hipocentral quanto na determinação do mecanismo focal, considerando-se a qualidade dos dados, obtidos com sismômetros triaxiais com relógios controlados por GPS. Técnicas como de posicionamento relativo de eventos, e determinação de mecanismo focal utilizando outros parâmetros além da polaridade da onda P podem ser usados. Ainda podem ser realizados estudos do processo de nucleação dos sismos e determinação dos parâmetros de fonte.

Agradecimentos

Ao Dr. Reinhardt Fuck, coordenador do Projeto INCT de Estudos Tectônicos, pelo apoio constante.

Ao Dr. Darcy Nascimento, coordenador do PEGBR (Pool de Equipamentos Geofísicos do Brasil).

Ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG) da UFRN.

A CAPES.

Referências

- Assumpção, M. 1992. The Regional intraplate stress field in South América. *J. Geophys.Res.*,97(B8): 11889-11903.
- Assumpção, M. 1993. Earthquakes and stresses in the Brazilian continental margins. *Proc.III Intern.Congr.Braz.Geophys.Soc.*: 1128-1133.
- Berrocal, J., Assumpção, M., Antezana, R., Dias Neto, C.M. Ortega, R., França, H. & Veloso, J.A. 1984. Sismicidade do Brasil, IAG-Universidade de São Paulo.
- Dayvison, I., McCarthy, M., Powell, D., Torres, H.H., F., Santos, C.A. 1995. Laminar flow in shear zones: the Pernambuco Shear Zone, NE Brazil. *Journal of Structural Geology* 17: 149-161.
- do Nascimento, A .F. 1997. Estudo da sismicidade induzida pelo reservatório da Barragem do Assu (RN)- Tese de mestrado, 001-PPGG/UFRN ,68 pp.
- Ferreira, J.M. & Assumpção, M. 1983. Sismicidade do Nordeste do Brasil. *Rev Bras. Geofís*, 1: 67-88.
- Ferreira, J.M., Takeia, M., Costa, J.M., Moreira, J.A., Assumpção, M., Veloso, J.A.V. & Pearce, R.G. 1987. A continuing intraplate earthquake sequence near João Câmara, Northeastern Brazil – Preliminary results. *Geophys.Res.Lett.*, 14: 1402-1405.
- Ferreira, J.M., Assumpção, M., Costa, J.M., Moreira, J.A.M., Pearce, R.G. & Takeya, M.K. 1995. Correlation of seismicity and water level in the Açú reservoir- na example from Northeast Brazil. *Bull. Seism.Soc, Am*, 85: 1483-1489.
- Ferreira, J.M., Oliveira, R.T., Takeya, M.K. & Assumpção, M. 1998. Superposition of local and regional stress in northeast Brazil: evidence from focal mechanism around the Potiguar marginal basin. *Geophys. J. Int.*, 134: 341-355.
- Ferreira, J.M., Bezerra, F.H.R., Souza, M.O.L., do Nascimento, A.F., Martins Sá, J., França, G.S. 2008. The role of precambrian mylonitic na present day stress field in the coseismic reactivation of the Pernambuco Lineament, Brazil. *Tectonophysics*. 456:11-126.
- Lee, W.H.K. & Lahr, J.C. 1975. HYPO71 (revised): a computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes. *U.S. Geol. Surv. Open File Rep.* 75-311, 114 pp.
- Lima Neto, H.C., Ferreira, J.M., Nascimento, A.F. & Bezerra, H.R., 2009. Estudo da atividade sísmica em São Caetano-PE em 2007, 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Salvador, Extended Abstract, 6 pp.
- Lopes, A.E.V.; Assumpção, M.; do Nascimento, A.F.; Ferreira, J.M.; Menezes, E.A.S. & Barbosa, J.R. (2010), Intraplate Earthquake Swarm in Belo Jardim, NE Brazil: Reactivation of a Major NeoProterozoic Shear Zone (Pernambuco Lineament), *Geophys. J. Int.*, 180(3), 1303-1312
- Tapley W.C. & Tull, J.E. 1991. SAC - Seismic Analysis Code. *USER MANUAL*, Livermore National Laboratory, 413 pp.