

1º Relatório Semestral do Monitoramento Sismográfico dos Reservatórios Hidrelétricos da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) - Estação Sismográfica da UHE Xingó (XIN 01), registros obtidos no período de 15.09.12 a 15.03.13



Atende aos Termos do Contrato de Prestação de Serviço entre a empresa
G2 MEIO AMBIENTE e a CHESF

COORDENADOR:

Msc. Eugênio Pires Frazão
Geólogo - Responsável Técnico da empresa G2 MEIO AMBIENTE
CREA/RN 210024686-0

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. RESULTADOS DA ATIVIDADE SÍSMICA.....	03
2.1. MONITORAMENTO DA ATIVIDADE SÍSMICA EM XINGÓ (XIN 01).....	03
2.2. CONCLUSÕES.....	13
3. EQUIPE TÉCNICA.....	19
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
ANEXO.....	21

1. INTRODUÇÃO

Os estudos sismológicos na área do reservatório da UHE Xingó estão sendo executados pela empresa G2 Meio Ambiente - Soluções em Geologia, Geofísica e Meio Ambiente Ltda., no âmbito do contrato nº. CTNI-92.2009.6220.00. Neste contrato encontra-se também inserido o monitoramento sismográfico dos reservatórios das UHE's Luiz Gonzaga (Itaparica), Sobradinho e Castelo Branco (Boa Esperança).

No 1º relatório semestral sismográfico informamos sobre as atividades sísmicas que estão sendo monitoradas na área do reservatório hidrelétrico de Xingó (XIN 01) durante o período de 15.09.12 a 15.03.13. Neste boletim se apresentam os principais resultados da auscultação sismográfica que está sendo executada na área do reservatório da UHE Xingó, com dados do sismógrafo digital.

A região Nordeste do Brasil é a principal área de atividade sísmica do país, principalmente a borda da Bacia Potiguar (Rio Grande do Norte e leste do Ceará). Por ser do tipo intraplaca, o nível da atividade sísmica no Nordeste do Brasil não pode ser comparado ao de regiões de borda de placa como a Califórnia ou os Andes, por exemplo. Isso não quer dizer que sismos intraplaca não sejam perigosos, mas são menos frequentes. Ao contrário do geralmente pensado, devido às características da crosta, sismos intraplaca são mais destrutivos que sismos de borda de placa, com a mesma magnitude e profundidade (Seeber & Armbruster, 1988).

Embora, até o momento, não tenha ocorrido nenhum sismo catastrófico na região nordeste do Brasil, duas das características da sismicidade do Nordeste tornam os efeitos dos sismos mais salientes: de um lado, os sismos são rasos com, no máximo, 12 km de profundidade; e do outro, a atividade sísmica costuma ocorrer na forma de enxame, cuja duração pode se estender por anos (Ferreira *et al.*, 1998). A primeira característica faz com que, por exemplo, sismos de magnitude da ordem de 3,8 m_b (magnitude calculada com ondas P e S) causem rachaduras em edificações. A segunda característica faz com que o efeito psicológico de uma sequência de sismos, mesmo de baixa magnitude, praticamente só ouvidos pelos habitantes, cause pânico na população.

A região Nordeste tem experimentado sismos de magnitude próxima ou superior a 5,0, como os que ocorreram em Cascavel (1980, 5,2 m_b) e João Câmara (1986, 5,1 m_b ; 1989, 5,0 m_b), todos com intensidade VII MM (Fig. 01). Esses eventos têm causado sérios danos nas edificações como colapso parcial de casas e extensas rachaduras nas paredes. Os tremores citados acima foram sentidos numa área de raio da ordem de 600 km, a partir do epicentro (Ferreira & Assumpção, 1983; Takeya *et al.*, 1989). Esta intensa atividade sísmica não é nova, tem sido constatada na região desde 1808 e, certamente, deve continuar (Fig. 01).

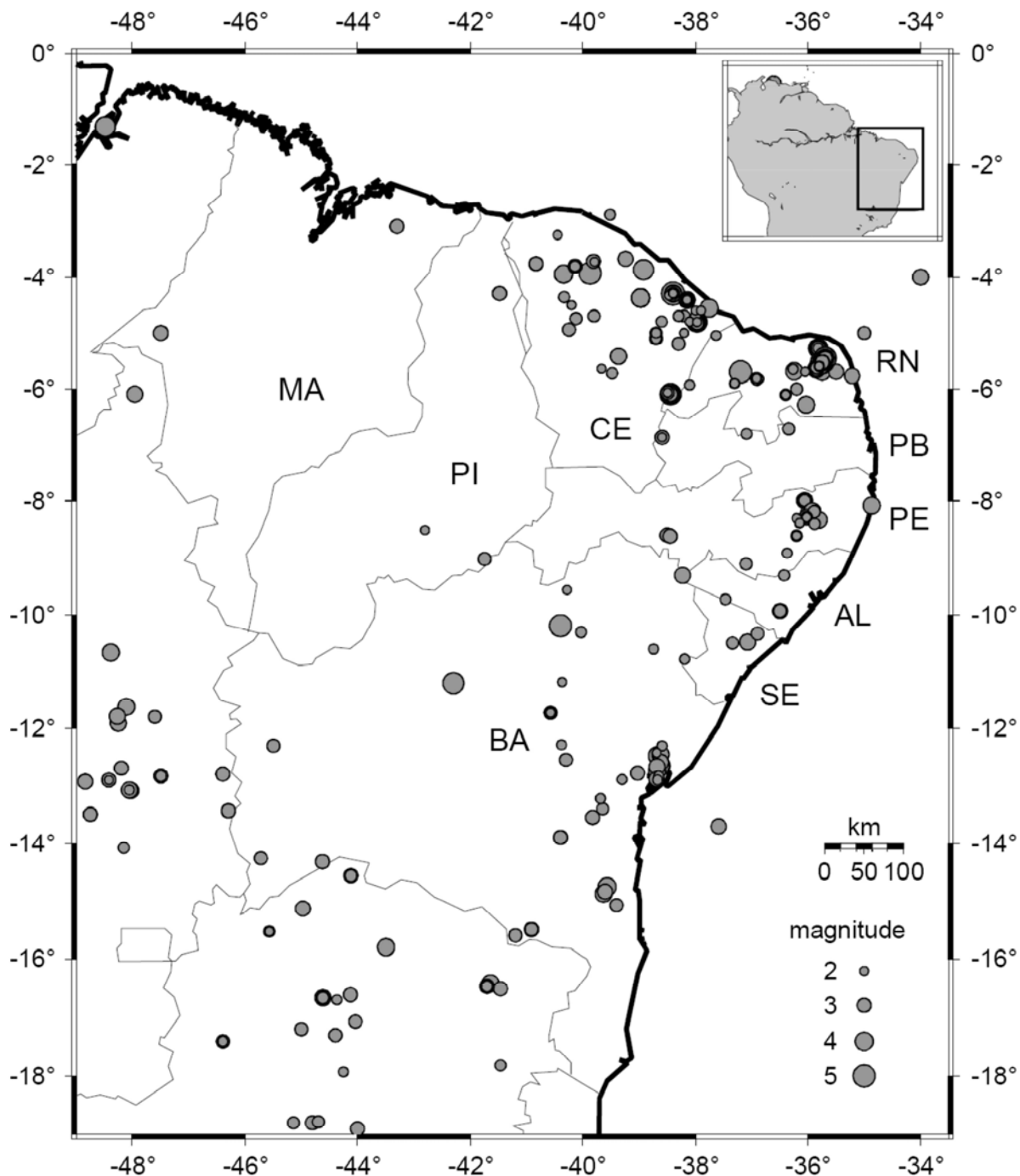


Figura 01: Mapa da sismicidade do Nordeste do Brasil (sismos desde 1808).

A importância deste projeto é fornecer subsídios para uma melhor estimativa de risco sísmico e a compreensão da correlação entre a atividade sísmica e os reservatórios. Dessa forma, pretende-se estudar a sismicidade natural, por meio de redes regionais e locais, e também a sismicidade induzida por reservatórios, em especial o reservatório da UHE de Xingó. Para entender melhor a correlação entre a sismicidade e a bacia serão feitos estudos da estrutura crustal da região.

2. RESULTADOS DA ATIVIDADE SÍSMICA

Para a análise dos dados produzidos pelas estações e determinação de seus resultados foram utilizados os seguintes programas para as seguintes atividades específicas:

- ZZX_4 (*R-SENSORS*): para a visualização e conversão de dados;
- SeisGram2K (*Seismogram Viewer v.6.0*): para a visualização, análise preliminar e edição das imagens dos sismogramas digitais;
- COMPASS - Strong Motion (*Interactive Weak and Strong Motion Data Processing Software*): para a visualização, processamento final e edição das imagens dos sismogramas digitais.

Os dados produzidos pela estação sismográfica da UHE Xingó (XIN 01), foram para efeito de análise, divididos em eventos locais, eventos regionais e eventos distantes (telessismos), em relação à estação registradora. Na categoria de eventos locais encontram-se sismos cujas distâncias epicentrais estão abaixo de 100 quilômetros da estação sismográfica (XIN 01).

2.1. MONITORAMENTO DA ATIVIDADE SÍSMICA EM XINGÓ (XIN 01)

No período de 15 de setembro a 15 de março de 2013, a rede sismográfica da UHE Xingó (XIN 01) registrou 02 eventos regionais naturais, 05 eventos locais artificiais, 01 evento regional artificial e 17 eventos telessismos (Tab. 01). Foi registrado 01 evento regional no município de São Caetano / PE com magnitude de 2,2 mb (Fig. 02). Os eventos locais e regionais artificiais estão relacionados às explosões provenientes de desmonte de rocha em áreas de pedreiras e provavelmente nas obras de transposição do rio São Francisco (Fig. 03) e (Figs. 04, 05 e 06).

Além da distância epicentral, outro fator importante na escolha dos telessismos para o cálculo da função do receptor é a sua magnitude, pois quanto maior a razão sinal-ruído, menor será o erro na determinação da P_s . Para este trabalho, um dos critérios adotados para a escolha do telessismo foi ter magnitude igual ou maior que 5 m_b .

Tabela 01: Eventos sismográficos registrados pela estação de Xingó (XIN 01).

ANO	MÊS	DIA	HORA (UTC)	MIN	SEG(P)	S-P	DIST (km)	AZM	Mb	OBS.
2012	09	19	20	00	32	26,5	235.9	238,18	2,2	São Caetano PE Erro ±5 km
2012	09	19	20	00	04	2,46	21,47	38,6	≤1,5	Explosão Lat 9 18.486 S Long 37 43,602 W Erro ±5 km
2012	09	25	23	57	25				4,9	Telessismo cadeia mesoceânica Fonte USGS
2012	09	30	16	00	Telessismo				6,8	JAN MAYEN ISLAND REGION Fonte USGS
2012	10	10	19	33	07	2,48	21,57	38,6	≤2,0	Explosão Lat 9 18.486 S Long 37 43,602 W Erro ±5 km
2012	10	12	00	51	29				??	Telessismo cadeia mesoceânica Fonte USGS
2012	10	17	15	30	53	2,58	22,5	38,6	≤2,0	Explosão Lat 9 18.486 S Long 37 43,602 W Erro ±5 km
2012	10	24	00	54	34				6,5	Costa Rica Fonte USGS
2012	10	28	03	17	47				7,7	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION Fonte USGS
2012	11	03	13	02	07	17,422	155	342,5	≤1,5	Explosão Lat -8 6,687 S Long -38 15,561 W Erro ±5 km
2012	11	07	16	45	42				7,4	OFFSHORE GUATEMALA Fonte USGS
2012	11	10	15	04	42				4,8	Telessismo cadeia mesoceânica Fonte USGS
2012	11	11	22	24	43				5,1	Telessismo cadeia mesoceânica Fonte USGS
2012	11	15	15	32	21	2,269	19,74	319,7	≤1,5	Explosão Lat 9 18.486 S Long 37 43,602 W Erro ±5 km
2012	11	16	19	46	54	26,5	235.9	235,88	2,0	Cansação / BA Lat 10 36.81581 S / Long 39 36.31439 W
2012	11	20	16	30	56				6,4 MW	KURIL ISLANDS Fonte USGS

2012	11	21	21	43	54				6,8 MW	Vanuatu Fonte USGS
2012	11	22	13	12	19				6,5 MW	OFFSHORE GUATEMALA Fonte USGS
2012	11	28	03	16	57				??	Telessismo
2012	12	28	00	44	40				??	Telessismo
2013	01	05	09	12	08				7,5	SOUTHEASTERN ALASCA Fonte USGS
2013	01	05	12	19	52				3,6	Pedra Preta RN
2013	01	09	19	33	45	2,208	19,20	327,3	≤1,5	Explosão (pedreira, atividade humana) Lat 9 18.0546 S / long 37 55.81696 W
2013	01	30	20	22	10				6.7	Deserto do Atacama, Chile Fonte USGS
2013	02	06	01	32	01				8.0	Ilhas Santa Cruz Fonte USGS
2013	02	09	14	23	12				6.9	Colombia Fonte USGS

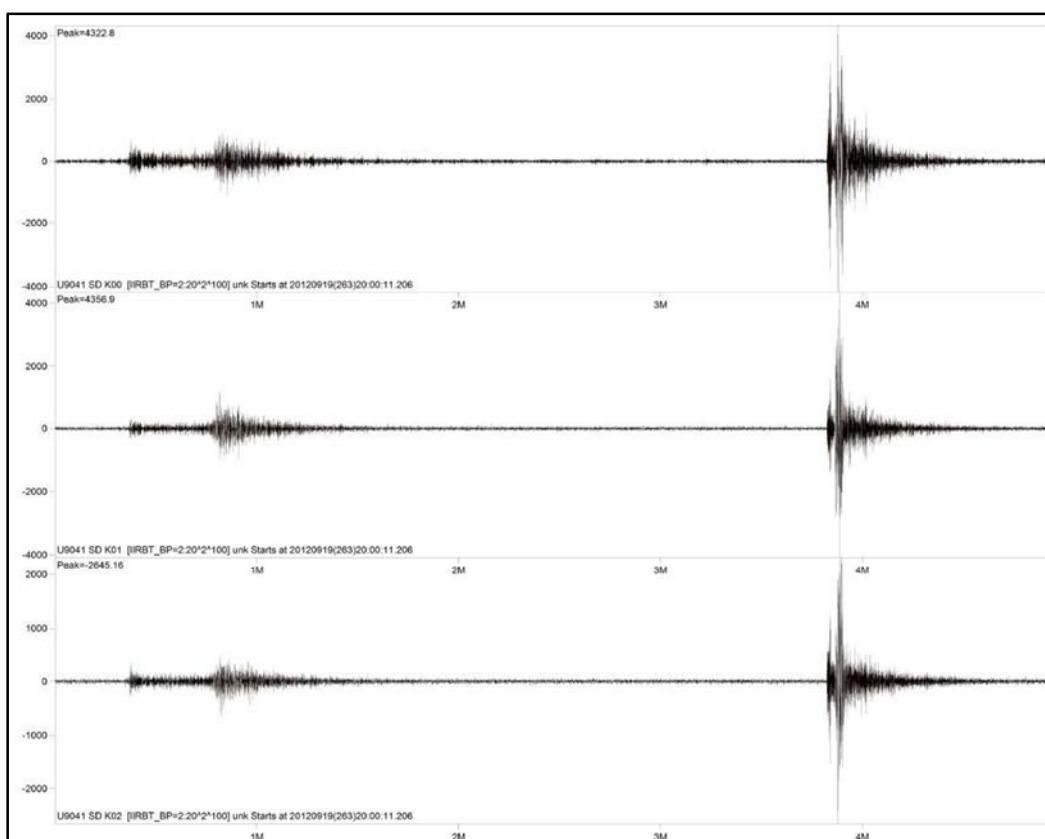


Figura 02: Registro do evento sismográfico ocorrido em São Caetano/PE pela estação XIN 01, com magnitude de 2,2 m_b .

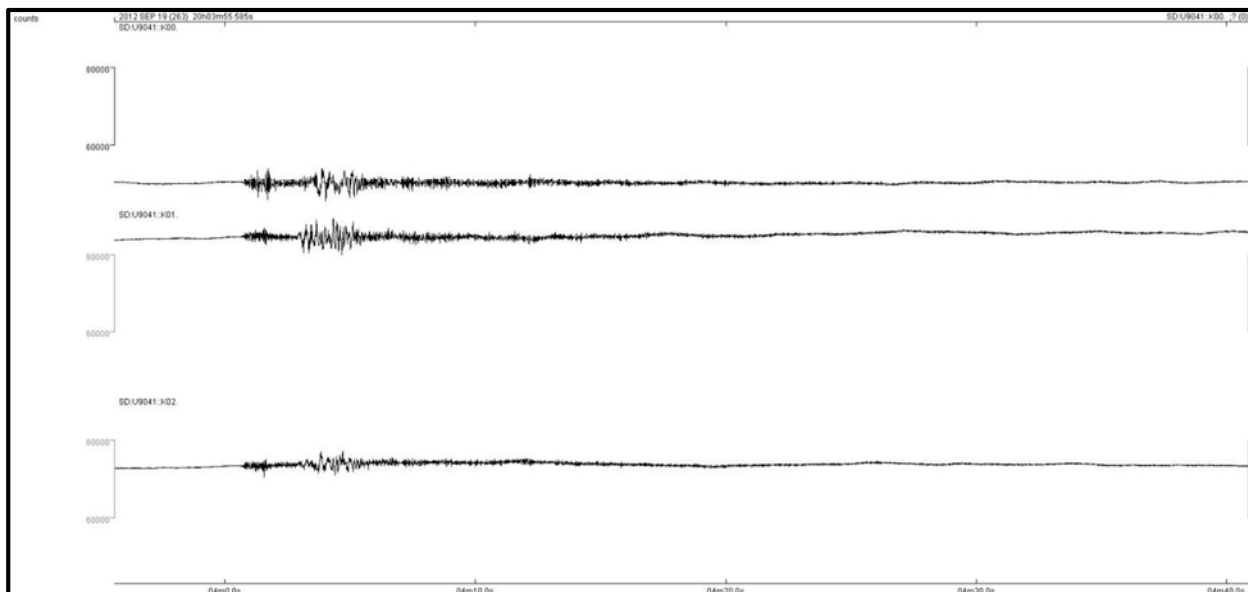


Figura 03: Registro de evento local artificial na estação XIN 01, explosão distante cerca de 21,47 km, ambos registrados em 19.09.2012.

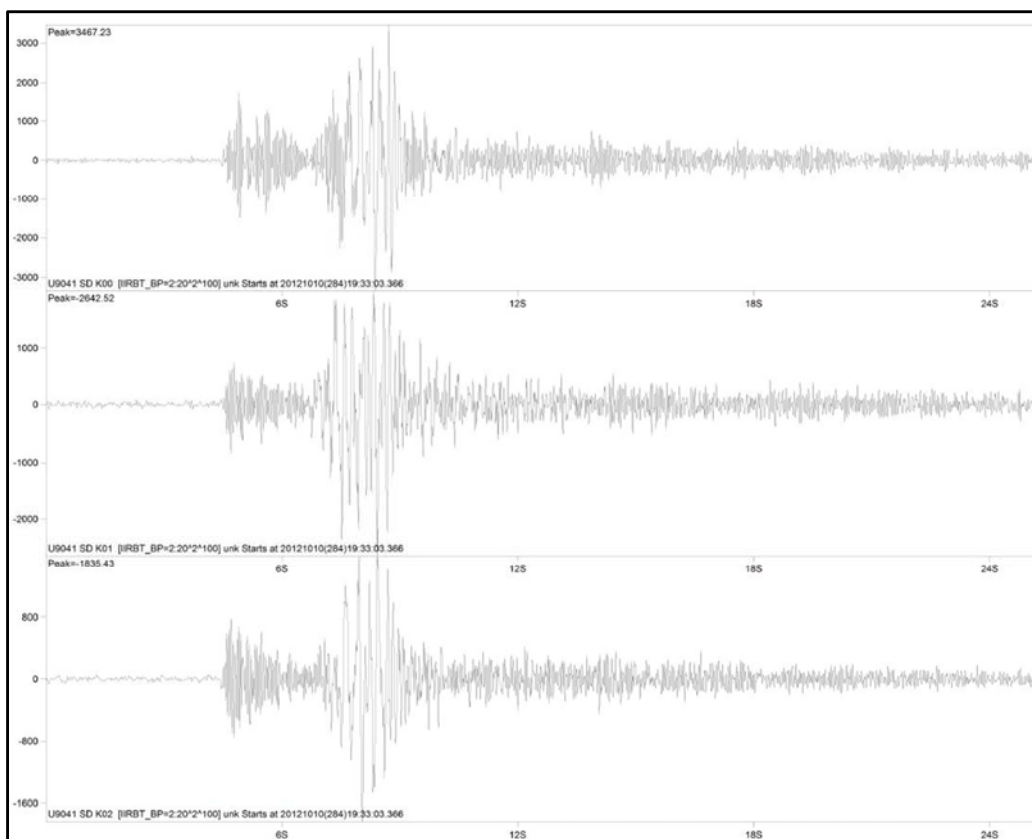


Figura 04: Registro de evento local artificial na estação XIN 01. Explosão distante cerca de 21,57 km registrado em 10.10.2012.

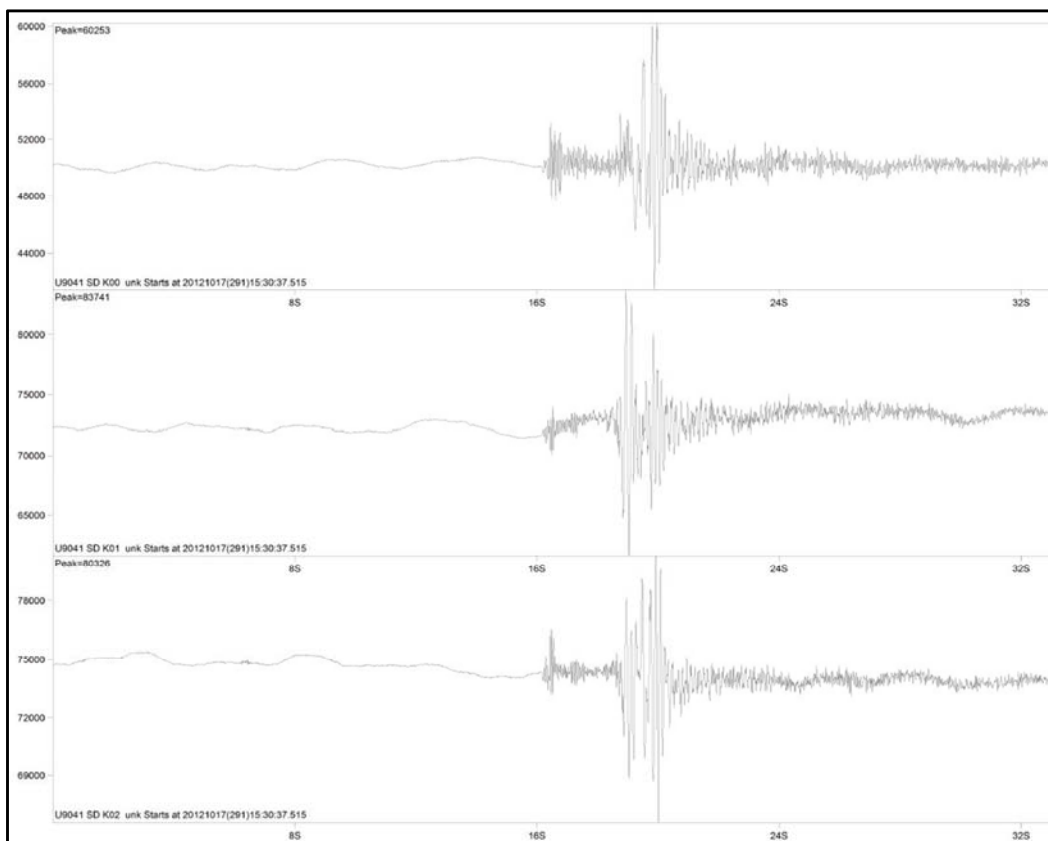


Figura 05: Registro de evento local artificial na estação XIN 01. Explosão distante cerca de 22,50 km registrado em 17.10.2012.

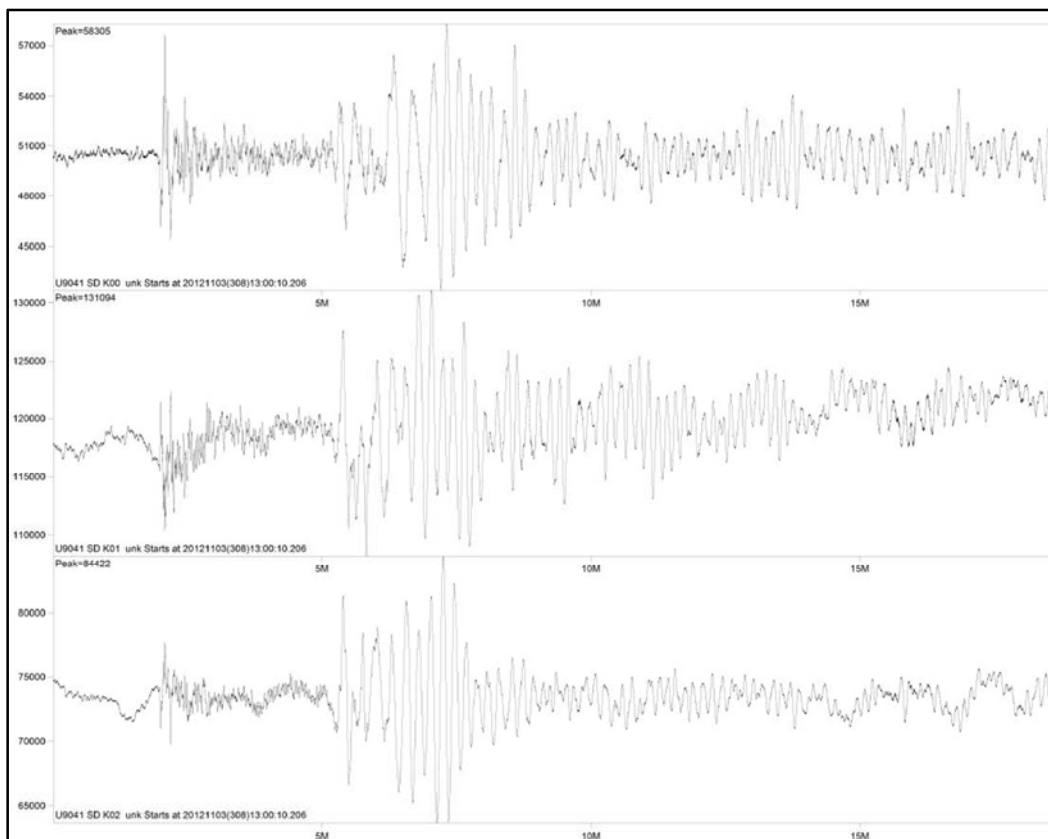


Figura 06: Registro de evento regional artificial na estação XIN 01. Explosão distante cerca de 155 km registrado em 03.11.2012.

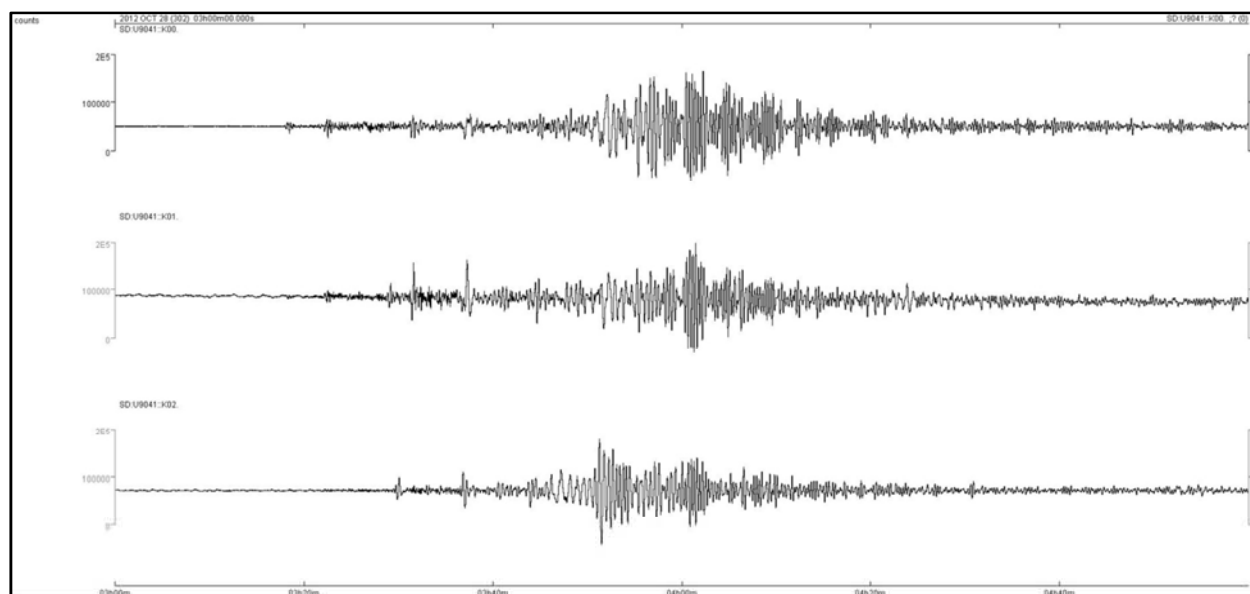


Figura 07: Registro do telessismo na estação XIN 01 ocorrido em Queen Charlotte Islands Region.

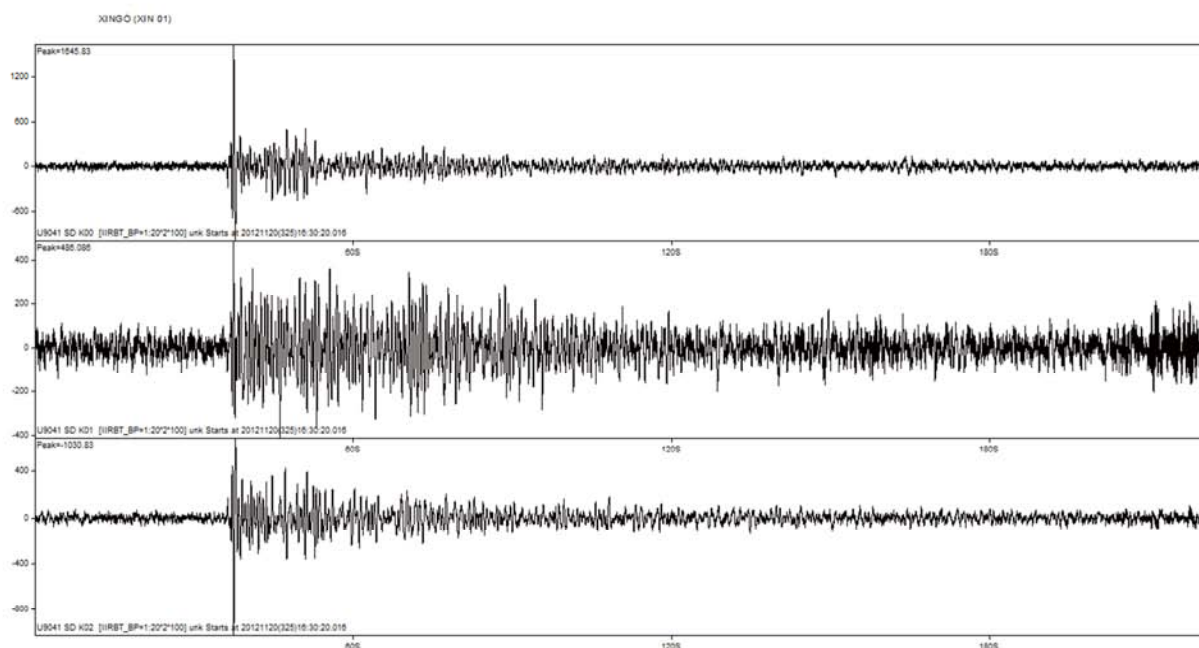


Figura 08: Registro do evento telessismo ocorrido em OFFSHORE GUATEMALA com magnitude 6,5 22.11.12 às 13:12:19 (UTC)

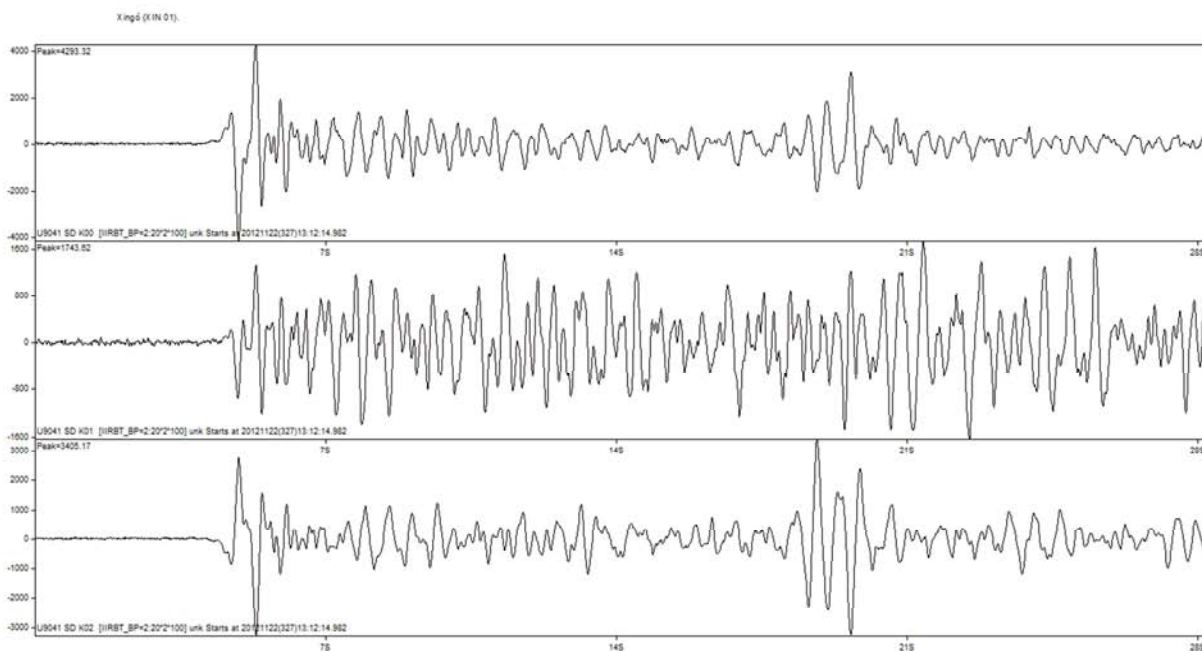


Figura 09: Registro de telessismo SOUTHEASTERN ALASCA com magnitude 7,5 MW.

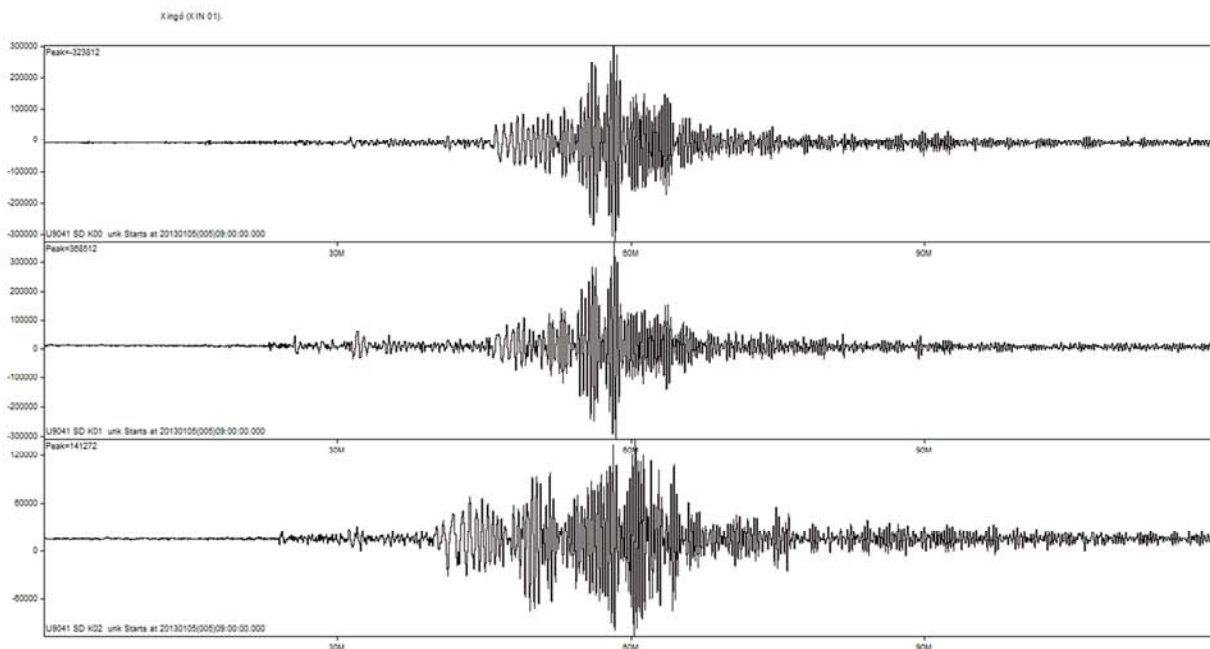


Figura 10: Registro de evento regional ocorrido em Pedra Preta no Estado do Rio Grande do Norte com magnitude de 3,6.

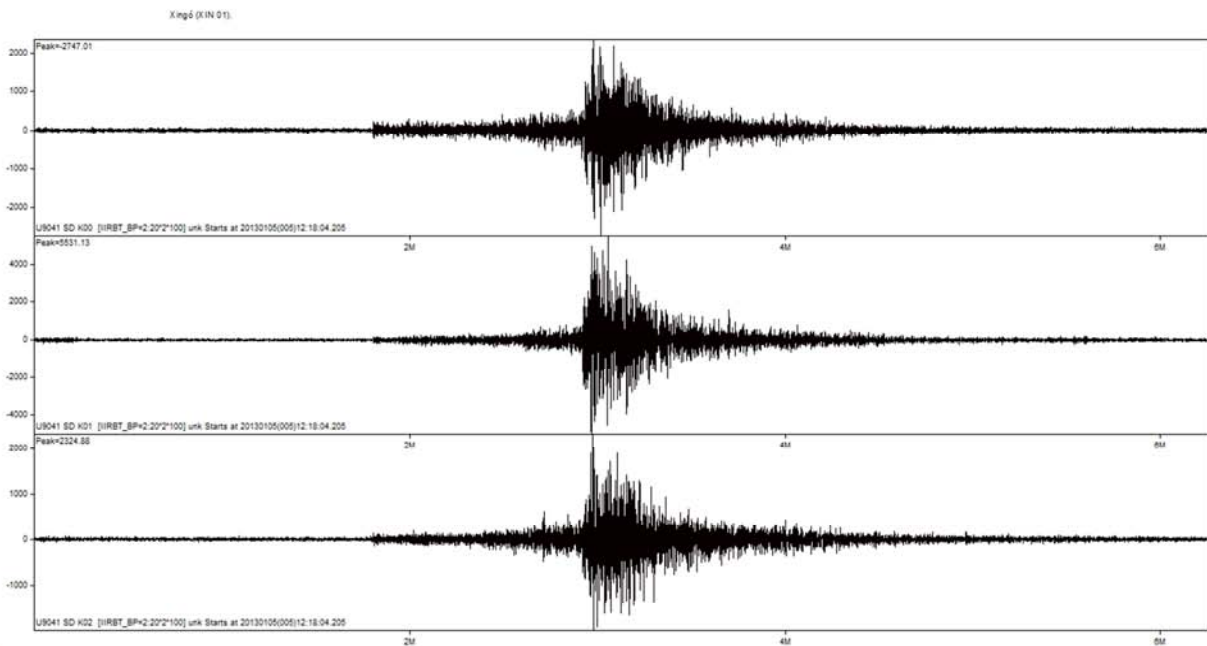


Figura 11: Registro de evento local artificial ocorrido em 09.01.13 às 19:33:54.

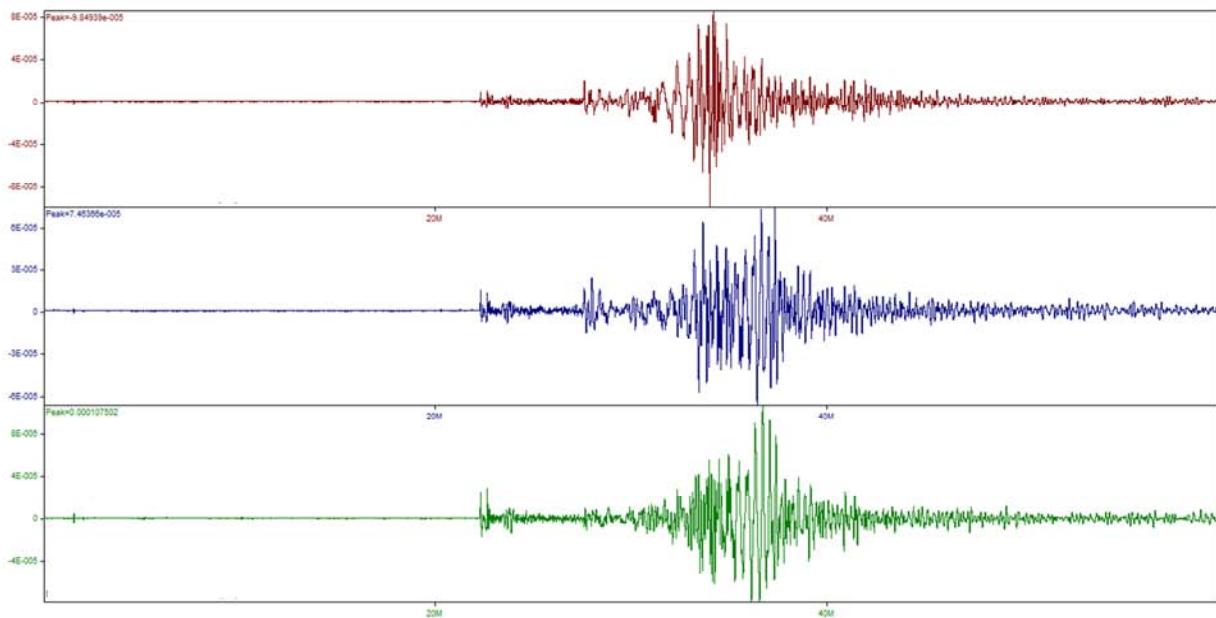


Figura 12: Registro do evento teleseismo ocorrido no deserto do Atacama / Chile com magnitude 6,7 m_b , no dia 30.01.13 às 20:22:10 (UTC).

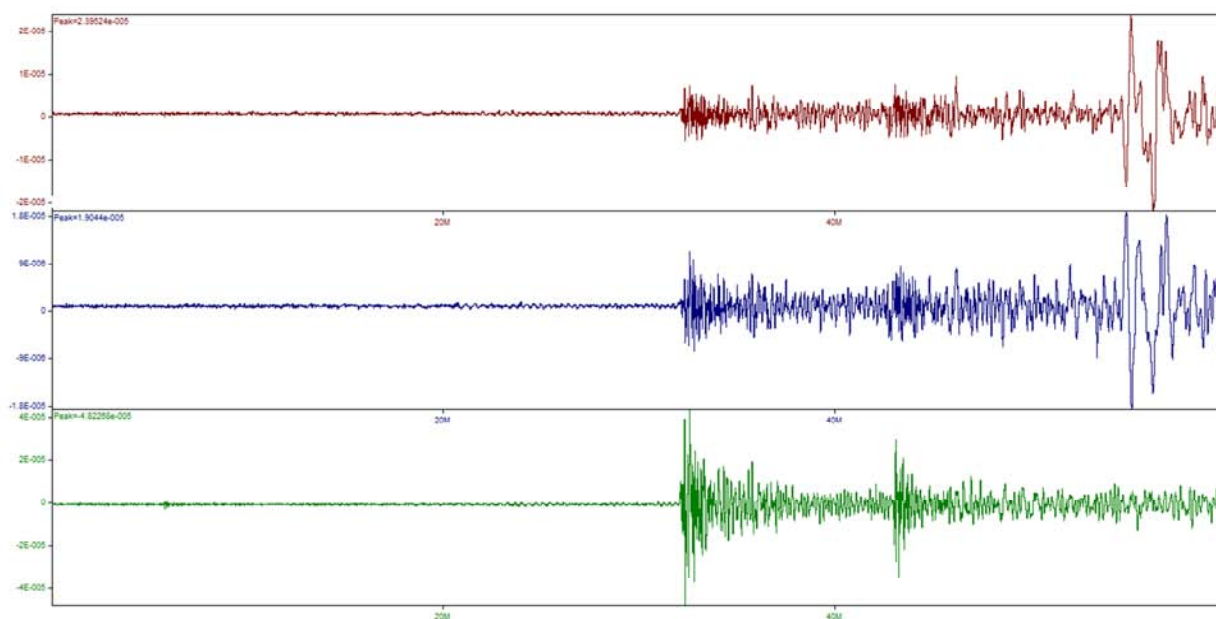


Figura 13: Registro do evento telessismo ocorrido na Ilhas Santa Cruz com magnitude 8,0 m_b , no dia 06.02.13 às 01:32:01 (UTC).

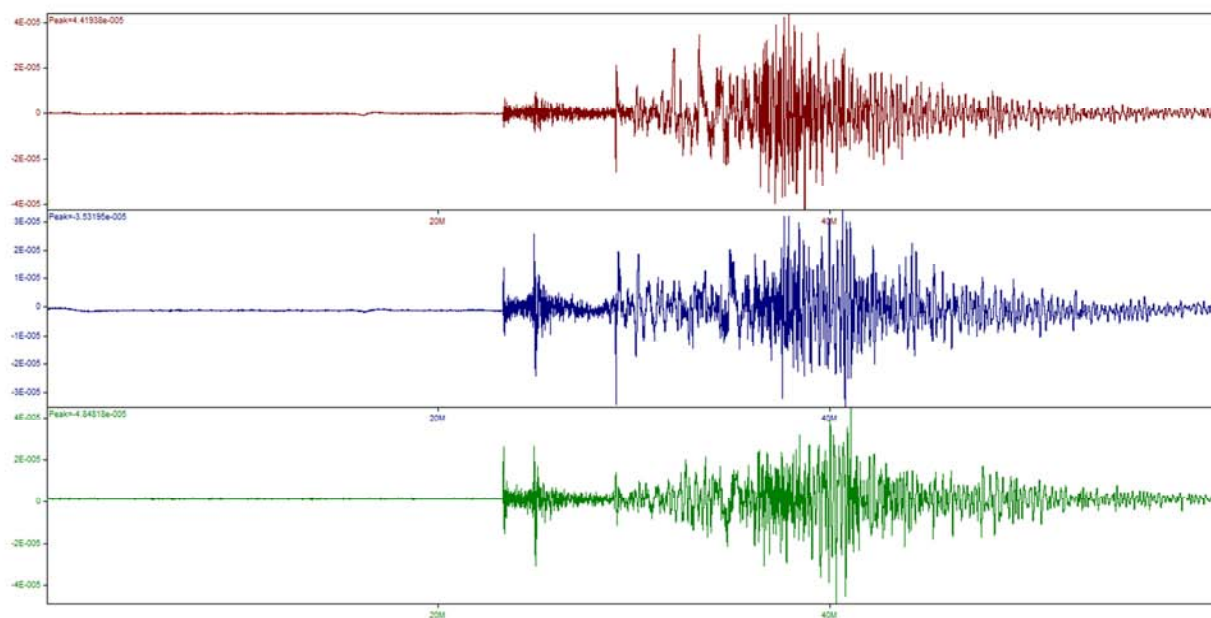


Figura 14: Registro do evento telessismo ocorrido na Colômbia com magnitude 6,9 m_b , no dia 09.02.13 às 14:23:12 (UTC).

A figura 15 mostra como é feito o calculado do azimute no *software COMPASS* de cada evento sísmico. Como exemplo, abaixo mostra-se um evento regional artificial registrado pela estação XIN 01, sendo uma explosão ocorrida a 155km e com azimute de 342,5°.

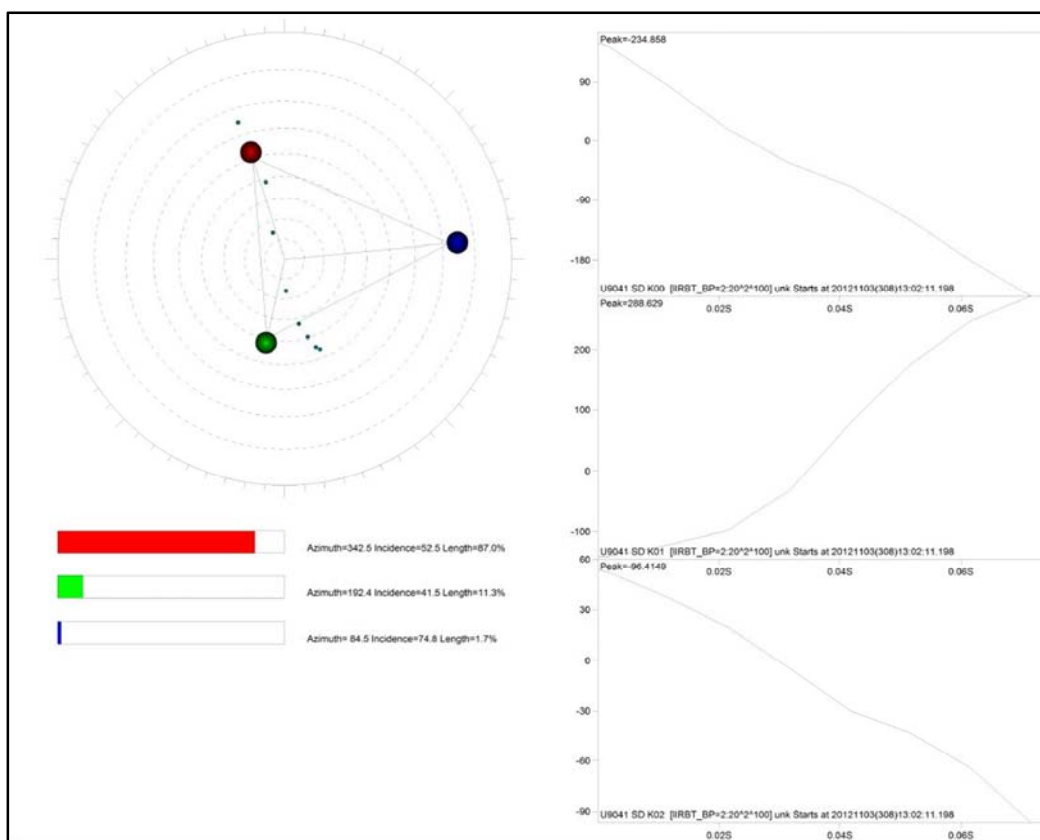


Figura 15: Cálculo da direção do evento regional artificial a partir da estação XIN 01.

Dos principais eventos sísmicos ocorridos na região Nordeste do Brasil, no ano de 2007, o maior deles foi o ocorrido no município de São Caetano/PE, próximo a cidade de Caruaru/PE, no dia 20 de março, às 13:38h (UTC), que atingiu a magnitude $m_R=3,7$. Ele foi sentido num raio de 40km aproximadamente, do epicentro.

O agreste pernambucano vem sendo, há algum tempo, palco de atividade sísmica relevante. Este evento ocorrido no dia 19.09.2012 (Fig. 02) vem a somar outros tantos ocorridos nesta região nos últimos anos. Como, por exemplo, o ocorrido em maio de 2006, que atingiu a magnitude de 4,0 m_b e é considerado como o tremor de maior magnitude já registrado no Agreste pernambucano em todos os tempos.

A estação sísmográfica de Xingó é composta de uma estação digital triaxial, instalada na região de Olho d'Água do Casado, registrou esse evento, distante cerca de 238 km da região epicentral.

2.2. CONCLUSÕES

No período de 15.09.12 a 15.11.12 só foi registrado 01 (um) evento natural sismográfico ocorrido no município de São Caetano/PE, com magnitude de 2,2 mb.

A figura 16 mostra o mapa da localização dos epicentros dos eventos locais e regionais artificiais como as explosões no dia 03.11.2012 e 19.09.2012, além de eventos naturais como o sismo em São Caetano/PE, com magnitude de 2,2 mb.



Figura 16: Mapa com a localização dos epicentros dos eventos locais e regionais artificiais da estação XIN 01 (Rede Sismográfica da CHESF) e o sismo natural de São Caetano/PE de magnitude 2,2 mb, ocorrido em 19.09.2012, às 20:00:32 (UTC).

No período de 16.11.12 a 15.01.13 foram registrados 02 (dois) eventos naturais sismográfico ocorrido no município de Cansanção/BA e no município de Pedra Preta/RN, ambos com magnitudes de 2,0 e 3,6_b, respectivamente.

A figura 17 mostra o mapa da localização dos epicentros dos eventos locais e regionais artificiais como a explosão ocorrida no 09.01.2013 às 19:33:45 (UTC), além de eventos naturais como o sismo em Cansanção/BA e Pedra Preta/RN.

No período de 15.09.12 a 15.03.13 foram registrados 17 (dezessete) eventos telessismos com magnitudes de: 4,9_b, Cadeia Meso-Oceânica (Fig. 18); 6,8_b em Jan Mayen Island (Fig. 19); 6,5_b na Costa Rica (Fig. 20); 7,7_b Queen Charlotte Island Region; 7,4_b na região *offshore* a Guatemala (Fig. 21); 4,8_b Cadeia Meso-Oceânica; 5,1_b Cadeia Meso-Oceânica; 6,4_b Kuril Islands (Fig. 22); 6,8_b em Vanuatu; 6,5_b na região *offshore* a Guatemala; 7,5_b em Southeastern Alasca (Fig. 23); 6,7_b no Deserto do Atacama/Chile (Fig. 24); 6,9_b na Colômbia (Fig. 25) e 8,0_b nas Ilhas Santa Cruz (Fig. 26).



Figura 17: Mapa com a localização dos epicentros dos eventos locais e regionais artificiais da estação XIN 01 (Rede Sismográfica da CHESF) e os sismos naturais ocorridos próximos aos municípios de Cansanção/BA e Pedra Preta/RN, ambos com magnitude 2,0 e 3,6 m_b , respectivamente.



Figura 18: Sismo registrado na cadeia Meso-Oceânica com magnitude 4,9 m_b pela estação XIN 01 (Fonte: USGS).

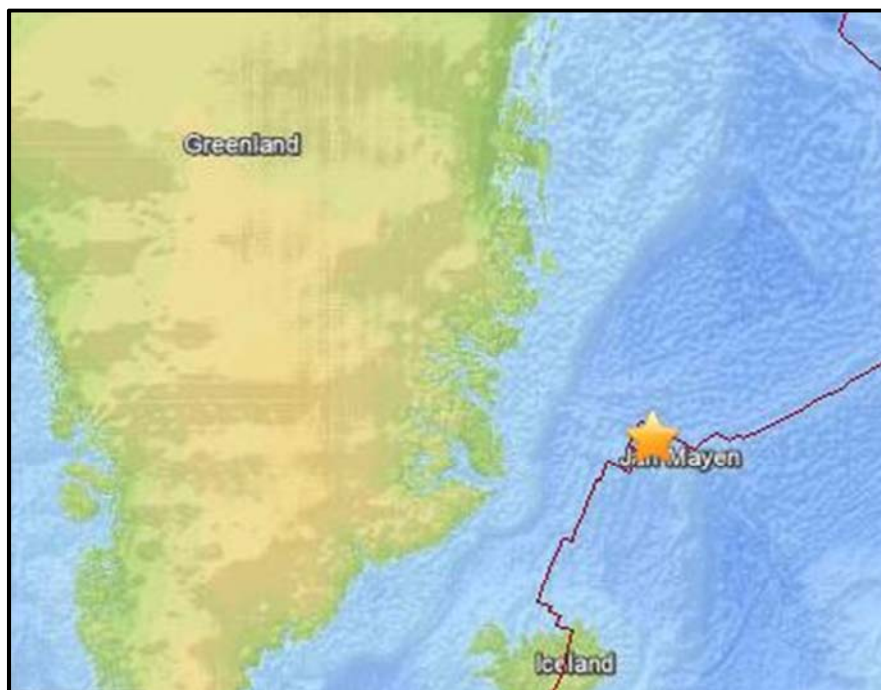


Figura 19: Sismo registrado em Jan Mayen Island com magnitude 6,8_m, pela estação XIN 01 (Fonte: USGS).

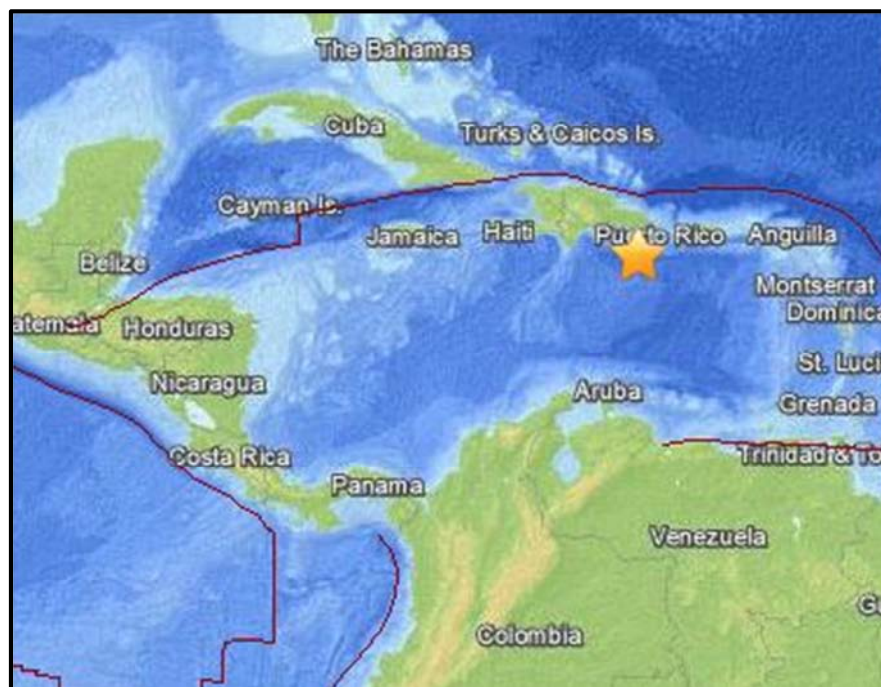


Figura 20: Sismo registrado na Costa Rica com magnitude 6,5_m, pela estação XIN 01 (Fonte: USGS).

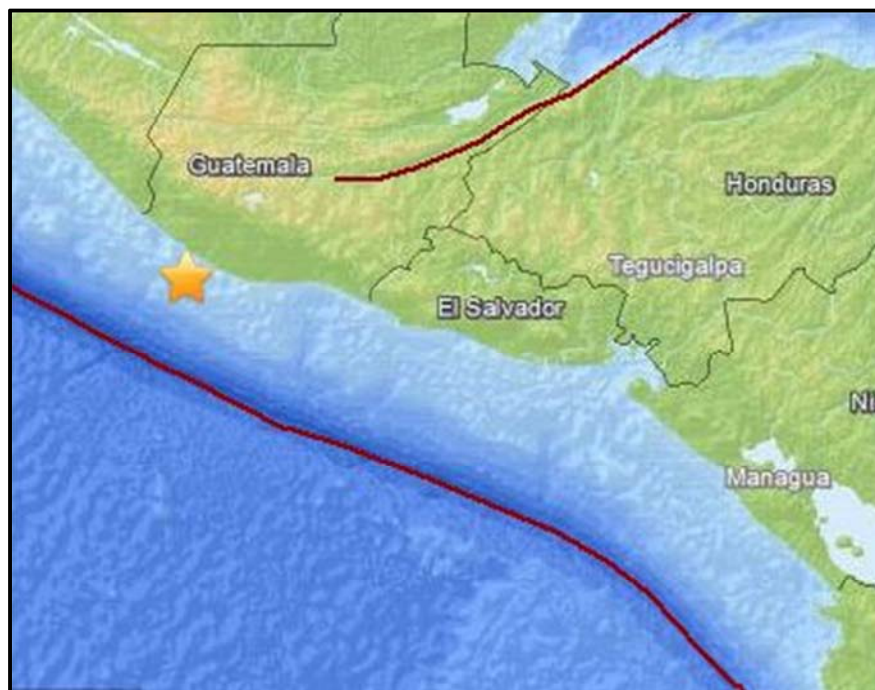


Figura 21: Sismo registrado na região *offshore* de Guatemala com magnitude 7,4 m_b , pela estação XIN 01 (Fonte: USGS).

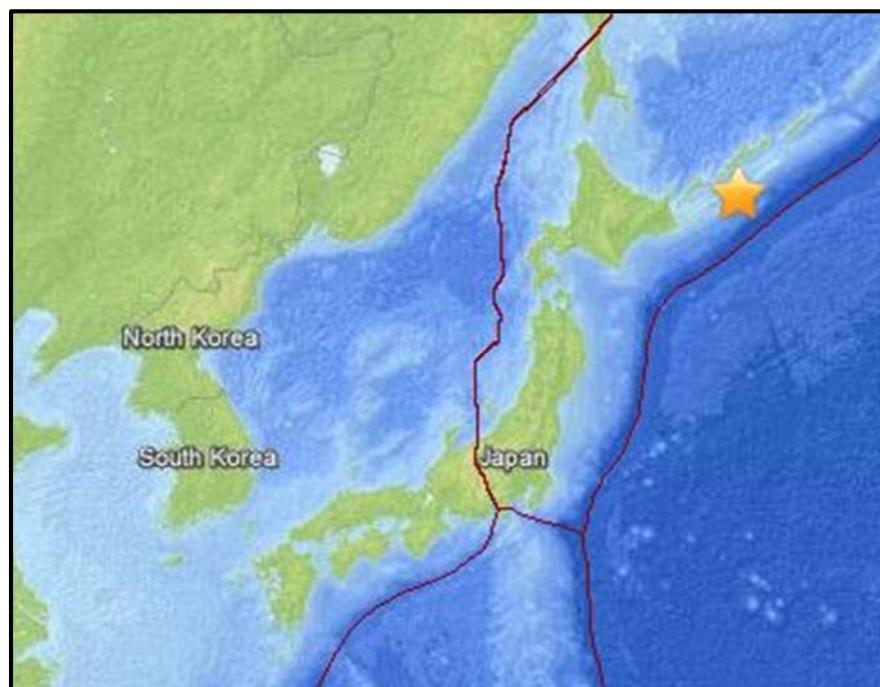


Figura 22: Sismo registrado em Kuril Islands com magnitude 6,4 m_b , pela estação XIN 01 (Fonte: USGS).



Figura 23: Sismo registrado em Southeastern Alasca com magnitude $7,5m_b$ pela estação XIN 01 (Fonte: USGS).

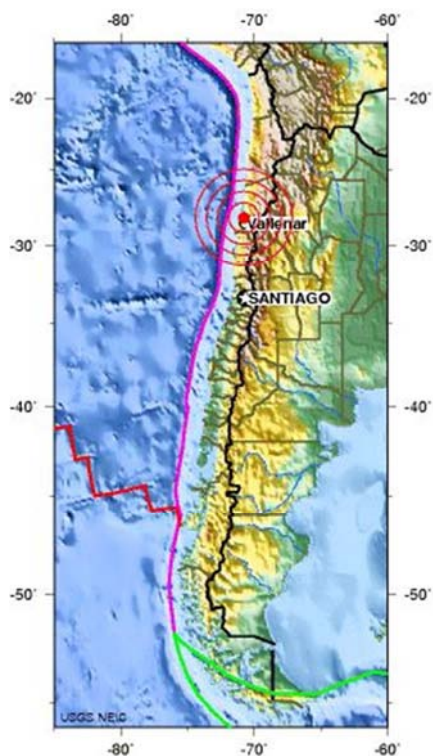


Figura 24: Sismo registrado no deserto do Atacama / Chile com magnitude $6,7m_b$ pela estação XIN 01 (Fonte: USGS).



Figura 25: Sismo registrado na Colômbia com magnitude $6,9_m$ pela estação XIN 01 (Fonte: USGS).

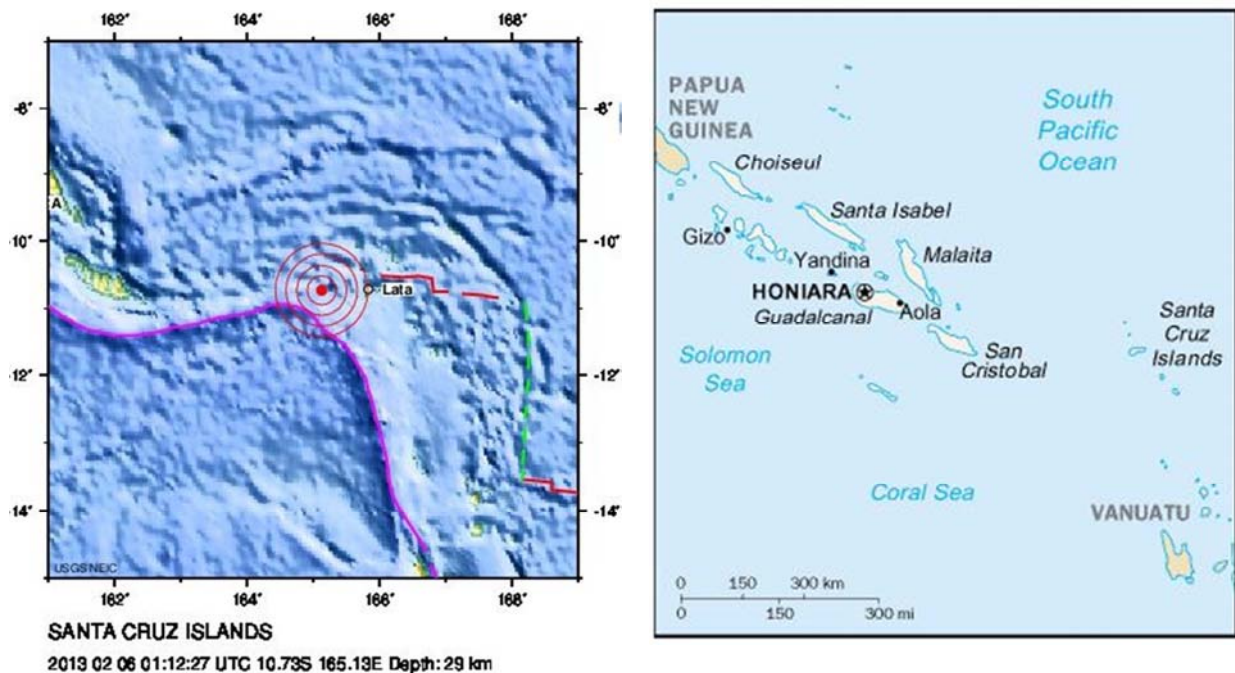



Figura 26: Sismo registrado na Ilha de Santa Cruz no Oceano Pacífico com magnitude $8,0_m$ pela estação XIN 01 (Fonte: USGS).

3. EQUIPE TÉCNICA

TÉCNICOS DE NÍVEL SUPERIOR		
NOME	FUNÇÃO	REGISTRO PROFISSIONAL
Dr. Aderson F. do Nascimento	Coordenador	RG 2347597 SSP/RN
Msc. Eugênio Pires Frazão	Responsável Técnico	CREA-RN 210024686-0
Msc. Anderson Targino Ferreira	Responsável Técnico	CREA/RN 210008956-3
Eduardo A. S. de Menezes	Responsável Técnico	CREA/RN 211083550-8

TÉCNICOS DE NÍVEL MÉDIO		
NOME	FUNÇÃO	REGISTRO PROFISSIONAL
Bruno Pires Frazão	Técnico de Campo	RG 3.461.130 SSP/PA
Flavio Souto da Costa	Técnico de Campo	RG 367221 ITEP/RN

Natal, 01 de Abril de 2013.



Msc. Eugênio Pires Frazão
 Responsável Técnico - Geólogo
 CREA/RN 210024686-0

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FERREIRA, J.M & ASSUMPÇÃO, M. (1983). Sismicidade do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, **1**: 67-88.

FERREIRA, J.M., OLIVEIRA, R.T, ASSUMPÇÃO, M., MOREIRA, J.A.M., PEARCE, R.G. & TAKEYA, M.K. (1995). Correlation of seismicity and water level in the Açú reservoir - an exemple 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 stresses in the northeast Brazil: evidence from focal mechanisms around the Potiguar marginal basin. *Geophys. J. Int.*, **134**: 341-355.

SEEBER, L. & ARMBRUSTER, J. G. (1988). Seismicity along the Atlantic seabord of the U.S.: intraplate neotectonics and earthquake hazard. In: *The Atlantic Continental Margin: U.S., The Geology of North America*. R.E. Sheridan & J.A. Grow (eds.), *Geological Society of America, Boulder*, p. 565-582.

TAKEYA, M.K., FERREIRA, J.M., PEARCE, R.G., ASSUMPÇÃO, M., COSTA, J.M. & SOPHIA, C.M. (1989). The 1986-1987 intraplate earthquake sequence near João Câmara, northeast Brazil - evolution of seismicity. *Tectonophysics*, **167**, 117-131.

ANEXO

