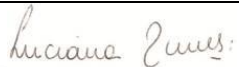



# PROJETO BÁSICO AMBIENTAL UHE TELES PIRES

## P.06 – Programa de Monitoramento da Sismicidade

### Relatório Semestral

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELO DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES DO PROGRAMA			
INTEGRANTES	CONSELHO DE CLASSE	CTF IBAMA	ASSINATURA
Luciana Cabral Nunes Geóloga, M.Sc.	CREA- 50629926484	5287039	
Afonso E. de Vasconcelos Lopes Geofísico, Sismólogo, D.Sc.	-	5286995	

**Fevereiro – 2014**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>02</b>
<b>2. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES</b>	<b>02</b>
<b>3. ESTAÇÕES SISMOGRÁFICAS</b>	<b>03</b>
<b>4. FUNCIONAMENTO DAS ESTAÇÕES SISMOGRÁFICAS</b>	<b>10</b>
<b>5. METODOLOGIA</b>	<b>11</b>
<b>5.1 DETERMINAÇÃO EPICENTRAL</b>	<b>11</b>
<b>5.2 DETERMINAÇÃO DA MAGNITUDE COM A DURAÇÃO DO SISMO (<math>m_D</math>)</b>	<b>13</b>
<b>6. EVENTOS SÍSMICOS REGISTRADOS ENTRE FEVEREIRO DE 2013 E JANEIRO DE 2014</b>	<b>14</b>
<b>6.1 EVENTOS LOCAIS</b>	<b>14</b>
<b>6.2 EVENTOS REGIONAIS</b>	<b>18</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>20</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>22</b>
<b>ANEXO I - Sismogramas de ondas P de telessismos registrados pela estação STP1</b>	<b>23</b>
<b>ANEXO II - Sismogramas de ondas P de telessismos registrados pela estação STP2</b>	<b>36</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O serviço “*Monitoramento Sismográfico na Região do Futuro Reservatório da UHE Teles Pires*” está sendo executado pela empresa **VERACRUZ Soluções Geofísicas e Geológicas Ltda**, e atende ao previsto no P.06 - Programa de Monitoramento da Sismicidade do Projeto Básico Ambiental (PBA). Este programa tem por finalidade auscultar a sismicidade existente na região de influência sísmica da futura barragem da UHE Teles Pires, em um raio de 320 km (200 milhas) com centro na posição da futura barragem, a qual está sendo construída nas coordenadas 9°21’04”S e 56°46’39” O, no rio Teles Pires, na divisa entre os estados do Mato Grosso e Pará.

Esse monitoramento permitirá caracterizar o nível de atividade sísmica na região de estudo no período de pré-enchimento do reservatório, e posteriormente nos períodos de enchimento e pós-enchimento, verificando a existência de eventual atividade sísmica induzida pelo reservatório. Além disso, será possível ampliar o conhecimento da sismicidade regional da região de estudo, que é carente em estações sismográficas.

Neste relatório técnico são documentados os resultados obtidos nas estações sismográficas STP1 e STP2 entre os dias 28 de fevereiro de 2013 e 31 de janeiro de 2014, que são divididos nos Boletins Sismológicos 1 e 2, os quais são apresentados neste relatório.

## 2. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

Em fevereiro de 2013 foi concluída a importação dos equipamentos sismográficos da UHE Teles Pires, e assim que os mesmos chegaram ao Brasil foram testados e enviados para o campo para a instalação. A equipe da VERACRUZ esteve em campo entre os dias 24 de fevereiro e 5 de março para a instalação das estações sismográficas.

Ambas as estações foram instaladas com sucesso e se encontram em operação plena, com um dos melhores equipamentos disponíveis no mundo (fabricante Nanometrics), que é o mesmo padrão adotado pela Universidade de São Paulo. As estações sismográficas foram instaladas com sucesso com alguns meses de antecedência ao previsto, o que permitiu testar os equipamentos e programar com bastante antecedência a instalação do link para transmissão de dados em tempo real, o qual foi feito em janeiro/fevereiro de 2014.

Em fevereiro de 2013 foram analisados os dados novos gerados pelas estações sismográficas, os quais foram integrados aos dados anteriores para a elaboração do presente relatório. A compilação geral dos dados é apresentada no formato de Boletins Sismológicos nos **Anexos I e II**. Esses dados ajudaram a avaliar o nível de ruído de longo prazo para verificar a validade dos locais selecionados, visto que as medidas de ruído sísmicos feitas antes da instalação das estações sismográficas são avaliações de curto prazo (2 horas), não contemplando variações diárias de vibrações sísmicas.

## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

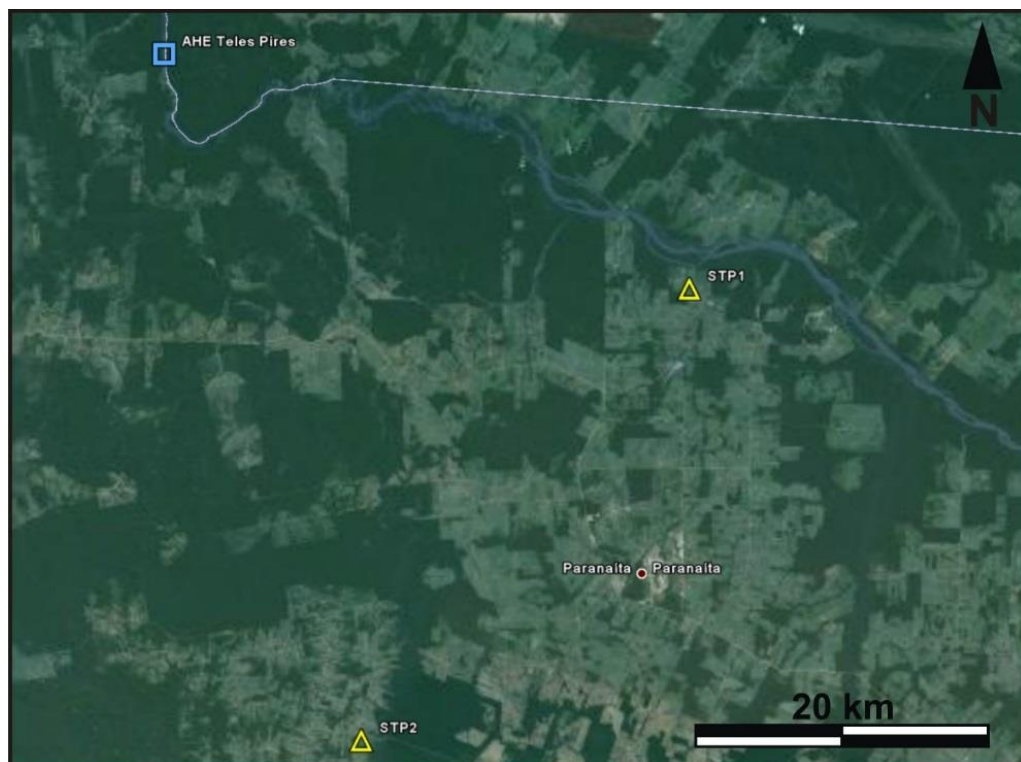
---

O registro dos telessismos não evidenciaram a necessidade de se cobrir os sensores com terra, e essa avaliação será feita novamente após a análise dos primeiros registros feitos pelas estações após as instalações das torres de telemetria. Todos os dados ficam à disposição da Universidade de São Paulo, a qual terá acesso aos dados para a realização de pesquisas sobre a estrutura interna da Terra (até 500 km de profundidade, contemplando crosta e manto superior do planeta) e sobre a atividade sísmica regional do Brasil (Boletim Sísmico Brasileiro).

Além das instalações das antenas de telemetria, sendo uma com mais de 20 metros e a outro com mais de 30 metros de altura, também foram analisadas as primeiras ondas (ondas P) de telessismos distantes com o objetivo de garantir posicionamentos corretos e precisos do norte da estação sismográfica, o qual, embora tenha sido determinado com uma bússola de alta precisão, pode sofrer influência de variações magnéticas das próprias rochas onde se encontram as estações sismográficas.

### 3. ESTAÇÕES SISMOGRÁFICAS

No trabalho de campo de fevereiro de 2013 foram instaladas as duas estações sismográficas do monitoramento sismológico da área de influência sísmico do AHE Teles Pires. Essas estações sismográficas foram nomeadas como Estação Sismográfica UHE Teles Pires 1 (STP1) e Estação Sismográfica da UHE Teles Pires 2 (STP2). Na **Figura 1** são mostradas as posições de ambas as estações.



**Figura 1** – Localização das estações sismográficas STP1 e STP2.

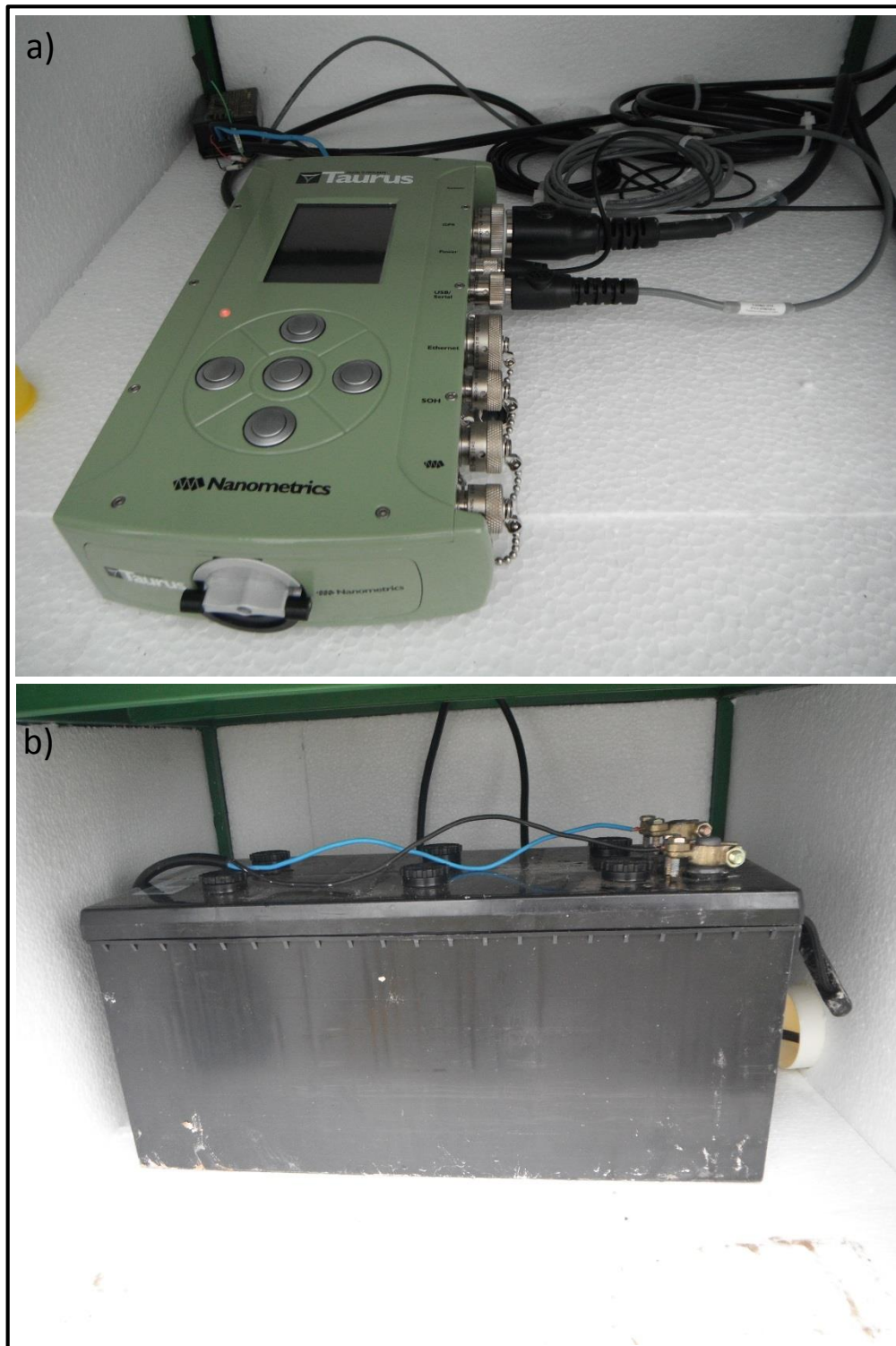
## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

A estação **STP1** está localizada na Fazenda Candinho, próxima ao rio Teles Pires, e foi instalada sobre uma rocha aflorante que pode não ser parte do embasamento, visto que é difícil encontrar rocha de embasamento sã na região de estudo. Essa estação fica nas coordenadas **9,49782° Sul e 56,44995° Oeste** (SAD69). Detalhes da estação STP1 podem ser vistos nas **Figuras 2, 3 e 4**, em que são mostrados cada uma das partes da estação.



**Figura 2** – Estação Sismográfica UHE Teles Pires 1 (STP1) na Fazenda Candinho, próxima ao rio Teles Pires. a) vista geral da estação e da cerca de proteção. b) vista do interior do abrigo do registrador, revestido com isopor para isolamento térmica parcial. Na prateleira de cima se encontra o registrador (peça verde) e o GPS, e na prateleira de baixo a bateria da estação, a qual é recarregada por um painel solar que se encontra sobre o abrigo do registrador.

P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



**Figura 3** – Estação Sismográfica UHE Teles Pires 1 (STP1) na Fazenda Candinho, próxima ao rio Teles Pires. Em a) é mostrado o registrador e em b) bateria da estação.

P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



**Figura 4** – Estação Sismográfica UHE Teles Pires 1 (STP1) na Fazenda Candinho, próxima ao rio Teles Pires. a) vista geral do abrigo do sensor (sismômetro). b) vista interna do abrigo do sensor com o sismômetro já instalado. O sensor deve sempre estar nivelado com o chão (isso é feito com o auxílio de uma bolha) e direcionado para o Norte, sendo que a direção do Norte deve ser obrigatoriamente corrigida com dados de sismos distantes.

## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

A estação **STP2** está localizada no assentamento São Pedro, próxima ao rio Paranaíta, e foi instalada sobre uma rocha aflorante que da mesma forma que na STP1 pode não ser parte do embasamento. Essa estação fica nas coordenadas **9,77499° Sul e 56,65619° Oeste (SAD69)**. Detalhes da estação STP2 podem ser vistos na **Figura 5**, na qual são mostradas as fotos das estações junto com as placas de identificação instaladas posteriormente pela equipe do AHE Teles Pires.

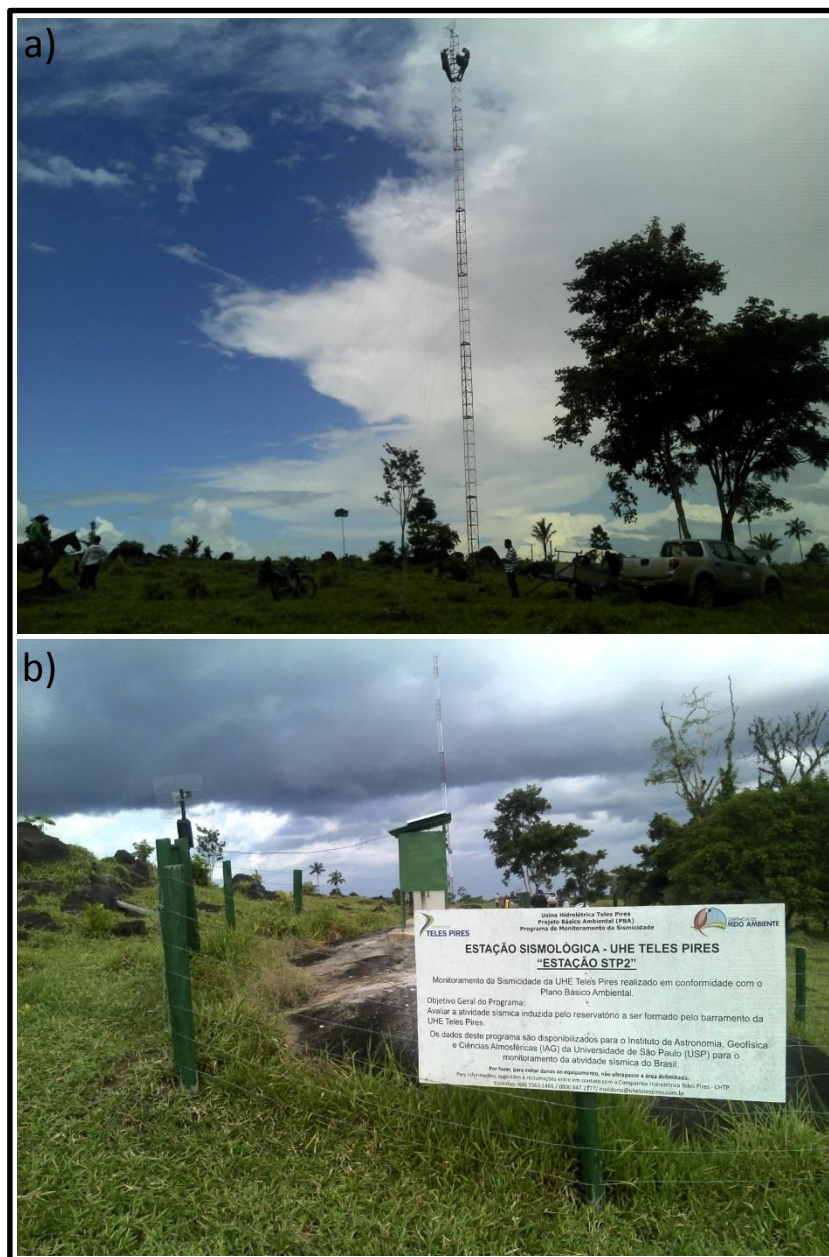


**Figura 5** – Visão geral das estações sísmográficas a) STP1 e b) STP2 após a instalação das placas de identificação.



## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

Em fevereiro de 2014 foram instaladas as antenas de transmissão de dados telemétricos das estações STP1 e STP2. As antenas tiveram que ser posicionadas distantes das estações sismográficas para não gerar ruídos nas mesmas, havendo necessidade de um segundo enlace telemétrico entre as torres e as respectivas estações sismográficas, o que está sendo feita com um roteador wireless. A antena da estação STP1 possui 24 metros de altura, enquanto que a estação STP2 possui 36 metros de altura. Na **Figura 6** são mostradas fotos ilustrativas do processo de instalação da torre da estação sismográfica STP2.



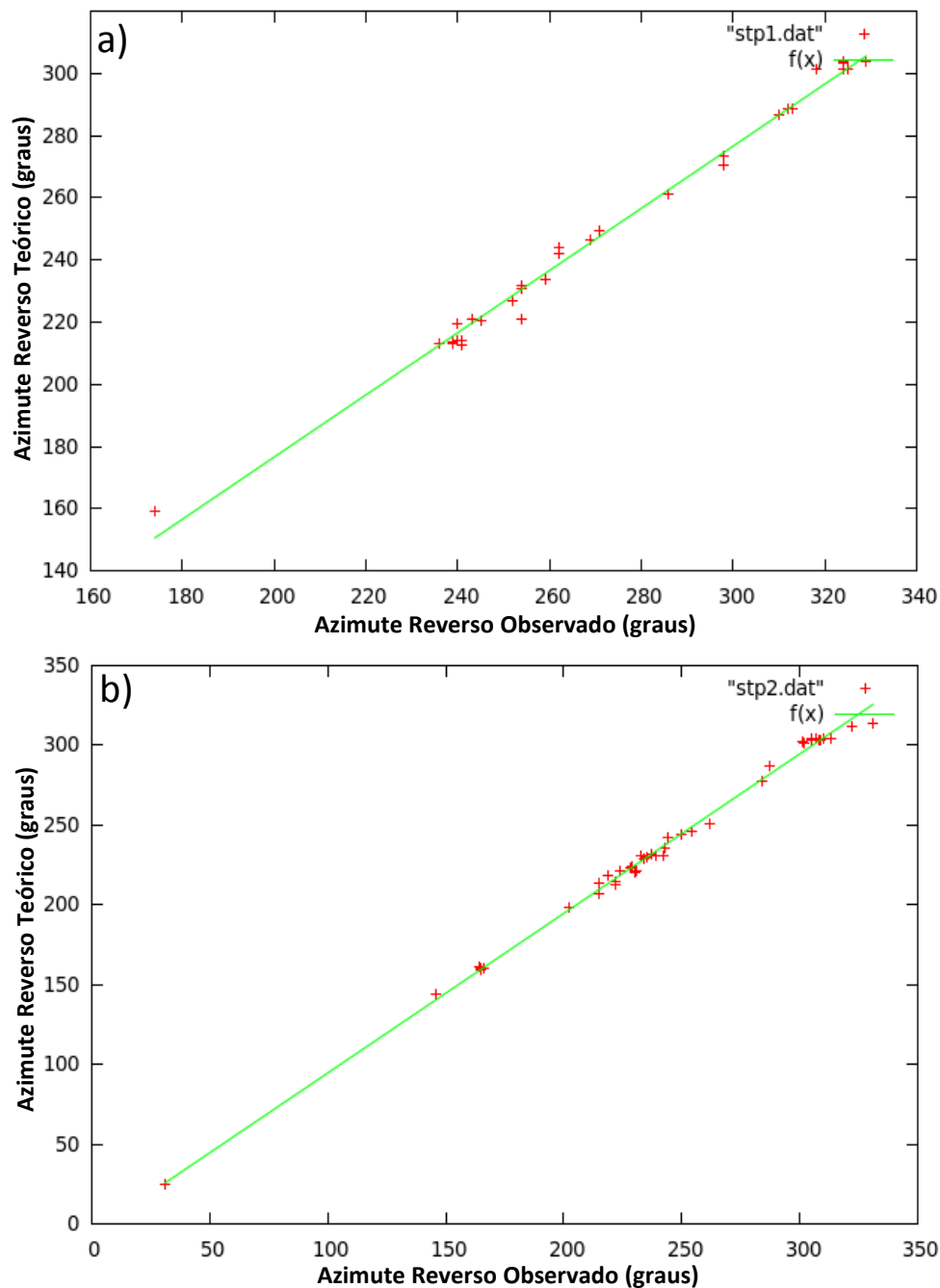
**Figura 6** – Visão geral a) da torre de recepção de dados por internet local e b) da torre com a estação sismográfica. A Torre teve que ser instalada um pouco distante da estação sismográfica devido a possíveis ruídos que poderiam ser gerados pela mesma. É utilizado um segundo enlace telemétrico para enviar os dados da estação para o link de internet da torre.

P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

Na **Figura 7** são mostrados os gráficos de ajuste do azimuth das estações STP1 e STP2 para algumas dezenas de telessismos, ajudando a determinar com precisão as correções a serem aplicadas matematicamente aos azimuthes reversos determinados em cada estação, conforme mostrado abaixo:

$$\text{Azimite Reverso Observado}_{STP1} = \text{Azimite Reverso Teórico}_{STP1} - 23,42$$

$$\text{Azimite Reverso Observado}_{STP2} = \text{Azimite Reverso Teórico}_{STP2} - 5,36$$



**Figura 7** – Gráficos de comparação entre os azimuthes reversos observados (eixo X) e teóricos (eixo Y) das estações a) STP1 e b) STP2.

#### 4. FUNCIONAMENTO DAS ESTAÇÕES SISMOGRÁFICAS

As estações sismográficas STP1 e STP2 foram parametrizadas para a realização de registros contínuos (24 horas por dia, sem interrupção) da velocidade do chão, fazendo 100 medidas dessa velocidade a cada segundo (taxa de amostragem de 100 Hz). Como se pode ver na **Figura 8**, a estação SPT1 funcionou de forma plena desde o dia 28.02.2013 até o dia 31.01.2014, que é a data de referência do presente relatório. Neste período a eficiência de registro foi próxima de 96,0%. Da mesma forma, a estação STP2 funcionou de forma plena desde dia 03.03.2013 até o dia 31.01.2014, tendo desempenho de registro de 84,5%.



**Figura 8** - Gráficos de funcionamento da estação STP1 com destaque em cores para o funcionamento de cada componente da estação (Vertical em vermelho, Norte-Sul em verde, e Leste-Oeste em azul). Os números abaixo dos traços representam o dia e o mês de funcionamento.

P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

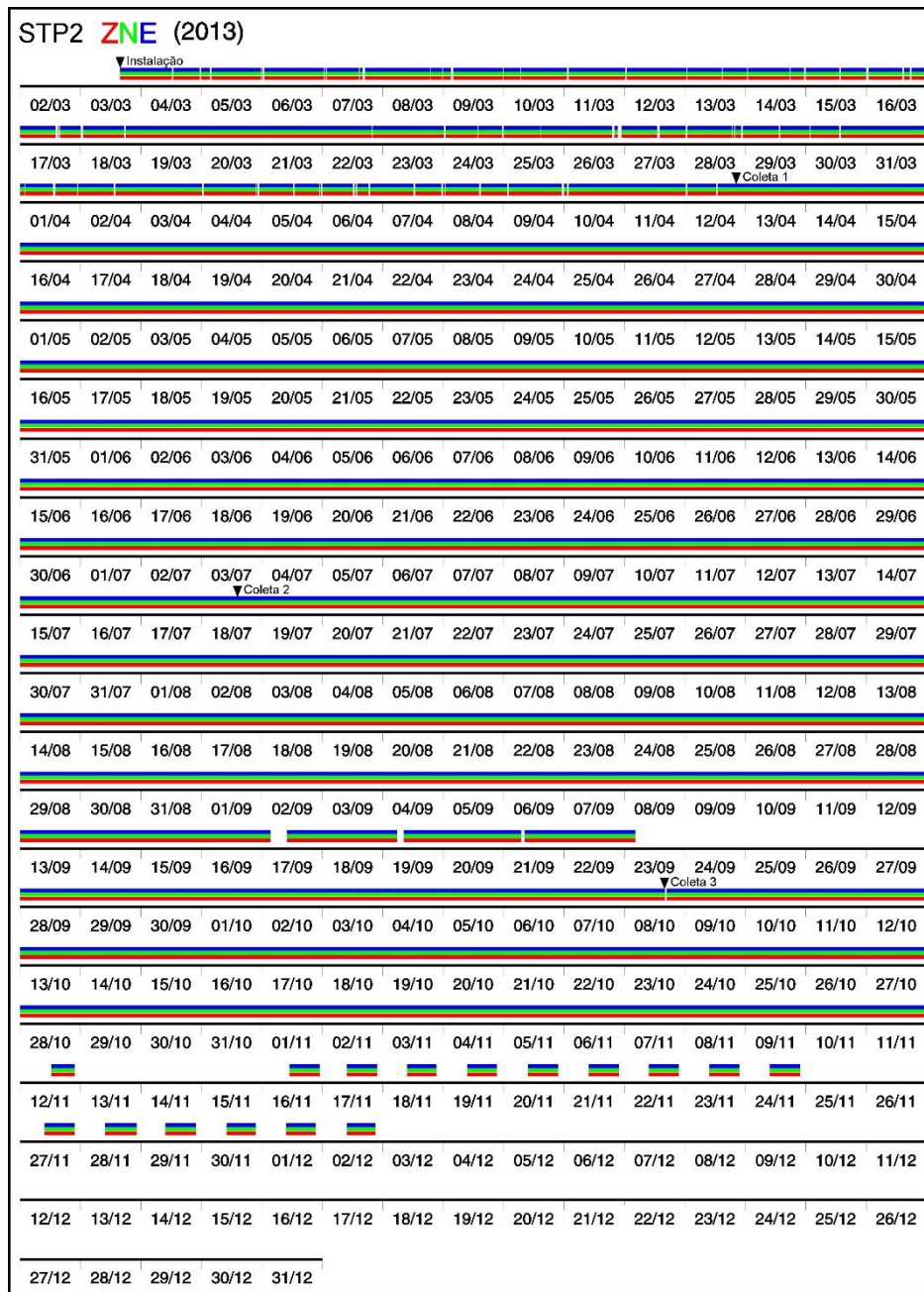


Figura 9 - Gráficos de funcionamento da estação STP2 com destaque em cores para o funcionamento de cada componente da estação (Vertical em vermelho, Norte-Sul em verde, e Leste-Oeste em azul). Os números abaixo dos traços representam o dia e o mês de funcionamento.

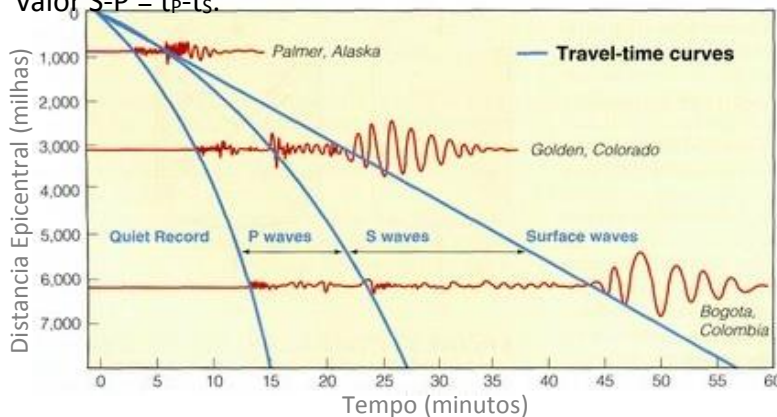
## 5. METODOLOGIA

### 5.1 DETERMINAÇÃO EPICENTRAL

Considerando que um sismo tenha uma profundidade focal pequena (que possa ser negligenciada com relação a distância epicentral do mesmo) e que as primeiras ondas P e S que chegam à estação são ondas diretas, podemos estimar a distância epicentral (neste caso,

## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

igual à distância hipocentral) utilizando a diferença de tempo entre as chegadas das ondas P e S. Como a velocidade da onda P ( $V_P$ ) é maior que a da onda S ( $V_S$ ), quanto maior à distância epicentral, maior a distância entre essas duas ondas (veja **Figura 10**), de forma que existe uma relação direta entre a distância hipocentral (neste caso igual a distância epicentral) e o valor  $S-P = t_P - t_S$ .



**Figura 10** – Seção sísmica ilustrando que o valor de S-P aumenta com a distância epicentral. No nosso caso iremos estudar apenas a parte linear das curvas, para distâncias hipocentrais menores que 500 km.

Como as ondas P e S percorrem a mesma distância hipocentral ( $\Delta$ ), podemos escrever que:

$$\Delta_P = \Delta_S \quad (5.1)$$

No caso de ondas P e S diretas, geradas por um sismo raso, temos:

$$V_P = \frac{\Delta_P}{t_P - t_0} \quad \rightarrow \quad \Delta_P = V_P (t_P - t_0) \quad (5.2)$$

$$V_S = \frac{\Delta_S}{t_S - t_0} \quad \rightarrow \quad \Delta_S = V_S (t_S - t_0) \quad (5.3)$$

Substituindo as Equações (4.2) e (4.3) na equação (4.1), temos:

$$V_P (t_P - t_0) = V_S (t_S - t_0) \quad (5.4)$$

Com isso, o primeiro item a ser determinado é qual é a hora de origem do sismo ( $t_0$ ), dada por:

$$t_0 = \frac{V_S t_S - V_P t_P}{V_S - V_P} \quad (5.5)$$

Substituindo a Equação (4.5) na Equação (4.2), temos:

$$\Delta = \Delta_P = V_P (t_P - t_0) = V_P \left( t_P - \frac{V_S t_S - V_P t_P}{V_S - V_P} \right) = V_P \left( \frac{V_S t_P - V_P t_P - V_S t_S + V_P t_P}{V_S - V_P} \right) \quad (5.6)$$

$$\Delta = V_P \left( \frac{V_S t_P - V_S t_S}{V_S - V_P} \right) = \left( \frac{V_P V_S}{V_S - V_P} \right) t_P - t_S \quad (5.7)$$

Como um dos parâmetros que conhecemos bem nas rochas é a razão  $V_P/V_S$  (em geral perto do valor 1,73), divide-se a equação (4.7) por  $V_S$  para que possamos reescrevê-la da seguinte forma:

$$\Delta = \left( \frac{V_P}{1 - \frac{V_P}{V_S}} \right) t_P - t_S = C_E * (S - P) \quad (5.8)$$

Note que enquanto as ondas P e S forem diretas,  $C_E$  será um valor constante que depende apenas da velocidade da onda P ( $V_P$ ) e da razão  $V_P/V_S$ .

Com base nos dados geológicos disponíveis, adotamos os seguintes valores de  $C_E$  para a região do AHE Teles Pires:

$$C_E = 5,5 \quad \text{para } (S - P) < 3 \text{ seg.} \quad (5.9)$$

$$C_E = 7,1 \quad \text{para } 3 \text{ seg.} \leq (S - P) < 6 \text{ seg.} \quad (5.10)$$

$$C_E = 8,13 \quad \text{para } 6 \text{ seg.} \leq (S - P) < 12 \text{ seg.} \quad (5.11)$$

$$C_E = 11,2 \quad \text{para } (S - P) \geq 12 \text{ seg.} \quad (5.12)$$

A profundidade focal não pode ser estimada com apenas uma estação sismográfica, mas a existência ou não de ondas de superfície pode ajudar a indicar o valor máximo da profundidade focal, que deve ser menor que 10% da distância epicentral.

## 5.2 DETERMINAÇÃO DA MAGNITUDE COM A DURAÇÃO DO SISMO ( $M_D$ )

A magnitude de um sismo é utilizada para comparar a amplitude do movimento do chão produzida por diferentes sismos, porém, algumas relações empíricas mostram que esse parâmetro também pode ser relacionado com a energia liberada pelo evento sísmico. O princípio básico da escala magnitude é que seus valores dependem do logaritmo da amplitude do movimento do chão, de maneira que o aumento de um ponto na escala de magnitude corresponde a um aumento de 10 vezes nas amplitudes do movimento do chão.

A primeira escala de magnitude de sismos ( $M_L$ ) foi desenvolvida por Richter e se aplicava apenas para sismos do Sul da Califórnia. Posteriormente, a escala de magnitude foi desenvolvida para outras distâncias para aplicação mundial, sendo que as duas principais escalas são as  $m_b$  (medida com a onda P) e  $M_s$  (medida com as ondas de superfície). Embora a sismologia tenha evoluído muito na determinação da magnitude dos sismos, ainda hoje há uma grande dificuldade em se determinar a magnitude de sismos locais.

Uma alternativa para o estudo de sismos locais é a utilização da magnitude  $M_D$ , que é determinada com a duração (D) do sismo, indo desde a chegada da onda P até o final das ondas de cauda. Essa escala de magnitude é baseada no conceito de retro-espalhamento (*backscattering*) proposto por **Aki (1969)** e demonstrado com dados experimentais por **Aki & Chouet (1975)**. Esses autores propõem que a duração dos sismos locais, com menos de 100 km de distância epicentral, é praticamente independente da distância epicentral e do azimute do sismo. Essa característica permite usar a duração dos sismos (D) como um

parâmetro eficiente para estimar a magnitude de eventos sísmicos locais com a relação proposta por **Bath (1981)** para a magnitude  $M_D$  de sismos rasos de pequenas magnitudes:

$$M_D = a \log D + c \quad (5.13)$$

Na **Equação 5.13** a variável  $D$  é a duração do sinal em segundos e  $a$  e  $c$  são constantes ajustadas para a rede sismográfica local. Neste ponto é importante salientar que um dos maiores problemas da escala de magnitude  $M_D$  é que a mesma depende da geologia local, e por isso essa magnitude deve ser calibrada para cada estação sismográfica.

Para calibrar a escala de magnitude  $M_D$  é necessário que ocorra um sismo forte, registrado simultaneamente por uma estação sismográfica local e por uma estação sismográfica regional, porém, para isso em geral é necessário um longo período de registros sismográficos. Desta forma, devido à falta de informação para calibração da escala de magnitude  $M_D$ , inicialmente iremos adotar para a região do AHE Teles Pires os parâmetros determinados por **Berrocal et al. (1993)** para a região de Angra dos Reis-RJ, permitindo definir a magnitude  $M_D$  com as seguintes equações:

$$M_D = 1.71(\pm 0.06) \log D - 0.73(\pm 0.07) \quad \text{Quando } D > 10 \text{ seg.} \quad (5.14)$$

$$M_D = 0.7 \log D + 0.5 \quad \text{Quando } D \leq 10 \text{ seg.} \quad (5.15)$$

## 6. EVENTOS SÍSMICOS REGISTRADOS PELAS ESTAÇÕES STP1 e STP2 ENTRE FEVEREIRO DE 2013 E JANEIRO DE 2014

As estações sismográficas STP1 e STP2 operaram no período planejado e registraram eventos sísmicos locais, regionais e telessismos distantes, sendo que apenas uma fração de eventos possui possível origem natural, e a maioria são explosões em pedreiras e na própria obra do AHE Teles Pires.

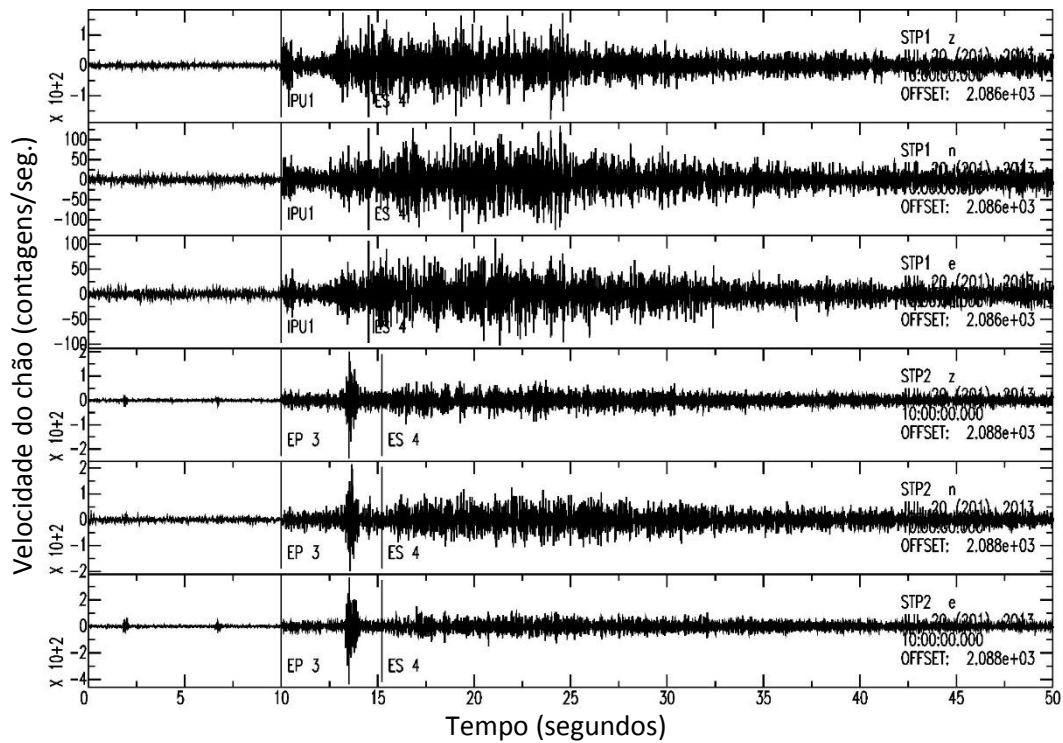
Os dados analisados foram divididos em duas partes (sismos locais e regionais) que são apresentadas a seguir.

### 6.1 EVENTOS LOCAIS

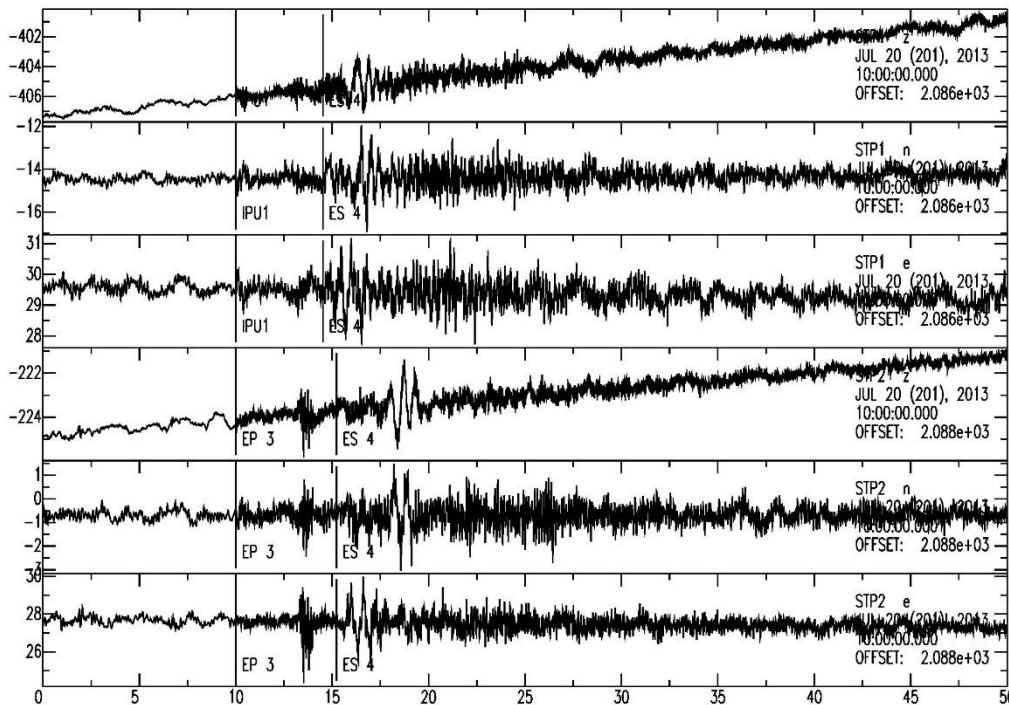
As estações sismográficas STP1 e STP2 registraram apenas 71 eventos sísmicos locais adicionais aos 138 apresentados no último relatório semestral, sendo que todos foram classificados como explosões realizadas na obra (. Os eventos sísmicos locais, incluindo as explosões, são os de maior importância para o presente estudo e são apresentados no **Anexo I**. Os eventos sísmicos regionais naturais também foram analisados, porém com menor destaque e são catalogados apenas para eventuais futuros trabalhos de cunho acadêmico.

Os sismogramas dos eventos sísmicos permitiram classificar quase que a totalidade dos eventos sísmicos como sendo possíveis explosões (e.g. **Figuras 11 e 12**), sendo que a totalidade dos eventos sísmicos são explosões realizadas nas obras do AHE Teles Pires.

P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



**Figura 11** – Explosão local registradas estações SPT1 e STP2 no dia 20 de julho de 2013. Sismogramas sem filtragem e com amplitudes em velocidade do chão.



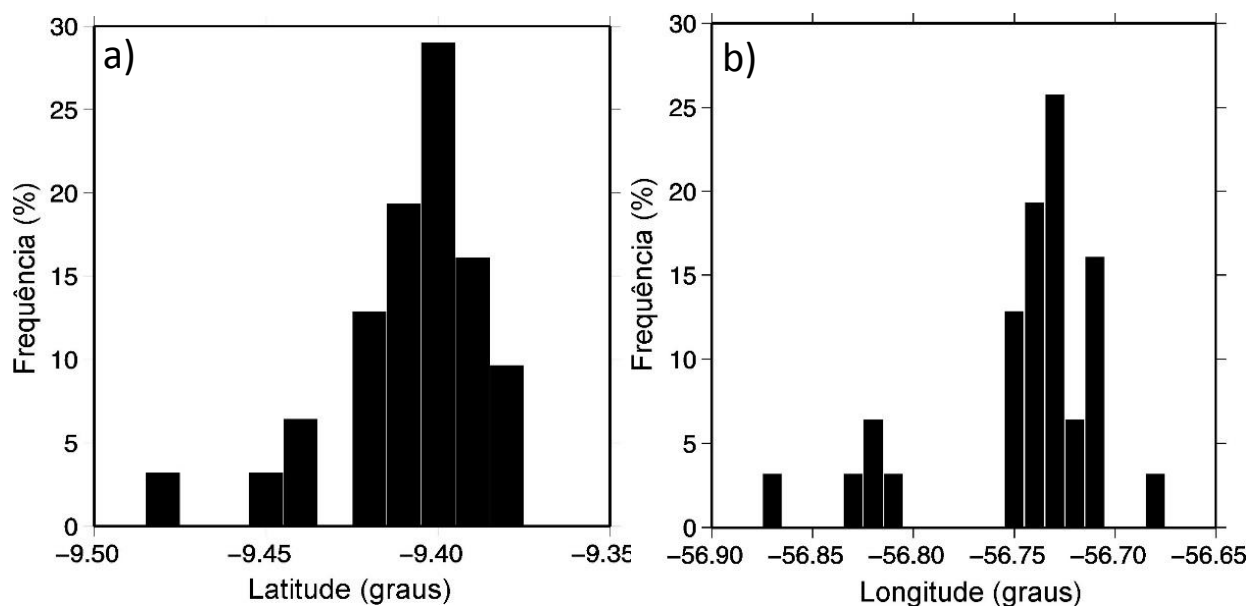
**Figura 12** – Sismogramas da mesma explosão local apresentada na **Figura 9**, porém, com aplicação de filtro e integração do sinal para transformar as amplitudes do sismograma no deslocamento do chão.



## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

Na **Figura 13** são mostrados os histogramas dos eventos sísmicos locais para os valores de latitude e longitude, indicando que os eventos tem origem na obra do AHE Teles Pires, sendo as explosões realizadas na obra com horário aproximadamente comum e magnitude proporcional ao esperado para explosões.

As coordenadas dos eventos são ligeiramente diferentes dos locais onde são realizadas as explosões da obra, indicando que o modelo de velocidades das ondas sísmicas adotada pode ser melhorada para que os resultados sejam compatíveis com os epicentros conhecidos das explosões. O ajuste do modelo de velocidade das ondas sísmicas será realizado nos próximos meses e apresentado no próximo relatório semestral.



**Figura 13** – Histogramas das (a) latitudes e (b) longitudes dos epicentros dos eventos sísmicos locais determinados com o programa HYPO71.

Os eventos sísmicos inéditos registrados pelas estações sismográficas STP1 e STP2 são apresentados na **Tabela 1**. O período anterior ao dia 19 de julho de 2013 foi apresentado no último relatório semestral, sendo omitido da presente análise.

Do ponto de vista geral, a atividade sísmica local vem se mostrando inexistente até o momento, sendo um ótimo comparativo para o período de enchimento e pós-enchimento do futuro reservatório.

## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

**Tabela 1** – Eventos sísmicos locais registrados pelas estações STP1 e STP2. O horário de origem dos eventos é dado no horário universal (UTC, *Universal Time Clock*) e a distância epicentral é dada em função da estação sismográfica mais próxima ao evento sísmico.

N	Data	Horário de origem (UTC)	Distância (km)	Mag. (Mb)	Latitude (°)	Longitude (°)
01	19/07/2013	10:27:53	31,20	2,4	-9,407	-56,737
02	20/07/2013	10:34:50	32,30	2,4	-9,417	-56,739
03	21/07/2013	10:10:43	32,30	2,4	----	----
04	22/07/2013	17:46:19	53,10	2,3	-9,376	-56,866
05	23/07/2013	10:33:52	28,60	1,8	----	----
06	23/07/2013	10:34:35	33,50	2,4	-9,036	-56,748
07	24/07/2013	10:24:25	28,80	2,1	-9,418	-56,723
08	25/07/2013	10:26:49	31,60	1,5	----	----
09	25/07/2013	10:27:11	31,40	2,4	----	----
10	26/07/2013	10:12:54	40,90	2,6	----	----
11	27/07/2013	10:17:03	37,20	2,6	----	----
10	27/07/2013	10:31:48	30,00	2,0	----	----
11	28/07/2013	10:16:25	37,50	2,4	----	----
12	29/07/2013	18:58:33	53,40	2,0	----	----
13	31/07/2013	10:16:51	51,10	2,3	----	----
11	01/08/2013	10:19:30	29,80	2,0	-9,385	-56,735
12	02/08/2013	10:14:51	29,90	1,8	-9,410	-56,730
13	02/08/2013	10:15:36	32,20	2,1	----	----
14	02/08/2013	20:01:00	37,50	2,4	-9,413	-56,810
15	03/08/2013	10:31:25	32,70	2,2	-9,403	-56,742
16	04/08/2013	10:28:09	30,70	2,2	-9,413	-56,730
17	06/08/2013	10:09:56	30,00	2,3	-9,445	-56,708
18	07/08/2013	10:13:24	30,10	2,4	-9,439	-56,709
19	08/08/2013	10:10:26	28,10	2,2	-9,480	-56,681
20	09/08/2013	10:21:41	30,80	2,3	-9,404	-56,734
21	10/08/2013	10:29:19	30,00	2,3	----	----
21	11/08/2013	10:10:51	30,00	2,4	-9,437	-56,715
22	12/08/2013	17:32:07	38,70	2,1	-9,400	-56,825
23	13/08/2013	10:17:47	30,00	2,4	-9,402	-56,732
24	14/08/2013	10:21:16	29,80	2,2	-9,414	-56,726
25	15/08/2013	10:28:40	29,20	2,3	-9,404	-56,730
26	16/08/2013	10:32:41	29,90	2,0	----	----
27	16/08/2013	10:52:07	30,10	2,3	-9,400	-56,737
28	17/08/2013	10:17:21	28,10	2,1	-9,419	-56,713
29	18/08/2013	10:08:32	40,30	2,5	----	----
30	20/08/2013	19:24:18	52,60	2,0	----	----
29	22/08/2013	10:32:53	34,30	2,0	-9,392	-56,752
30	22/08/2013	10:33:36	29,50	2,3	----	----
31	23/08/2013	10:24:38	29,10	2,4	-9,398	-56,720
32	24/08/2013	15:06:48	51,50	2,2	----	----
33	24/08/2013	10:22:38	36,30	1,3	----	----
34	24/08/2013	10:22:56	29,80	2,2	----	----
35	28/08/2013	10:24:56	33,00	2,6	-9,381	-56,748
34	29/08/2013	10:14:54	36,40	2,3	----	----
35	30/08/2013	10:15:13	30,80	1,6	----	----

## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

N	Data	Horário de origem (UTC)	Distância (km)	Mag. (Mb)	Latitude (°)	Longitude (°)
36	30/08/2013	21:20:21	36,40	1,8	----	----
35	01/09/2013	10:22:29	29,80	2,5	-9,398	-56,727
36	03/09/2013	16:47:34	38,70	2,3	-9,392	-56,823
37	04/09/2013	10:14:39	29,60	2,1	-9,404	-56,733
38	04/09/2013	16:38:20	39,70	2,1	-9,394	-56,827
39	05/09/2013	10:26:30	28,90	2,4	-9,416	-56,712
40	07/09/2013	10:25:27	40,80	2,5	----	----
40	08/09/2013	10:06:18	29,20	1,7	----	----
41	08/09/2013	10:06:49	27,40	2,3	----	----
42	10/09/2013	10:26:35	34,90	2,3	----	----
40	12/09/2013	10:33:29	33,00	2,5	-9,378	-56,751
41	13/09/2013	10:13:47	32,30	2,4	-9,410	-56,740
42	17/09/2013	14:44:05	28,50	2,1	----	----
43	22/09/2013	13:40:55	28,80	2,3	----	----
50	29/09/2013	10:13:25	35,20	2,5	----	----
51	01/10/2013	10:10:31	27,90	1,5	----	----
52	02/10/2013	10:19:33	28,00	2,1	----	----
53	03/10/2013	19:55:29	29,90	1,8	----	----
54	04/10/2013	10:18:23	28,30	2,1	----	----
55	05/10/2013	10:22:18	28,30	2,4	----	----
56	06/10/2013	10:55:18	28,00	2,6	----	----
57	08/10/2013	10:12:12	29,70	2,0	----	----
58	08/10/2013	10:13:00	31,00	1,9	----	----
59	09/10/2013	10:19:49	34,70	2,5	----	----
60	15/10/2013	10:11:35	32,00	2,0	----	----
61	16/10/2013	10:17:22	34,00	1,9	----	----
62	17/10/2013	10:12:43	34,00	2,1	----	----
63	21/10/2013	10:20:07	35,00	2,0	----	----
64	22/10/2013	10:28:32	34,00	2,2	----	----
65	23/10/2013	10:41:30	32,00	2,1	----	----
66	24/10/2013	10:13:51	31,00	1,9	----	----
67	29/10/2013	10:12:14	37,00	2,0	----	----
68	30/10/2013	10:20:20	40,00	1,8	----	----
69	31/10/2013	10:16:43	31,00	1,9	----	----
70	05/11/2013	10:15:05	32,00	2,0	----	----
71	20/11/2013	09:46:05	40,10	2,1	----	----

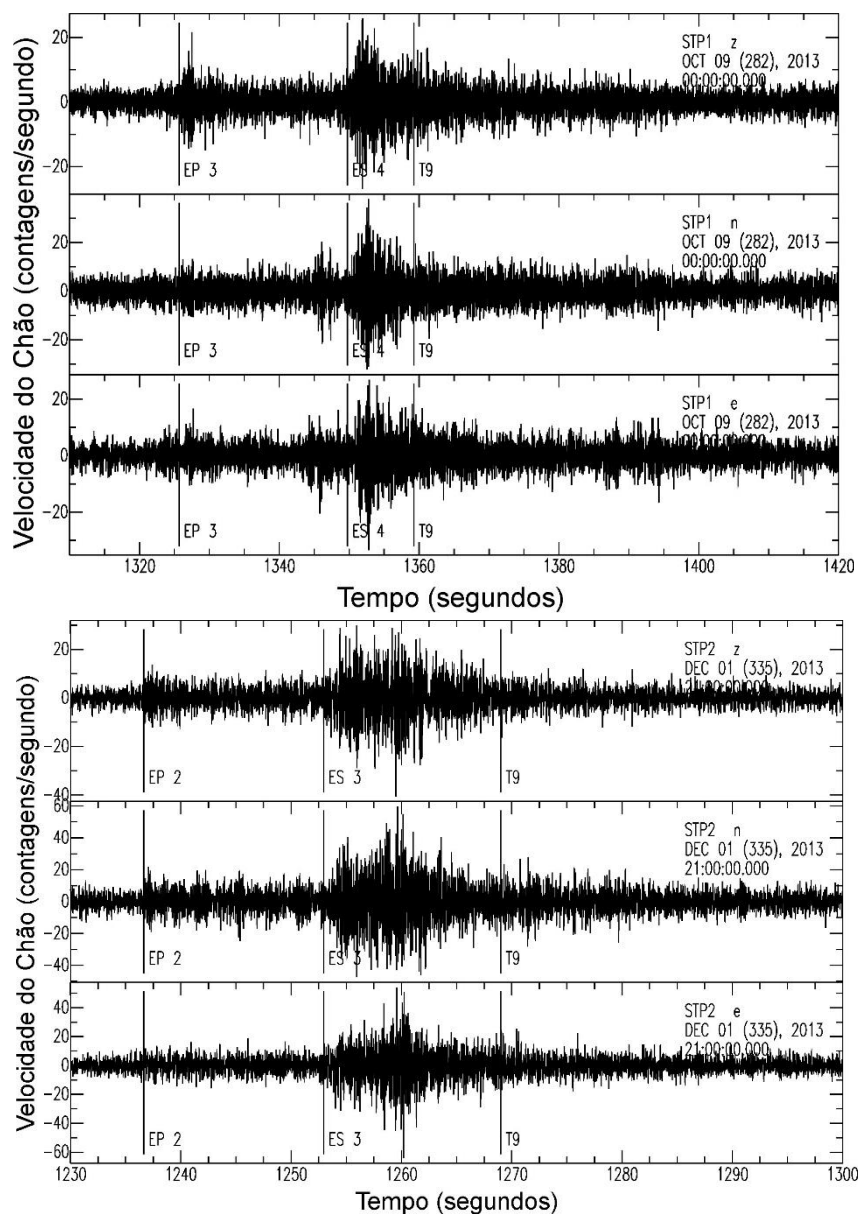
### 6.2 EVENTOS REGIONAIS

As estações sismográficas STP1 e STP2 registraram poucos eventos sísmicos com distâncias regionais (distâncias entre 100 e 1.000 km), sendo que a totalidade dos eventos tem características de explosões realizadas em pedreiras e em outros tipos de jazidas minerais (e.g. forma de onda; horário de ocorrência, etc). A atividade sísmica na região de influência sísmica (região delimitada pelo raio de 320 km com centro na futura barragem) foi muito menor que o esperado, sendo que no período monitorado foi praticamente nula em termos de eventos sísmicos naturais, que são o interesse deste programa.

## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

As estações STP1 e STP2, juntamente com outras estações da VERACRUZ e da Universidade de Brasília na região Amazônica, vem confirmando que a atividade sísmica nesta região é relativamente pequena, conforme caracterizado pelo Boletim Sísmico Brasileiro. A continuidade dos estudos sismológicos nessa região nos mostraram se essa observação é constante no tempo ou não, sendo importante na ampliação do conhecimento sobre a atividade sísmica dessa região quase inexplorada em termos geofísicos.

Na **Figura 14** são mostrados exemplos de sismogramas de eventos sísmicos regionais registrados pelas estações STP1 e STP2.



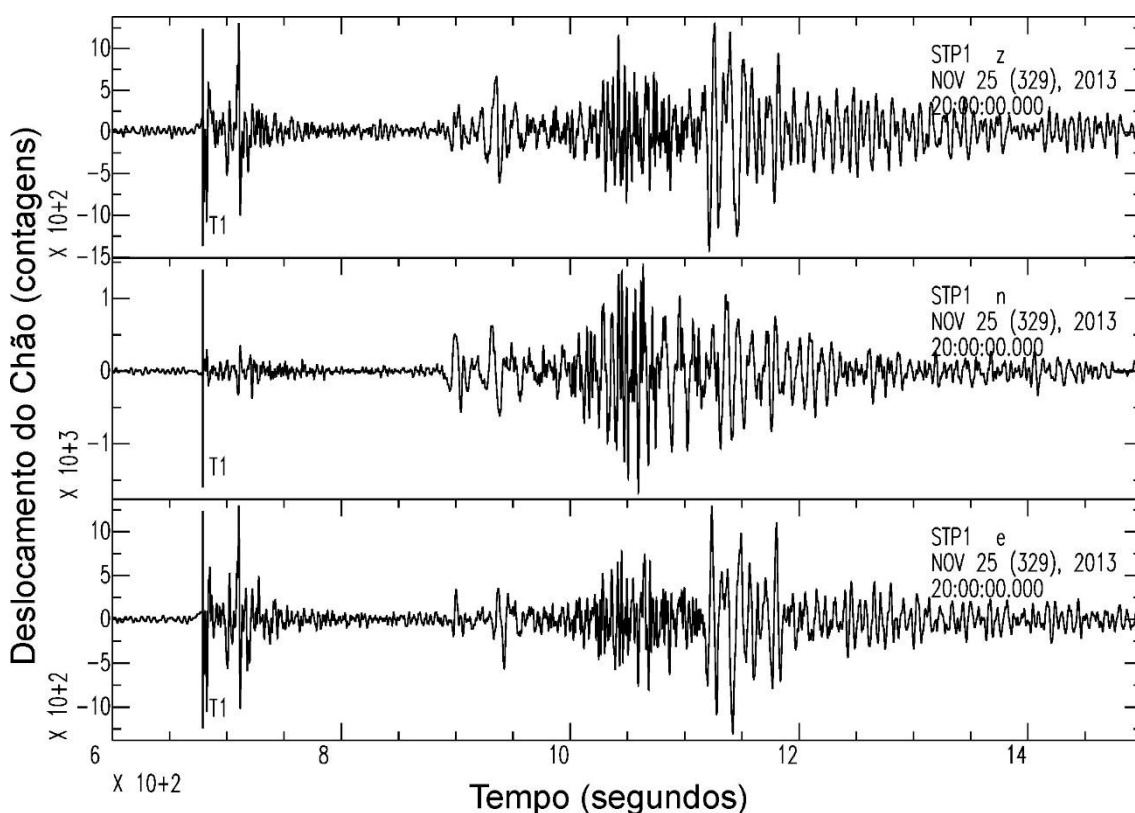
**Figura 14** – Exemplos de sismogramas de eventos sísmicos regionais registrados pelas estações a) STP1 e b) STP2. Além de possuírem características de explosões, os mesmos estão próximos ao nível de ruído, sendo eventos pouco importantes para o estudo.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aquisição de dados sismográficos do serviço de monitoramento sismológico da região da futura UHE Teles Pires foi iniciado de forma plena com a instalação, início de operação e coletas de dados das estações sismográficas STP1 e STP2.

O comissionamento dos equipamentos foi concluído com sucesso e as estações sismográficas estão em pleno funcionamento, apresentando algumas descontinuidades de registro do final do ano de 2013. Os problemas com ambas estações ocorreu devido a um problema de fabrica dos controladores de carga que carregam as baterias com a energia produzida pelo painéis solares. Os controladores de carga de ambas as estações foram substituídos e as baterias trocadas de forma preventiva, e as estações se encontram em funcionamento pleno.

Com relação a região de interesse, ambas as estações estão registrando apenas explosões locais realizadas na obra, e tanto em termos locais (<100 km) como regionais (entre 100 km e 1.000 km) evidenciam um baixo nível de atividade sísmica. Com relação a qualidade dos registros, os mesmos são excelentes, o que pode ser ilustrado pelo sismograma de um tele-sismo apresentado na **Figura 15**.



**Figura 15** – Telesismo distante registrado pela estação STP1 da UHE Teles Pires.

Além do presente programa evidenciar uma atividade sísmica regional abaixo do esperado inicialmente, o mesmo não identificou sismos na Zona Sismogênica de Porto dos Gaúchos,

## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

---

que embora esteja fora da área de influência sísmica teórica, é uma das zonas sismogênicas importantes da região.

As análises das consistência das direções das estações sismográficas com os telessismos distantes foram concluídas de forma plena. Os dados utilizados nessas análises são mostrados nos **Anexos I e II**.

A transmissão de dados em tempo real foi concluída com atraso devido a escolha do sistema de transmissão e a necessidade de construção de longas antenas para a transmissão de dados (uma com mais de 20 metros e outra com mais de 30 metros de altura). Devido a essa altura, optou-se em fazer dois enlaces telemétricos, sendo um principal e um secundário entre a torre e a estação sismográfica, evitando assim os ruídos produzidos pelas torres em suas imediações mais próximas.

Por outro lado, merece destaque que embora a telemetria tenha sido instalada tardiamente, as instalações das estações sismográficas foram antecipadas perante o cronograma, e a falta do link para a transmissão de dados em tempo real na primeira parte do monitoramento não afeta a qualidade ou importância dos dados gerados pelo programa no período.

As atividades previstas para o presente monitoramento se encontram em dia e dentro dos prazos estabelecidos (com exceção da transmissão de dados em tempo real, que foi instalada em janeiro/fevereiro de 2014) e não foram identificadas dificuldades técnicas para a realização deste programa ambiental.

Caso haja a ocorrência de algum sismo importante, ou seja, sentido pela população, a equipe da comunicação social do AHE Teles Pires em conjunto com a VERACRUZ, deverá prestar esclarecimento para a população com palestras e distribuição de um material explicativo em escolas, sendo este material a ser preparado pela VERACRUZ.

## REFERÊNCIAS

- Aki, K. (1969), *Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves*, J. Geophys. Res., 74, 615-631.
- Aki, K. & Chouet, B. (1975), *Origing of coda waves: source, attenuation, and svattering effects*, J. Geophys. Res., 80, 3322-3342.
- Bath, M. (1981), *Earthquake magnitude – recent research and current trends*, Earth Sci. Rev., 17, 315-398.
- Berrocal, J.; Fernandes, C.; Bueno, A.; Seixas, N. & Bassini, A. (1993), *Seismic activity in Monsuaba (state of Rio de Janeiro), Brazil, between 1988 December and 1989 February*, Geophys. J. Int., 113, 73-82.

**ANEXO I**

Sismogramas de ondas P de telessismos distantes  
registrados pela estação STP1



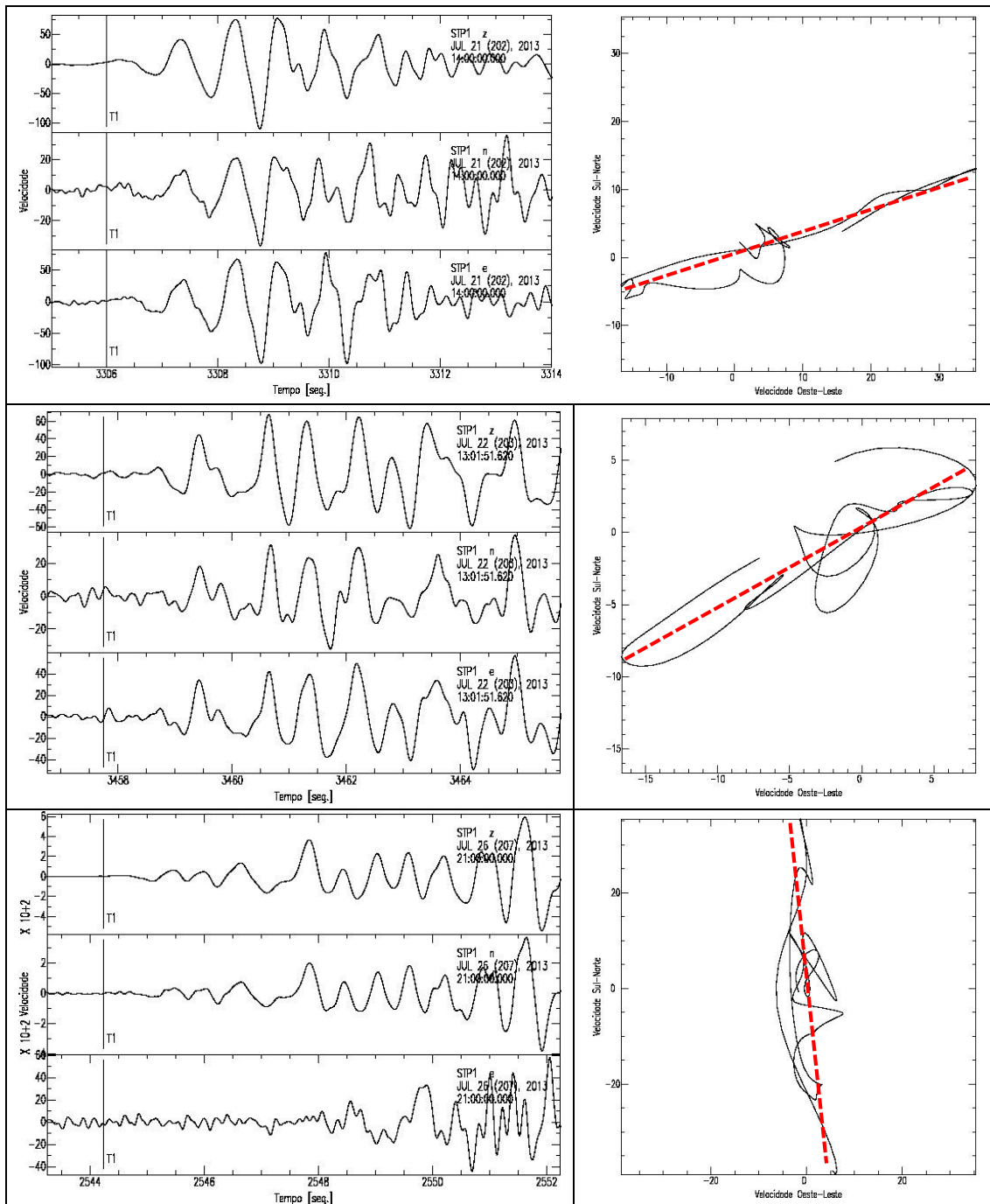
P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

**Tabela AI.1 – Informações sobre os sismos apresentados na Tabela AI.2.**

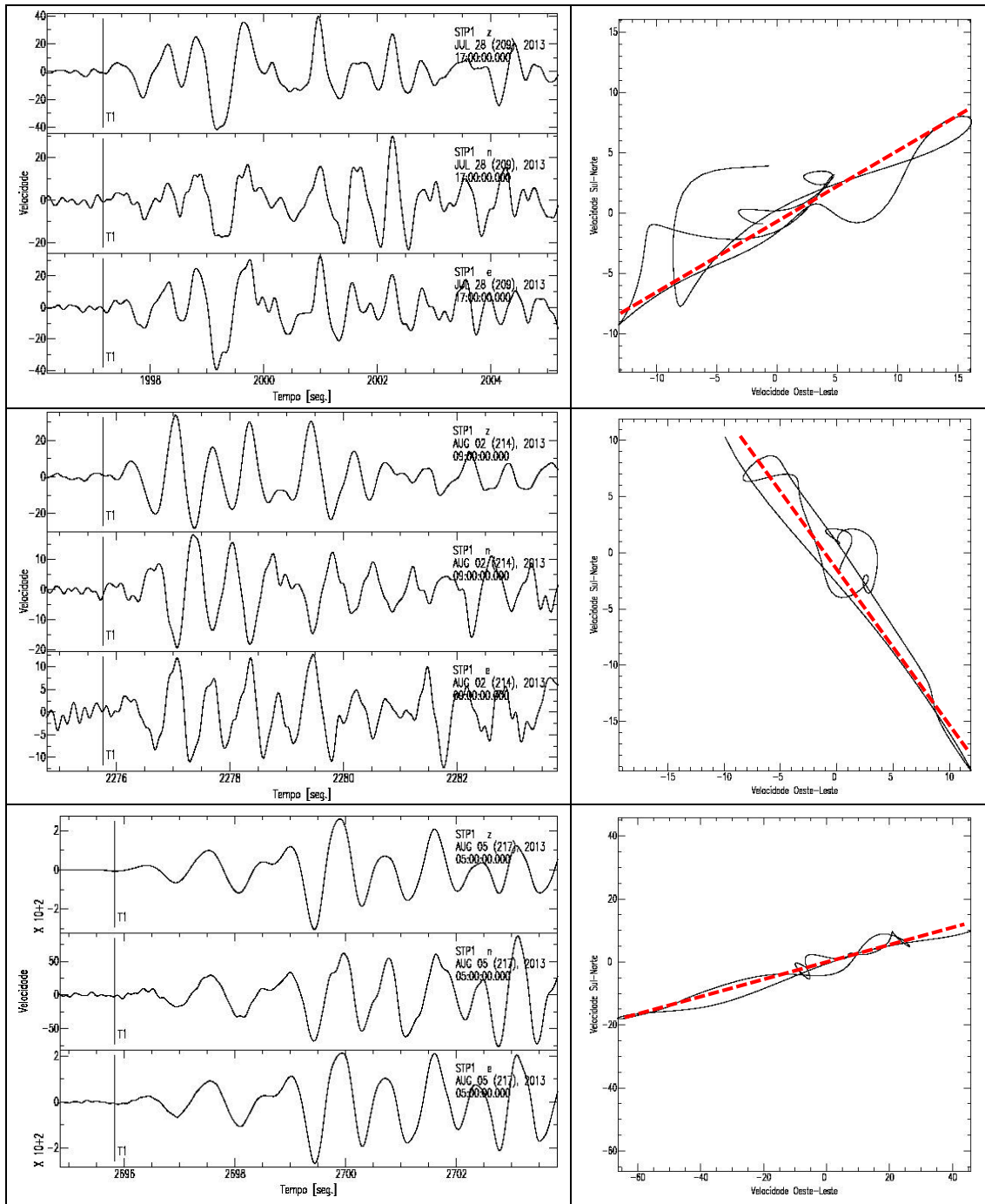
Data e Horário	Latitude (°)	Longitude (°)	Prof. (km)	Mag. (mb/Mw)	BAz <sub>obs</sub> (°)	BAz <sub>teo</sub> (°)	Distância (km)	Localização
2013-07-21T14:51:22,46	-20,40	-68,96	95	4,5	252,0	226,7	1.805	Iquique, Chile
2013-07-22T13:54:45,79	-26,77	-69,51	10	5	241,0	214,03	2354,8	Diego de Almagro, Chile
2013-07-26T21:32:59,99	-57,91	-23,84	13	6,2	174,0	159,27	6048,2	Bristol Island, South Sandwich Islands
2013-07-28T17:29:22,00	-23,03	-68,58	143	4,3	240,0	219,35	1978,2	San Pedro de Atacama, Chile
2013-08-02T09:29:44,91	16,45	-94,69	90	4,9	324,0	304,03	5096,4	Las Amilpas, Mexico
2013-08-05T05:40:56,06	-20,18	-70,71	19	5,2	254,0	230,75	1934,8	Iquique, Chile
2013-08-06T05:57:42,78	14,15	-91,60	54	5,6	324,0	303,5	4680,3	Pueblo Nuevo Tiquisate, Guatemala
2013-08-07T23:15:47,06	-23,98	-66,78	199	4,5	236,0	213,14	1942,6	San Antonio de los Cobres, Argentina
2013-08-11T15:28:42,00	-23,00	-68,99	103	4,6	245,0	220,31	2004,6	Calama, Chile
2013-08-13T17:23:53,04	-15,23	-70,62	189	4,5	269,0	246,22	1665,5	Lampa, Peru
2013-08-16T15:32:58,00	16,55	-98,55	21	5,2	324,0	301,62	5458,2	Cuajinicuilapa, Mexico
2013-08-17T20:03:12,69	-22,99	-66,23	235	4,6	239,0	213,75	1820,9	El Aguilar, Argentina
2013-08-19T16:33:35,06	-24,18	-66,84	188	4,4	239,0	212,9	1964,1	San Antonio de los Cobres, Argentina
2013-08-20T01:16:21,00	-8,64	-79,67	36	4,7	298,0	270,25	2554	Moche, Peru
2013-08-21T12:38:29,70	16,88	-99,50	21	6,2	318,0	301,42	5564,7	San Marcos, Mexico
2013-08-21T13:02:17,29	16,78	-99,71	23	5,3	325,0	301,18	5579,1	Acapulco de Juarez, Mexico
2013-08-22T15:50:38,55	-1,91	-77,59	159	4,3	313,0	288,43	2485,7	Palora, Ecuador
2013-08-23T08:34:06,92	-22,27	-68,59	111	5,8	243,0	221,1	1918	Calama, Chile
2013-09-02T04:30:16,85	-6,63	155,14	35	5,9	262,0	244,17	16098	Panguna, Papua New Guinea
2013-09-02T08:12:35,71	-11,93	-75,75	21	4,6	286,0	261	2127,8	Acolla, Peru
2013-09-07T00:13:29,57	14,61	-92,12	66	6,4	329,0	303,68	4754,8	Ciudad Tecun Uman, Guatemala
2013-09-14T17:00:08,54	-2,17	-78,66	119	4,5	310,0	286,87	2587,9	Alausi, Ecuador
2013-09-17T07:12:05,11	-22,32	-65,78	260	4,6	240,0	213,98	1733,8	La Quiaca, Argentina
2013-09-21T07:16:04,00	-18,68	-69,08	142	4,6	254,0	231,92	1699,2	Putre, Chile
2013-09-22T08:41:34,70	-7,18	-80,60	28	4,8	298,0	273,65	2671,8	Pimentel, Peru
2013-09-23T07:55:52,77	-1,65	-77,91	159	4,5	312,0	288,77	2529,2	Palora, Ecuador
2013-09-30T15:08:26,51	-15,01	-72,48	104	4,6	271,0	249,14	1846,6	Orcopampa, Peru
2013-10-01T04:12:21,00	-18,35	-69,38	122	4,7	259,0	233,55	1704,9	Putre, Chile
2013-10-03T13:25:12,35	-24,15	-66,75	209	4,5	241,0	212,74	1956	San Antonio de los Cobres, Argentina
2013-10-06T03:06:23,00	-22,67	-68,84	102	4,4	254,0	220,73	1967,7	Calama, Chile
2013-10-06T12:48:08,16	-16,18	-69,98	182	4,5	262,0	241,89	1643,2	Ilave, Peru

P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

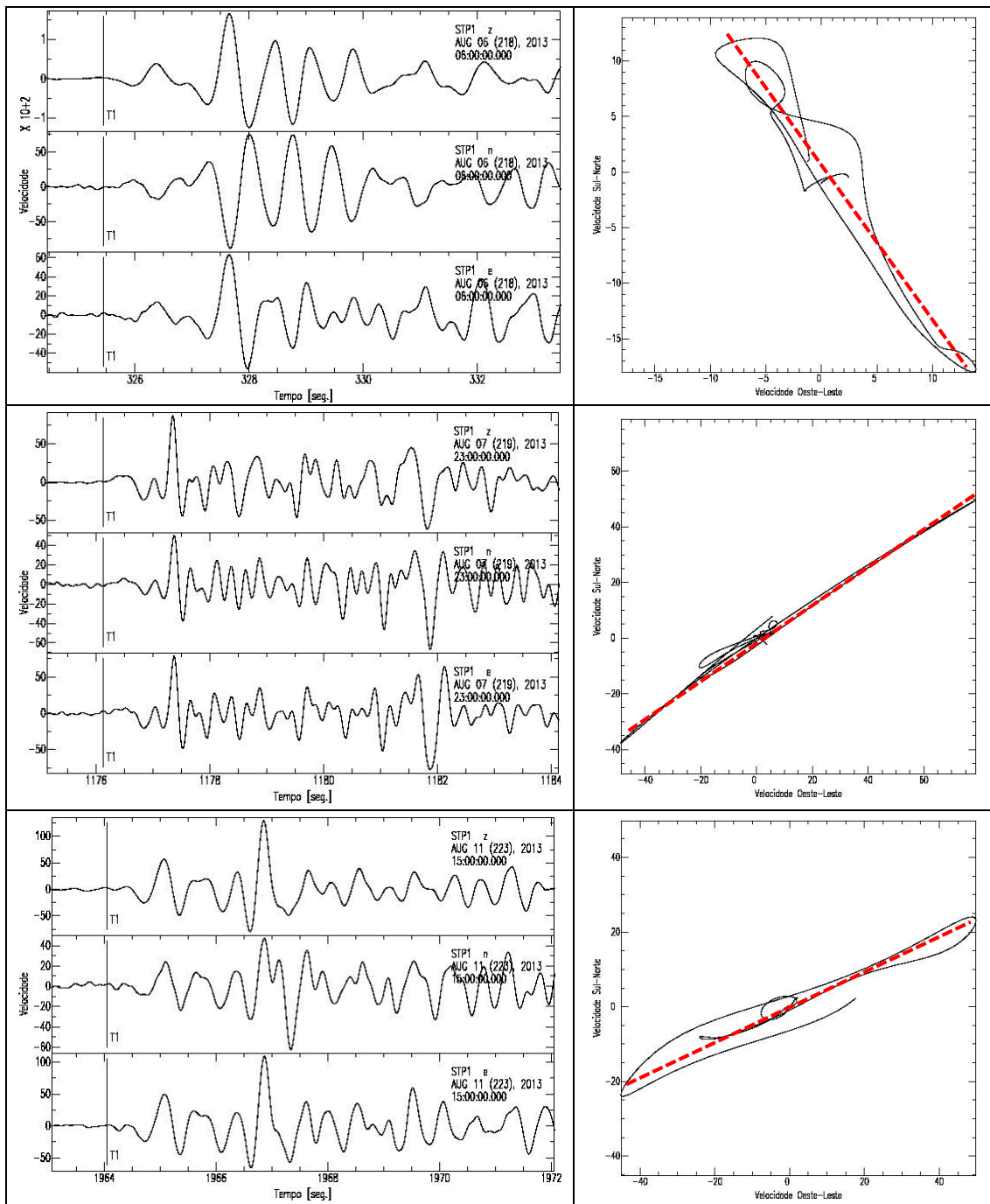
**Tabela A1.2** – Informações sismográficas dos sismos distantes registrados pela estação STP1. Na coluna da esquerda são mostrados os sismogramas das componentes vertical, norte-sul e leste-oeste dos sismos utilizados. Na coluna da direita são mostrados os movimentos de partícula dos respectivos sismogramas mostrados a esquerda.



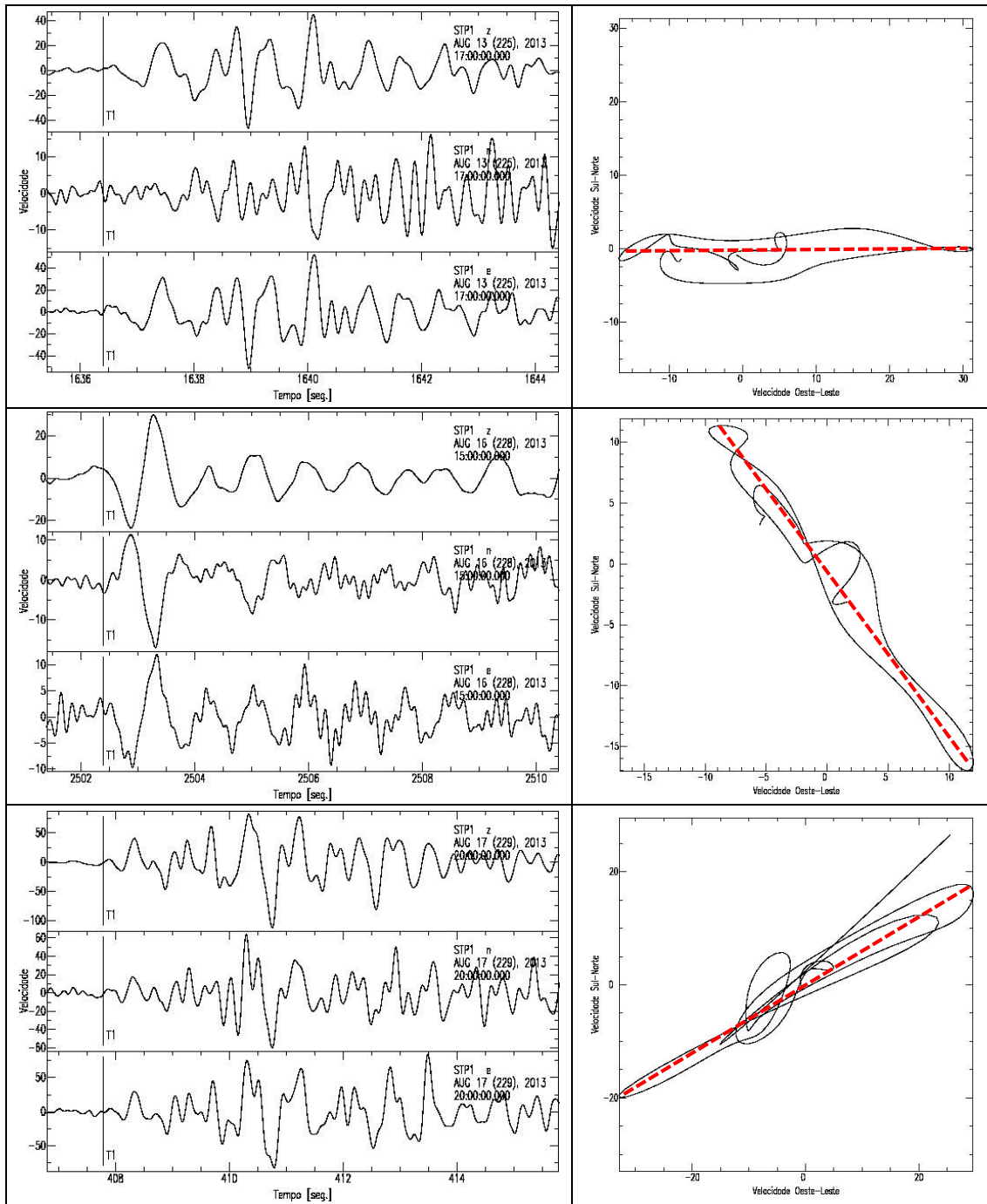
P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



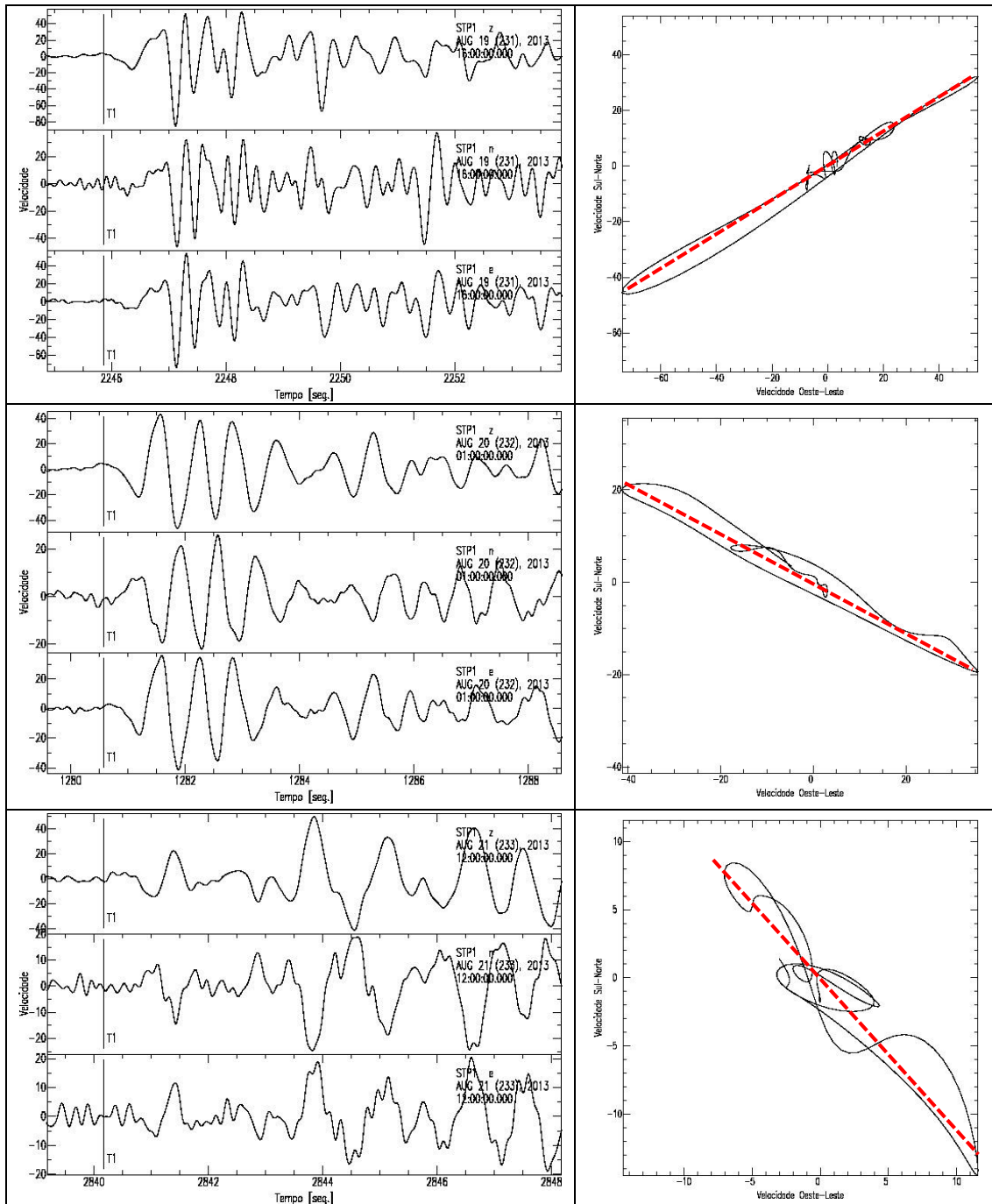
P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



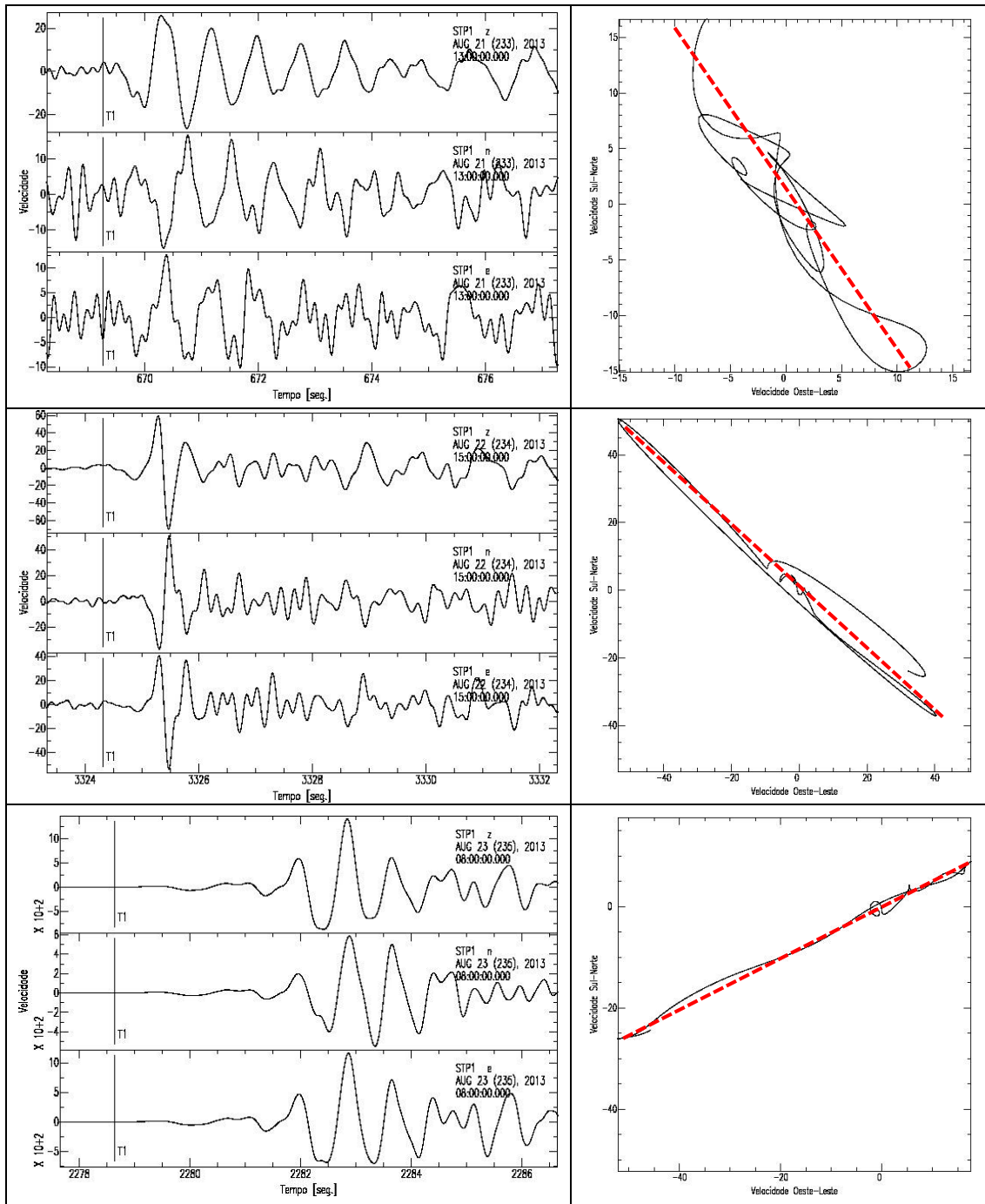
P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



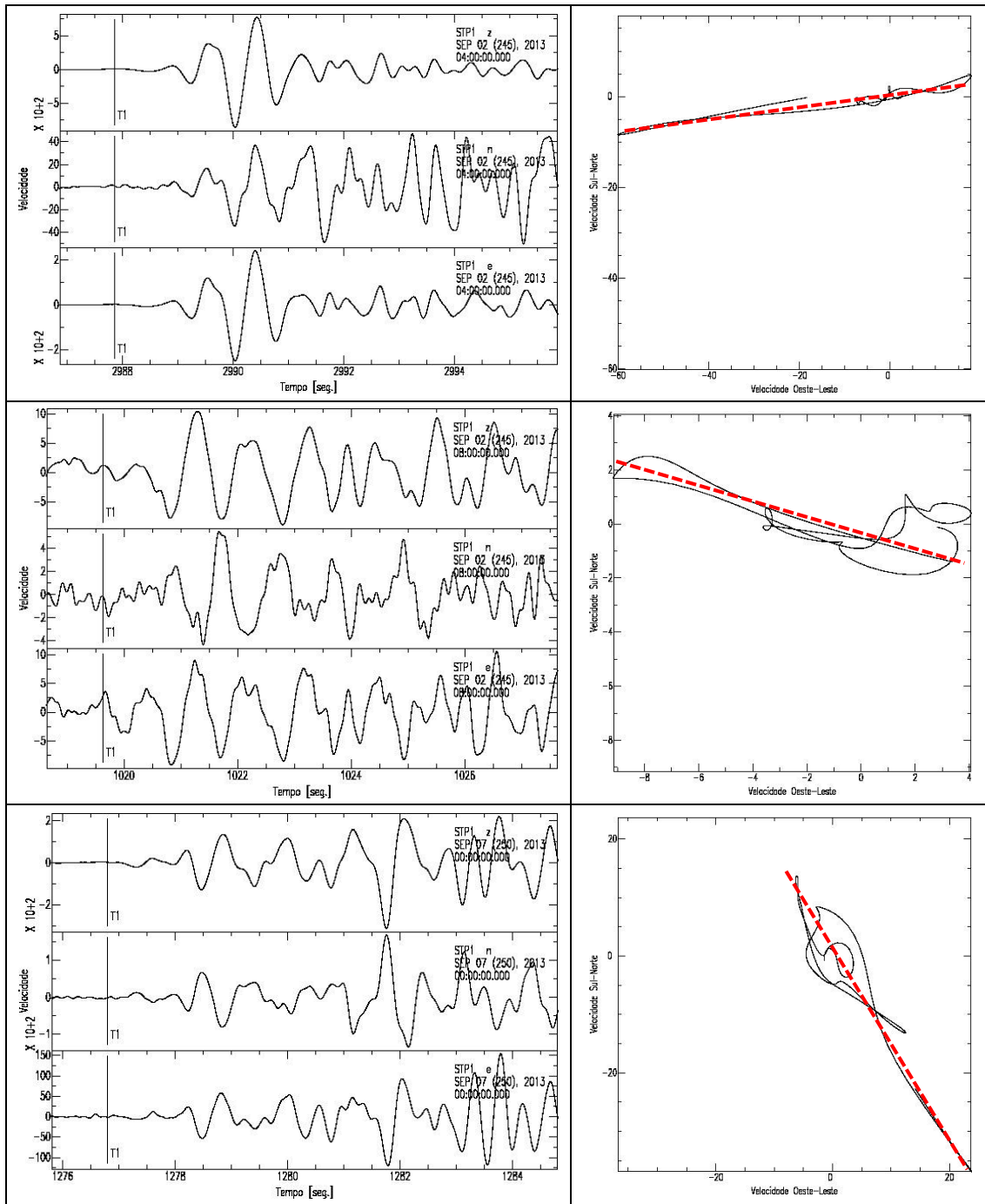
P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

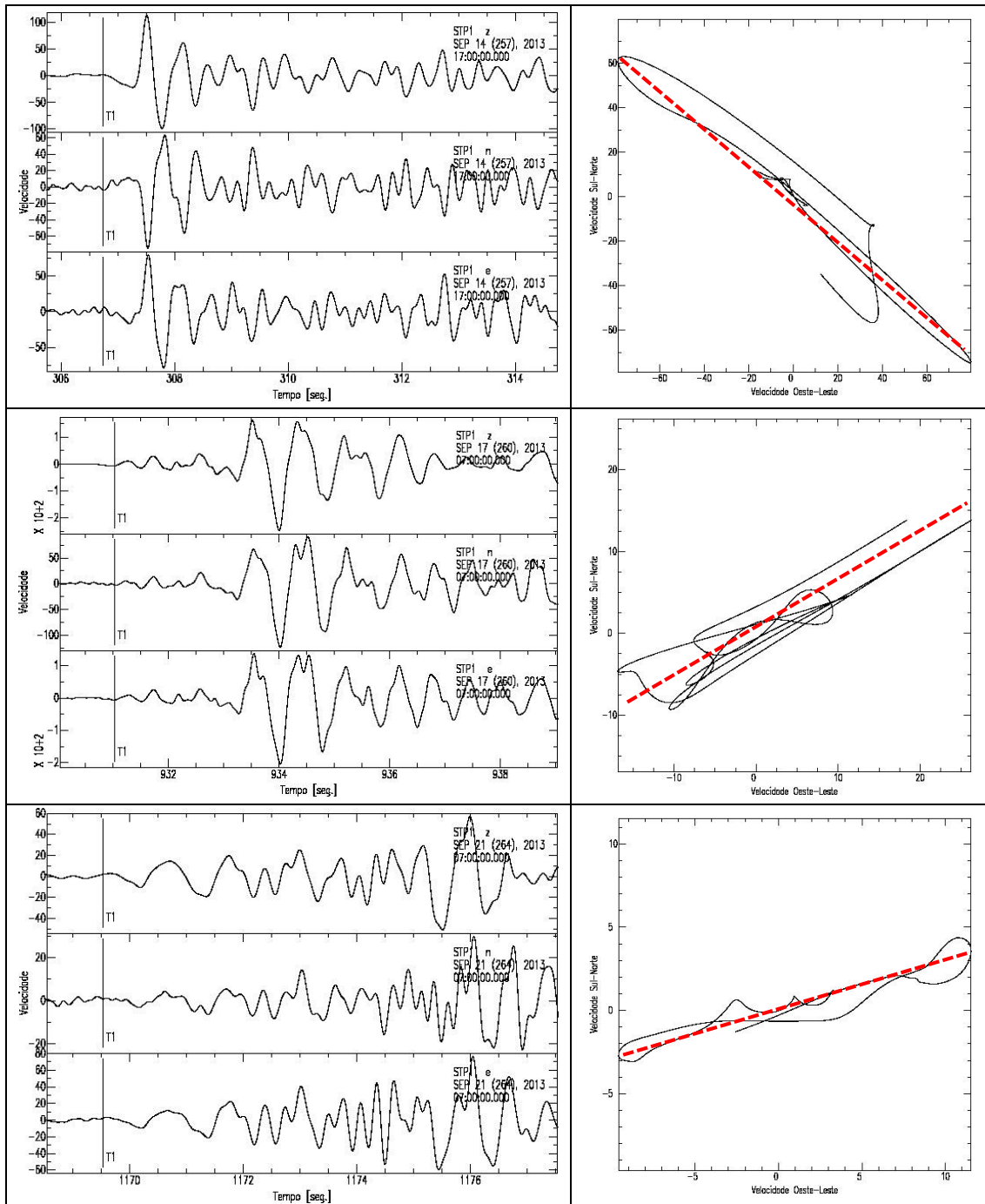


P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

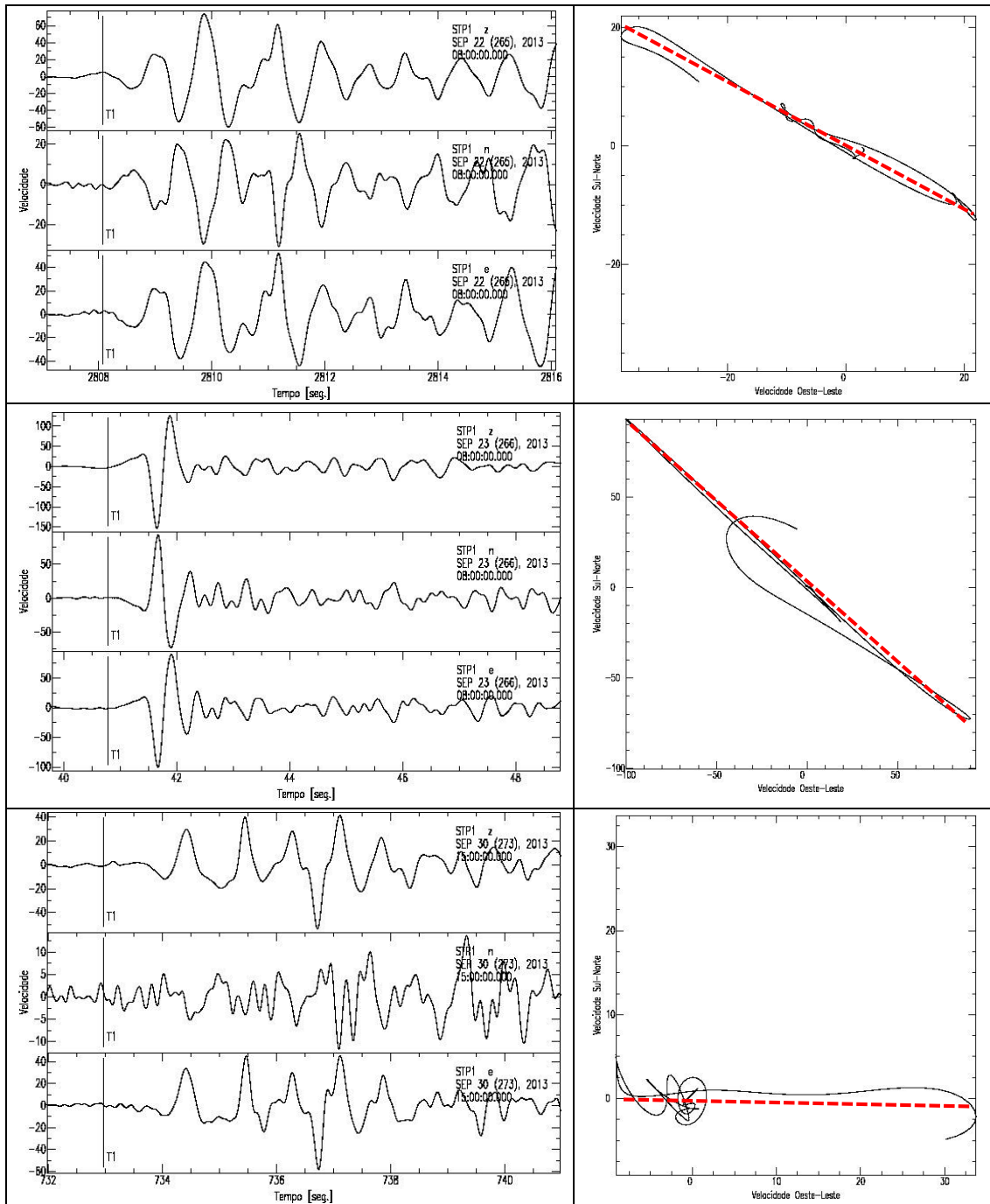




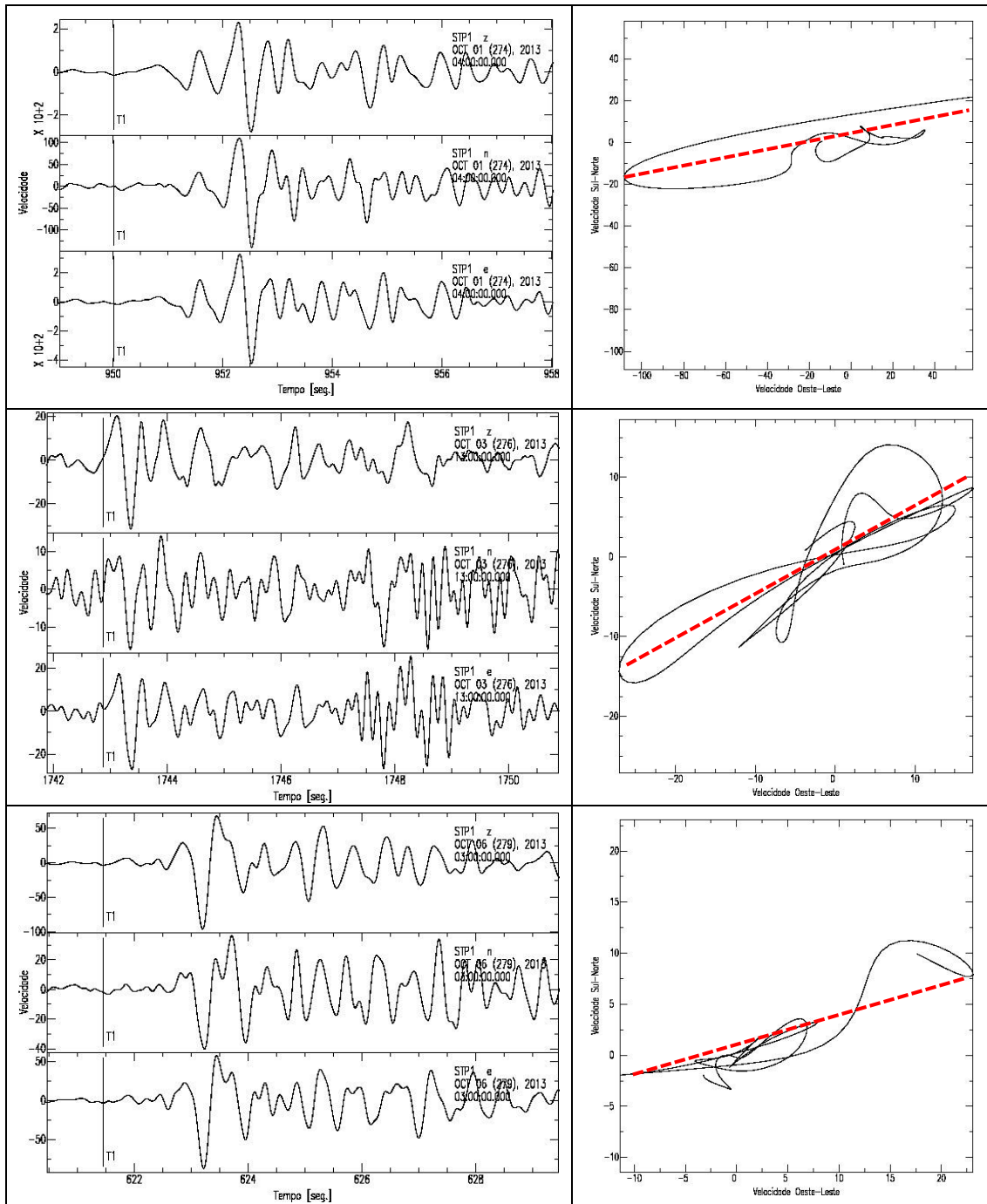
P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



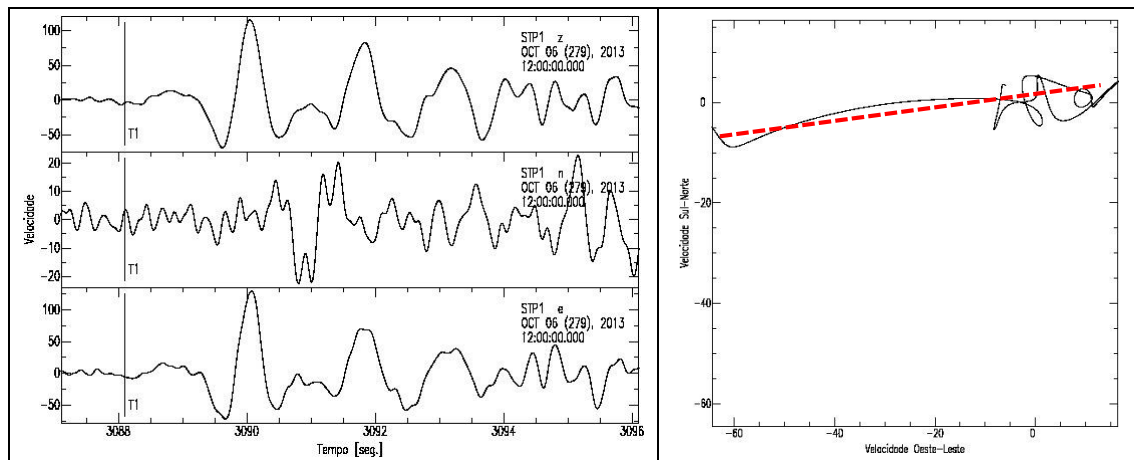
### P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



**ANEXO II**

Sismogramas de ondas P de telessismos distantes  
registrados pela estação STP2

P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

**Tabela AII.1 – Informações sobre os sismos apresentados na Tabela AII.2.**

Data e Horário	Latitude (°)	Longitude (°)	Prof. (km)	Mag. (mb/Mw)	BAZ <sub>obs</sub> (°)	BAZ <sub>teo</sub> (°)	Distância (km)	Localização
2013-07-18T19:48:15.16	13,92	-91,27	62,99	4.8	309,00	303,46	4636,65	La Gomera, Guatemala
2013-07-22T13:54:45.79	-26,77	-69,51	10,00	5	215,00	214,03	2354,85	Diego de Almagro, Chile
2013-07-23T05:11:20.00	-19,75	-69,30	96,60	4.2	234,00	229,19	1787,95	Iquique, Chile
2013-07-23T07:10:45.93	-24,52	-67,95	163,87	4.3	222,00	214,85	2062,09	San Antonio de los Cobres, Argentina
2013-07-23T17:27:15.99	-20,20	-70,67	18,53	4.7	239,00	230,62	1932,76	Iquique, Chile
2013-07-25T12:09:25.04	6,73	-72,99	152,83	4.8	331,00	313,77	2566,29	Aratoca, Colombia
2013-07-26T04:06:22.00	-19,95	-70,56	23,80	4	242,00	231,10	1907,32	Iquique, Chile
2013-07-26T21:32:59.99	-57,91	-23,84	13	6.2	165,00	159,27	6048,29	Bristol Island, South Sandwich Islands
2013-07-28T18:27:21.82	-57,29	-25,48	45,96	4.5	165,00	159,61	5932,33	Visokoi Island,
2013-07-29T01:42:31.64	-15,24	-75,82	33,43	4.5	262,00	251,29	2198,83	Minas de Marcona, Peru
2013-07-29T21:52:11.58	-57,76	-25,28	46,99	5.2	165,00	159,88	5980,42	Bristol Island, South Sandwich Islands
2013-07-30T12:48:47.35	-35,50	-103,92	10	4.5	237,00	231,40	5595,24	Easter Island
2013-07-30T13:29:59.00	15,77	-92,92	118,20	5.4	313,00	304,50	4896,02	Nueva Palestina, Mexico
2013-08-02T03:21:03.00	-17,86	-69,79	142	4.5	243,00	235,89	1712,83	Putre, Chile
2013-08-02T09:29:44.91	16,45	-94,69	89,60	4.9	310,00	304,03	5096,49	Las Amilpas, Mexico
2013-08-03T20:44:19.00	-22,50	-70,26	60,60	4.5	229,00	224,05	2059,8	Tocopilla, Chile
2013-08-04T01:28:26.52	-48,95	-8,65	10	5.4	146,00	143,87	6221,16	Southern Mid-Atlantic Ridge
2013-08-05T05:40:56.06	-20,18	-70,71	19,12	5.2	233,00	230,75	1934,87	Iquique, Chile
2013-08-06T05:57:42.78	14,15	-91,60	53,88	5.6	308,00	303,50	4680,36	Pueblo Nuevo Tiquisate, Guatemala
2013-08-07T23:15:47.06	-23,98	-66,78	199,43	4.5	222,00	213,14	1942,6	San Antonio de los Cobres, Argentina
2013-08-11T15:28:42.00	-23,00	-68,99	103,30	4.6	230,00	220,31	2004,69	Calama, Chile
2013-08-12T05:18:59.24	10,46	-86,94	22,31	5.5	301,00	302,41	4034,1	Sardinal, Costa Rica
2013-08-12T09:49:32.36	-5,40	-81,93	10	6.2	284,00	277,33	2847,92	Paita, Peru
2013-08-13T15:43:15.20	5,77	-78,20	12	6.7	307,00	304,14	2944,81	Mutis, Colombia
2013-08-19T19:39:45.77	-21,45	-68,52	115,82	5.3	228,00	222,94	1849,05	Calama, Chile
2013-08-21T12:38:29.70	16,88	-99,50	21	6.2	302,00	301,42	5564,71	San Marcos, Mexico
2013-08-23T00:59:36.55	-57,95	-25,55	62,61	4.9	166,00	160,17	5986,73	Bristol Island, South Sandwich Islands
2013-08-25T23:35:54.30	7,69	-74,90	25,61	4.8	322,00	312,28	2792,55	El Bagre, Colombia
2013-08-31T02:32:16.00	-31,55	-69,39	110	4.7	215,00	206,87	2783,89	Calingasta, Argentina
2013-08-31T22:47:46.37	-60,77	-23,00	10	4.9	164,00	161,14	6321	Bristol Island, South Sandwich Islands
2013-09-02T03:03:49.97	-15,67	-71,69	143,76	4.5	254,00	246,06	1790,21	Chivay, Peru
2013-09-02T04:30:16.85	-6,63	155,14	35	5.9	250,00	244,17	1609,88	Panguna, Papua New Guinea
2013-09-05T04:01:36.36	15,18	-45,23	10	6	31,00	24,51	2996,78	Northern Mid-Atlantic Ridge
2013-09-05T05:52:40.00	-24,10	-70,48	48,10	4.3	224,00	220,96	2198,2	Antofagasta, Chile
2013-09-07T00:13:29.57	14,61	-92,12	66	6.4	305,00	303,68	4754,89	Ciudad Tecun Uman, Guatemala
2013-09-07T08:21:37.19	14,17	-91,85	65,32	4.3	305,00	303,35	4704,44	Champerico, Guatemala
2013-09-07T11:23:20.50	14,17	-91,90	44,40	4.1	309,00	303,29	4709,03	Champerico, Guatemala
2013-09-07T19:13:31.00	-19,62	-69,30	100,10	5	235,00	229,57	1779,22	Iquique, Chile
2013-09-09T00:40:06.63	13,33	-89,77	67,89	4.9	305,00	303,90	4464,62	Acajutla, El Salvador

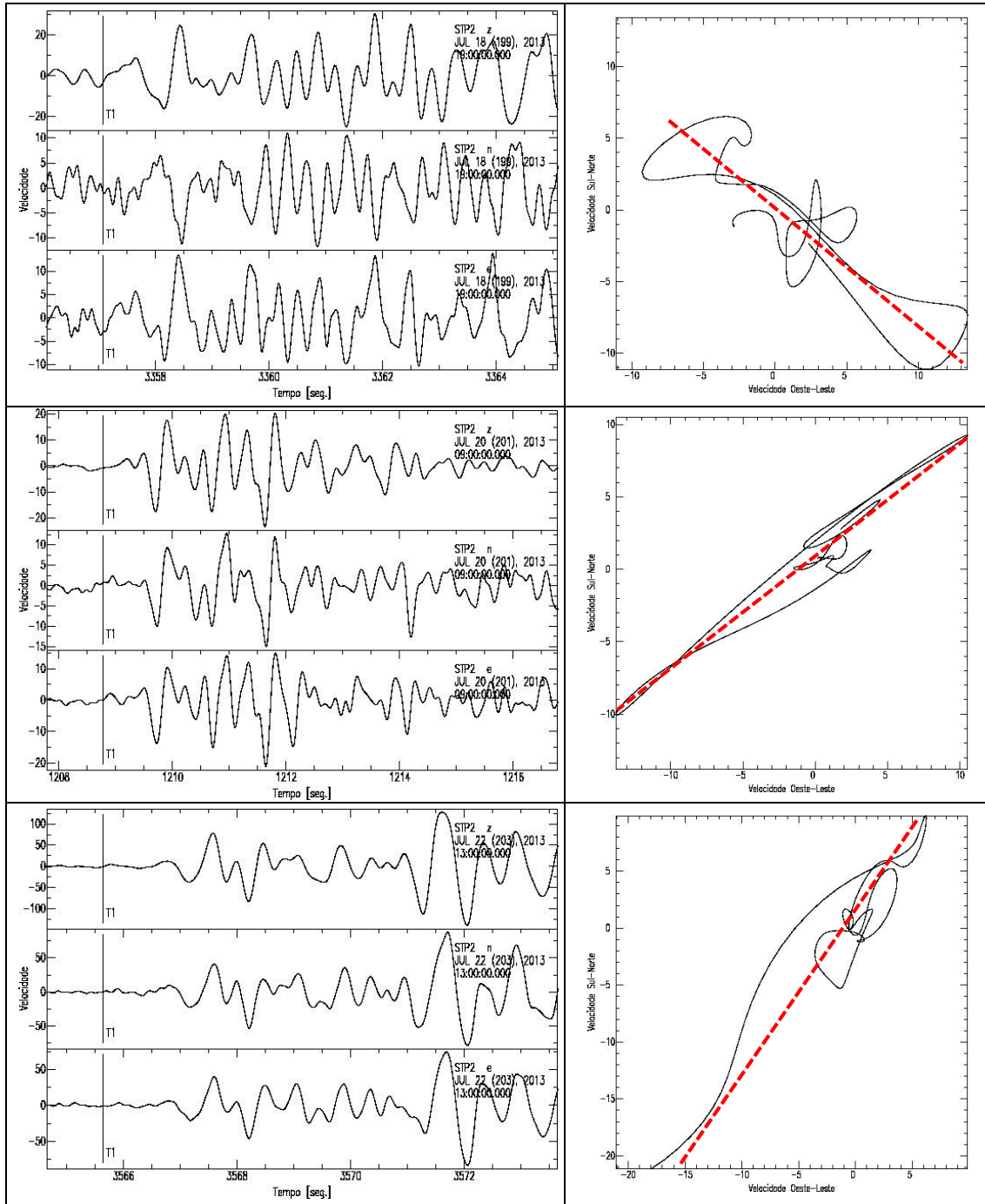
## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

---

Data e Horário	Latitude (°)	Longitude (°)	Prof. (km)	Mag. (mb/Mw)	BAz <sub>obs</sub> (°)	BAz <sub>teo</sub> (°)	Distância (km)	Localização
2013-09-12T01:43:22.00	-31,72	-64,97	20	4.7	202,00	198,47	2613,14	Mina Clavero, Argentina
2013-09-14T17:00:08.54	-2,17	-78,66	118,83	4.5	287,00	286,87	2587,96	Alausi, Ecuador
2013-09-16T05:31:19.65	-15,84	-69,47	236,12	4.4	244,00	242,29	1577,92	Taquile, Peru
2013-09-16T09:01:19.97	-24,42	-69,53	79,64	4.2	219,00	218,43	2157,21	Antofagasta, Chile
2013-09-19T20:17:52.00	-22,36	-68,88	102,80	4.7	231,00	221,53	1946,15	Calama, Chile

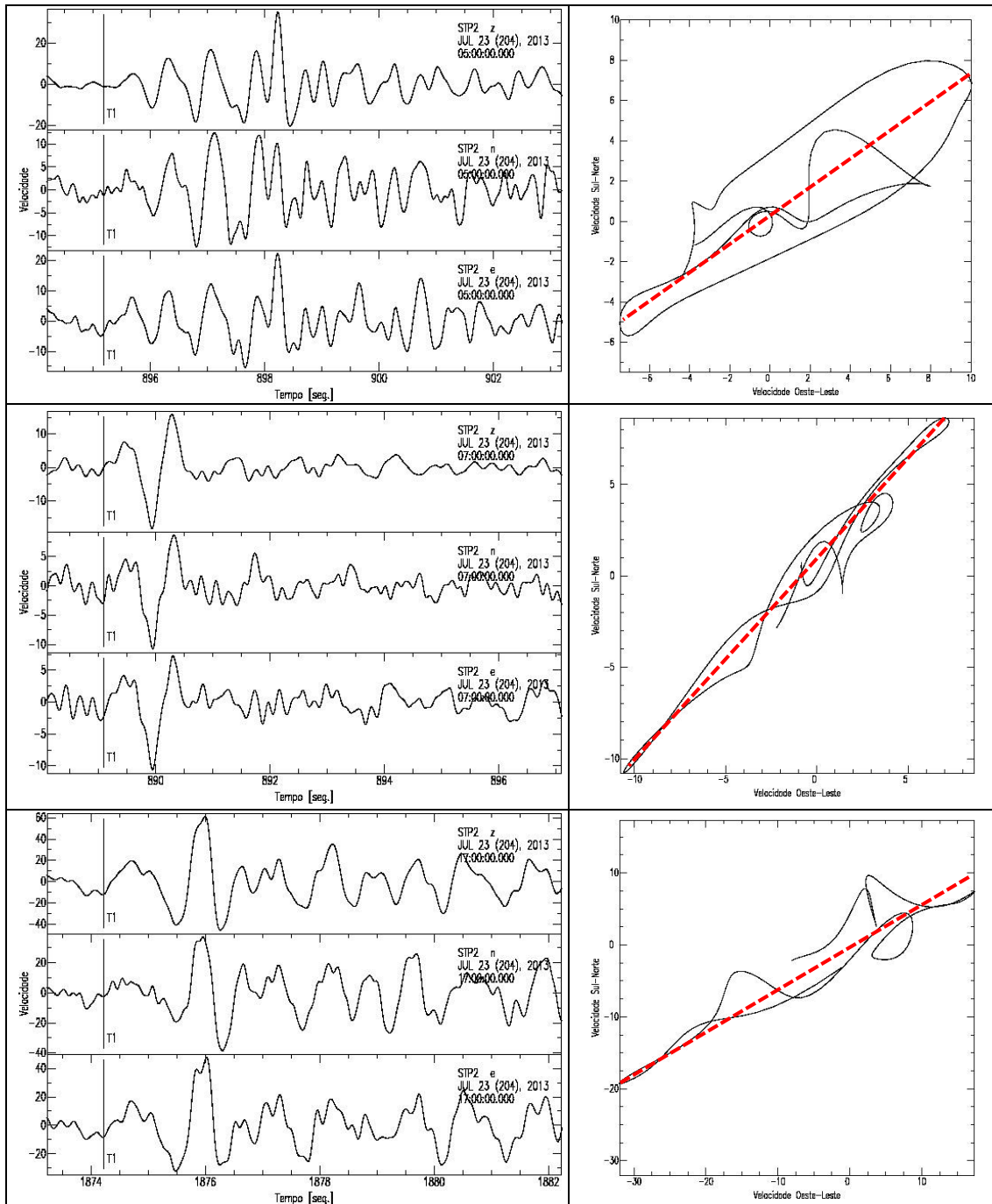
P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

**Tabela AII.2** – Informações sismográficas dos sismos distantes registrados pela estação STP2. Na coluna da esquerda são mostrados os sismogramas das componentes vertical, norte-sul e leste-oeste dos sismos utilizados. Na coluna da direita são mostrados os movimentos de partícula dos respectivos sismogramas mostrados a esquerda.

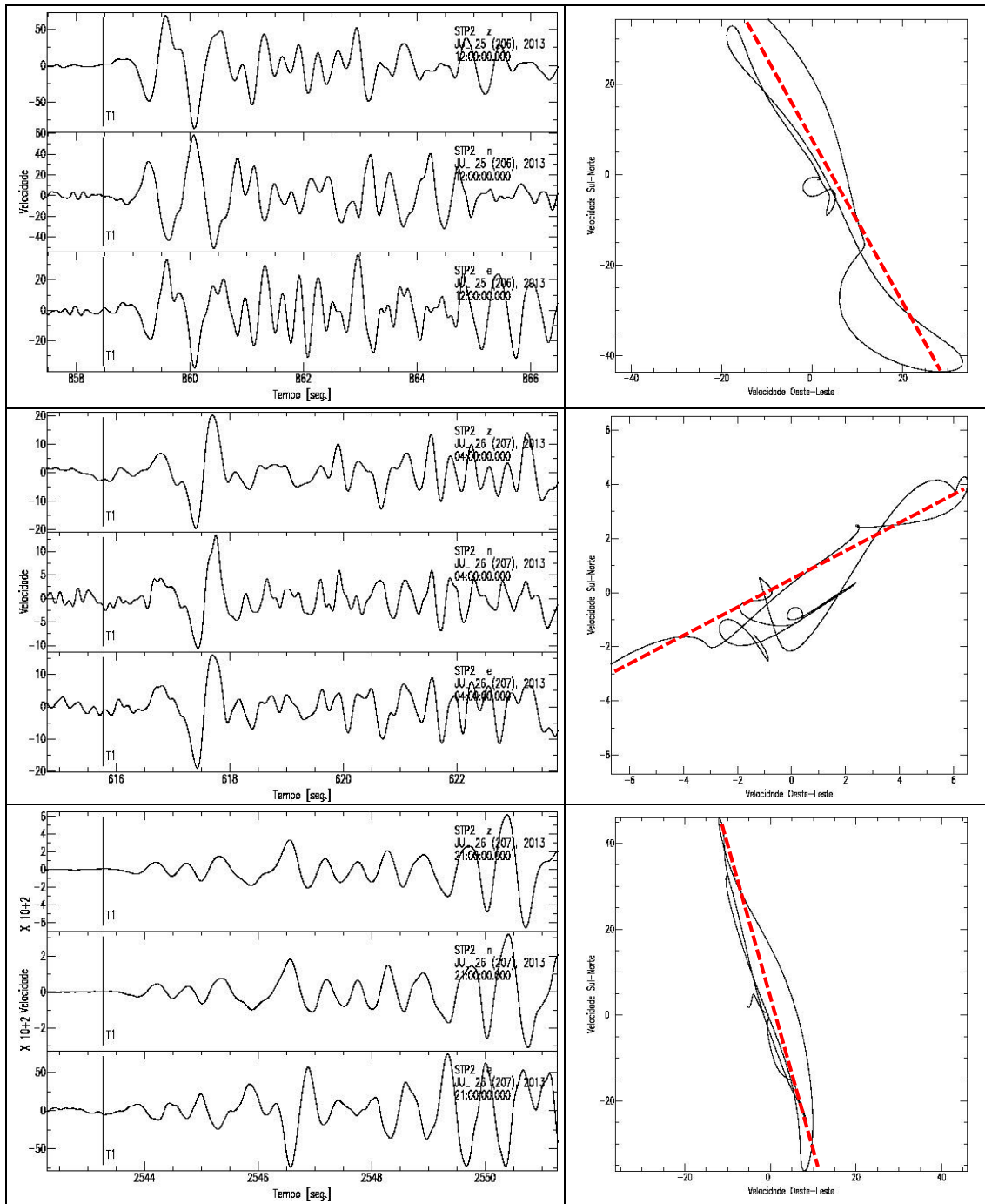




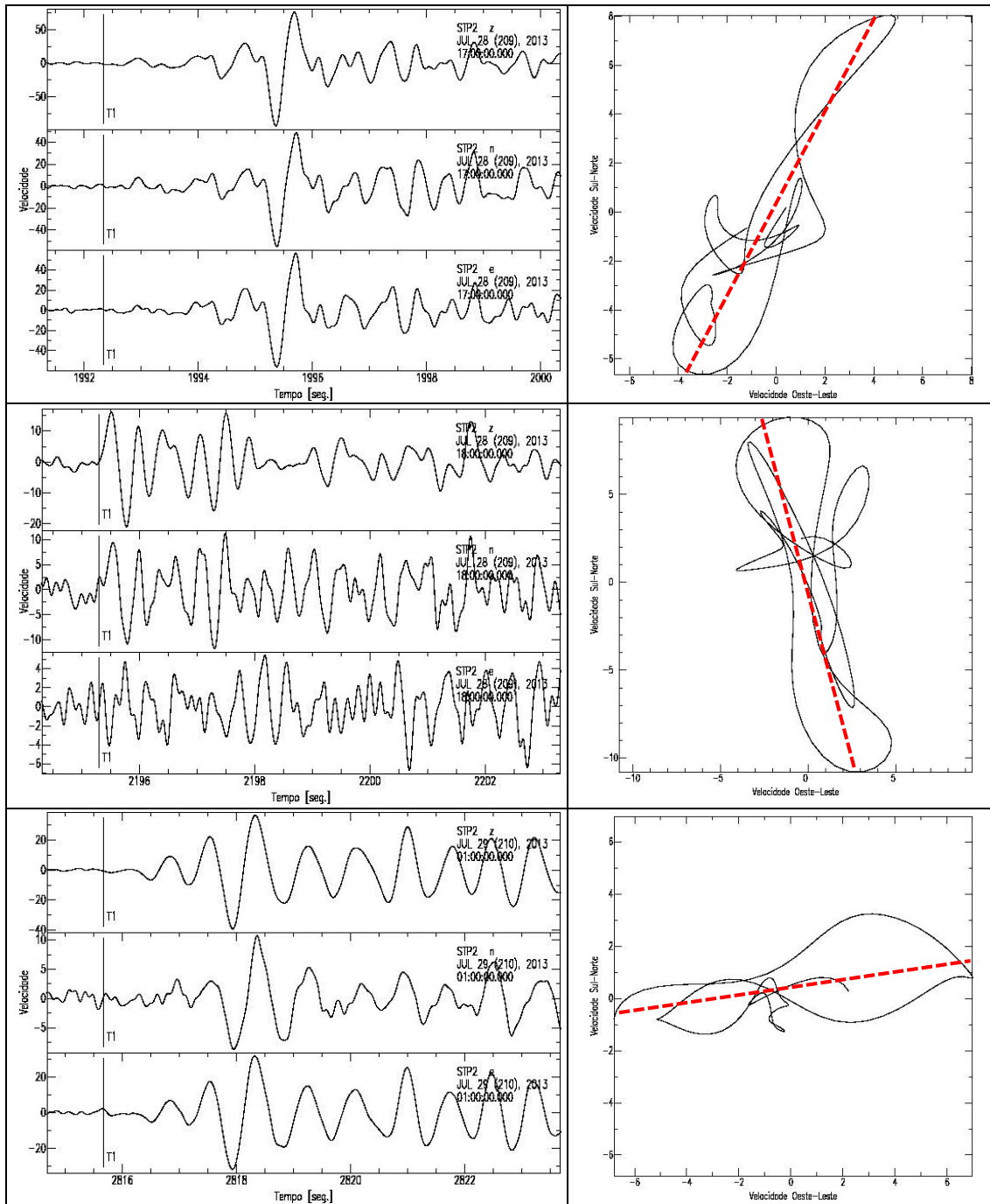
P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



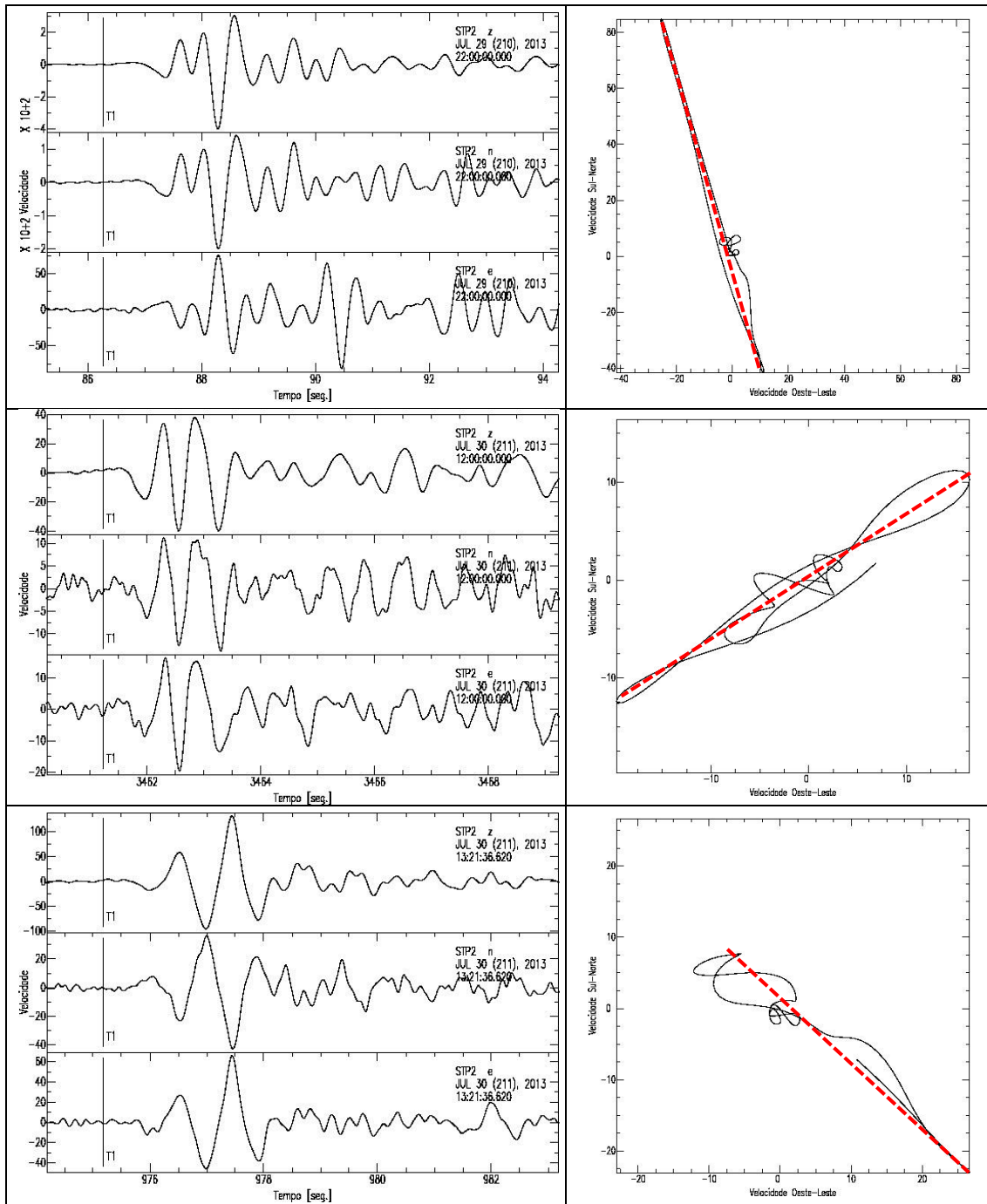
P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



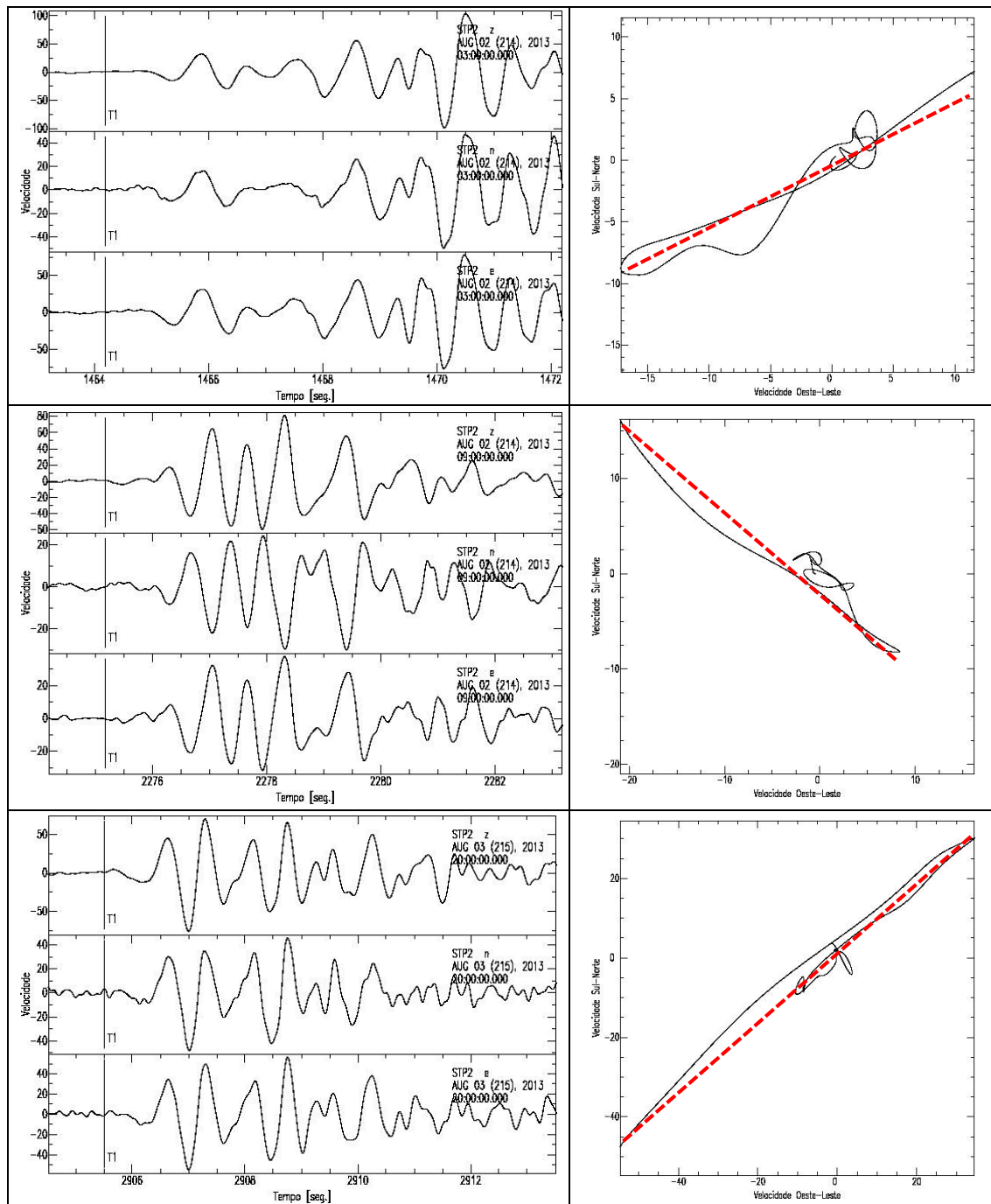
P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



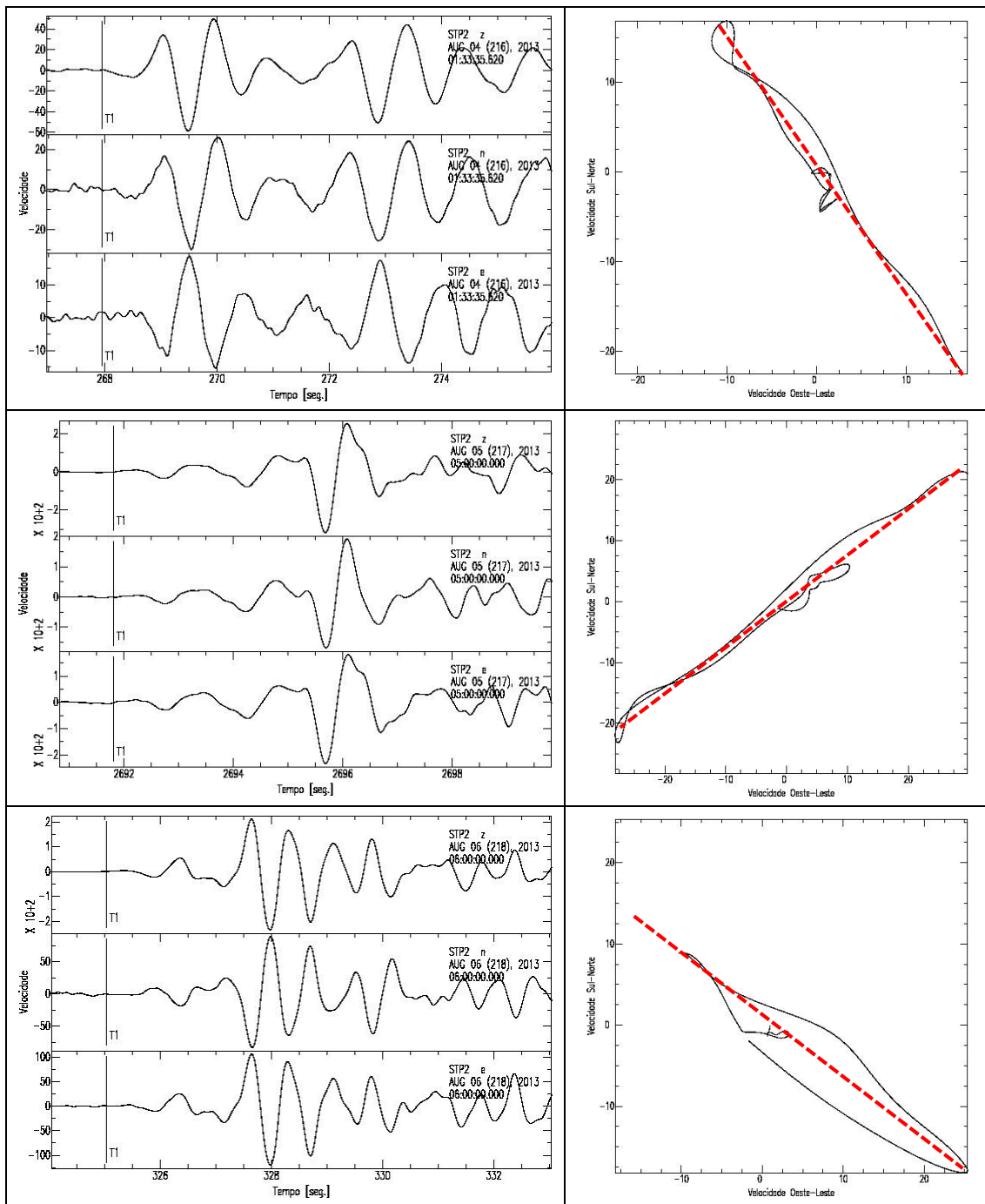
P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



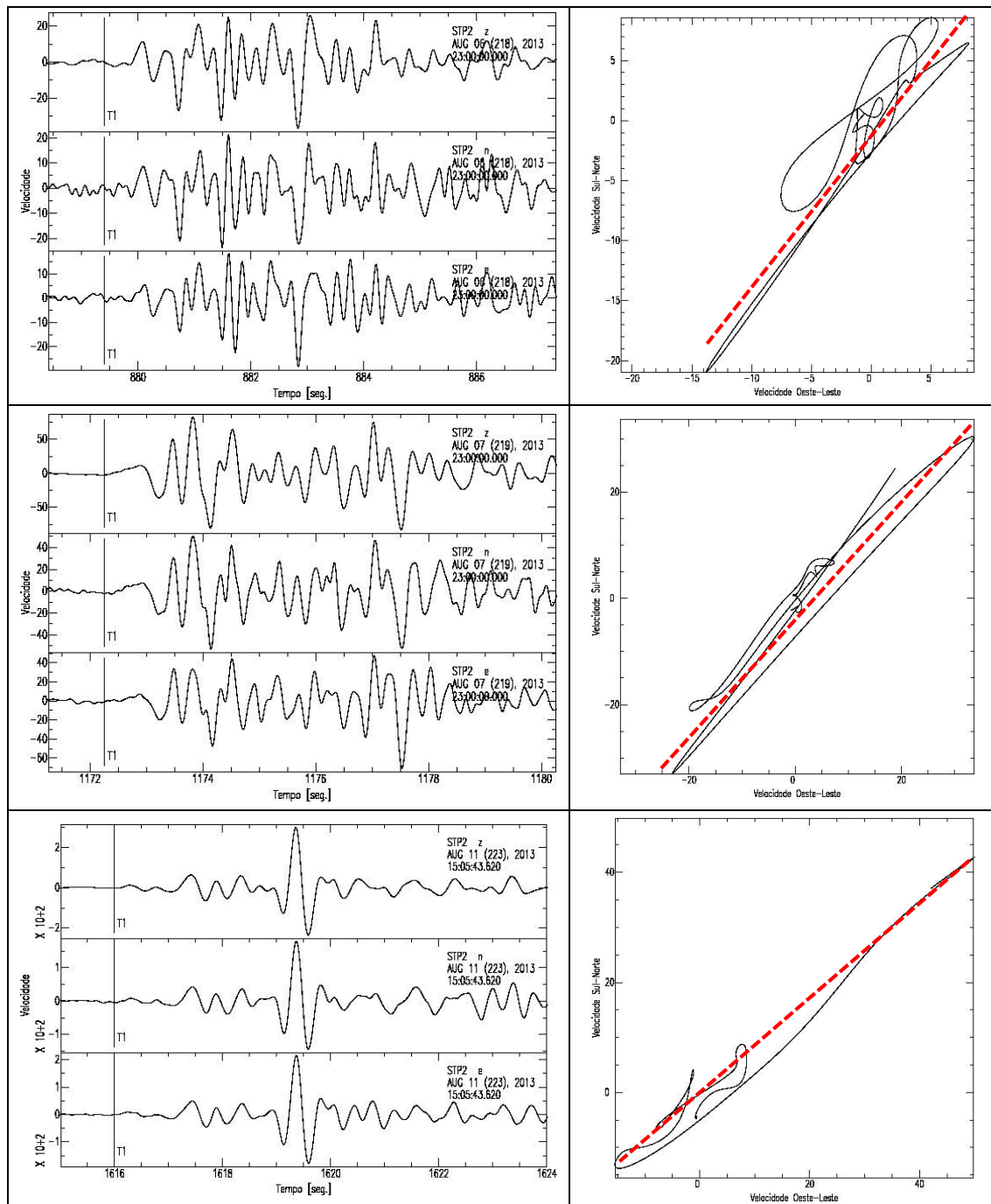
## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



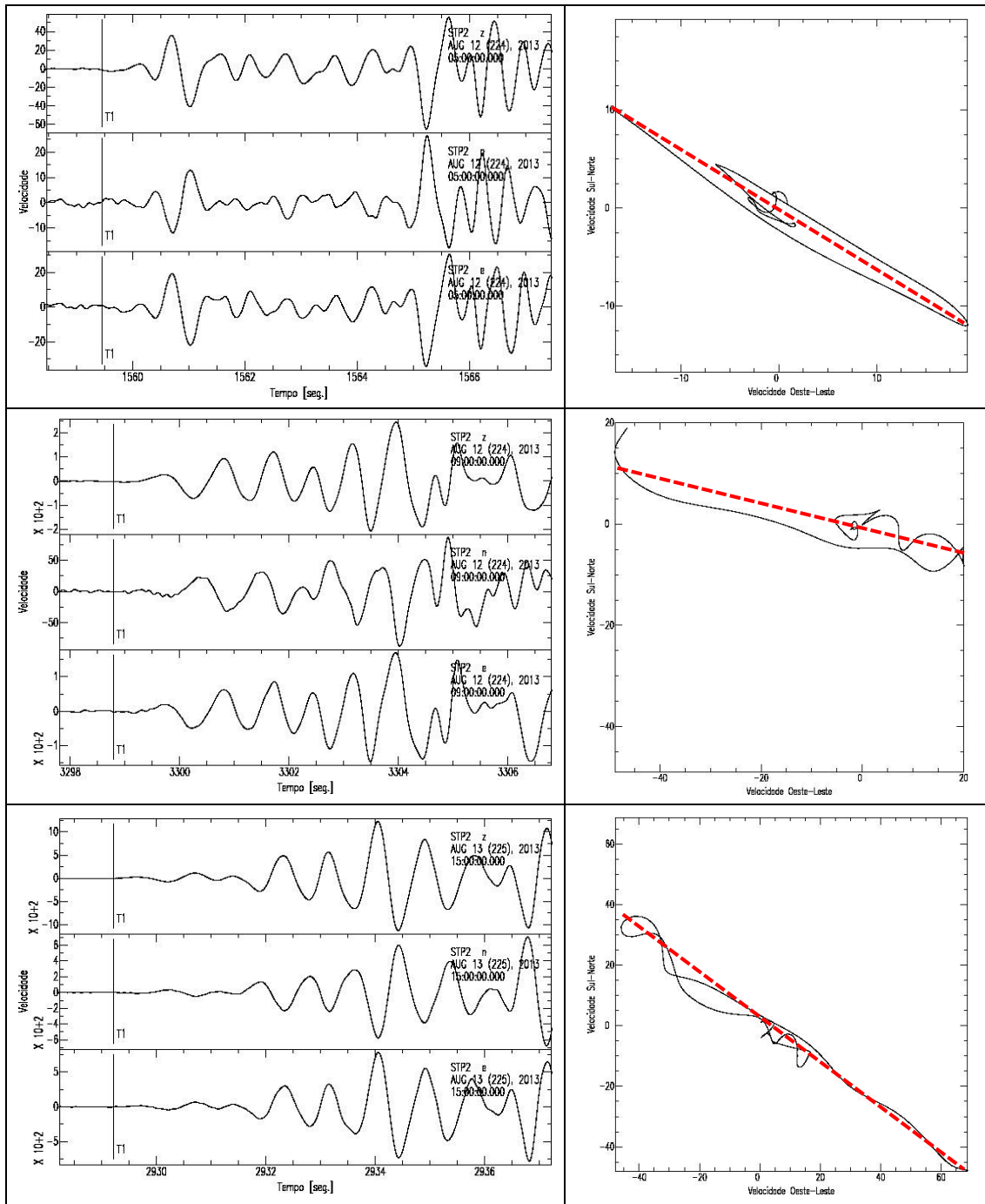
### P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

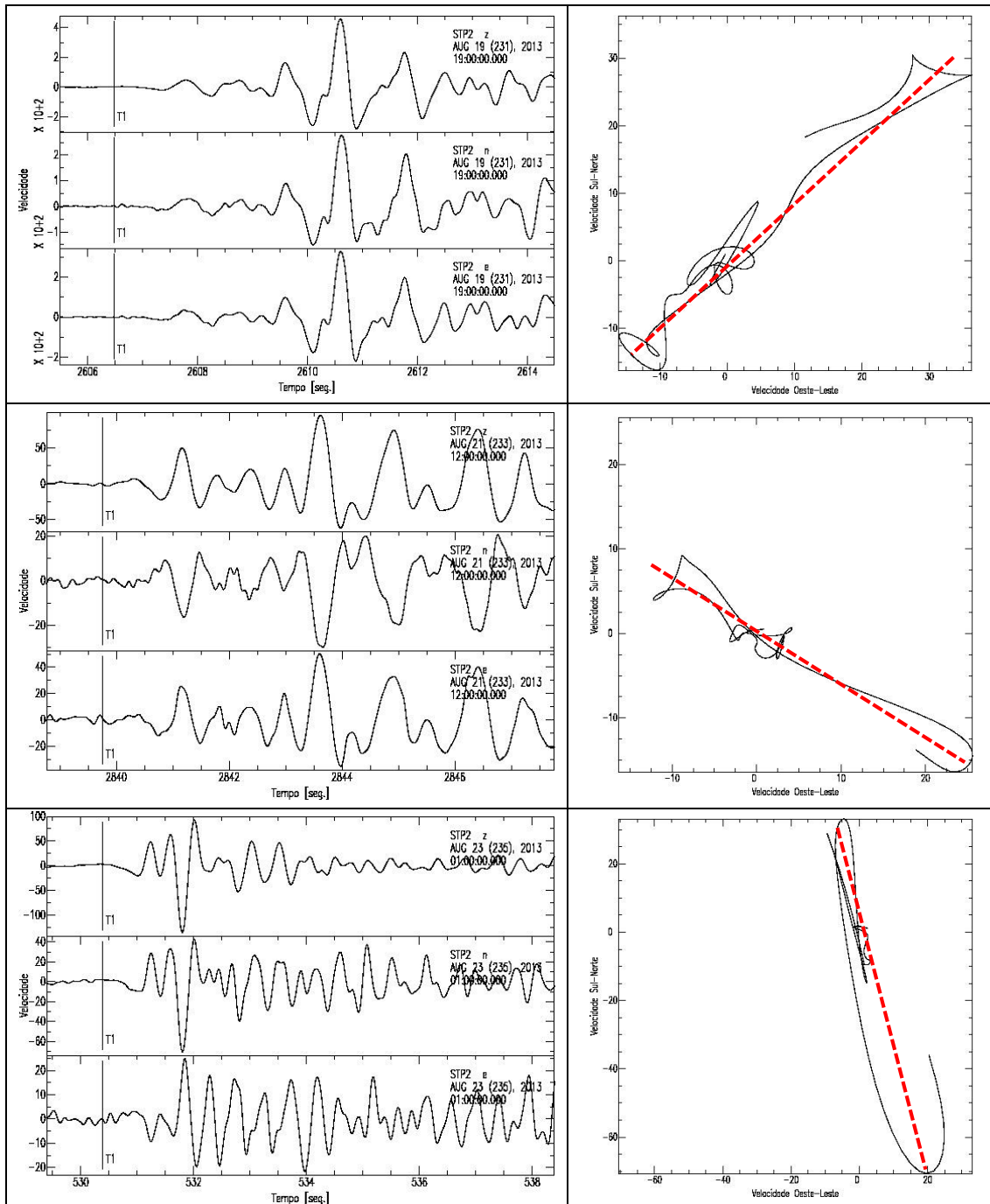


### P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

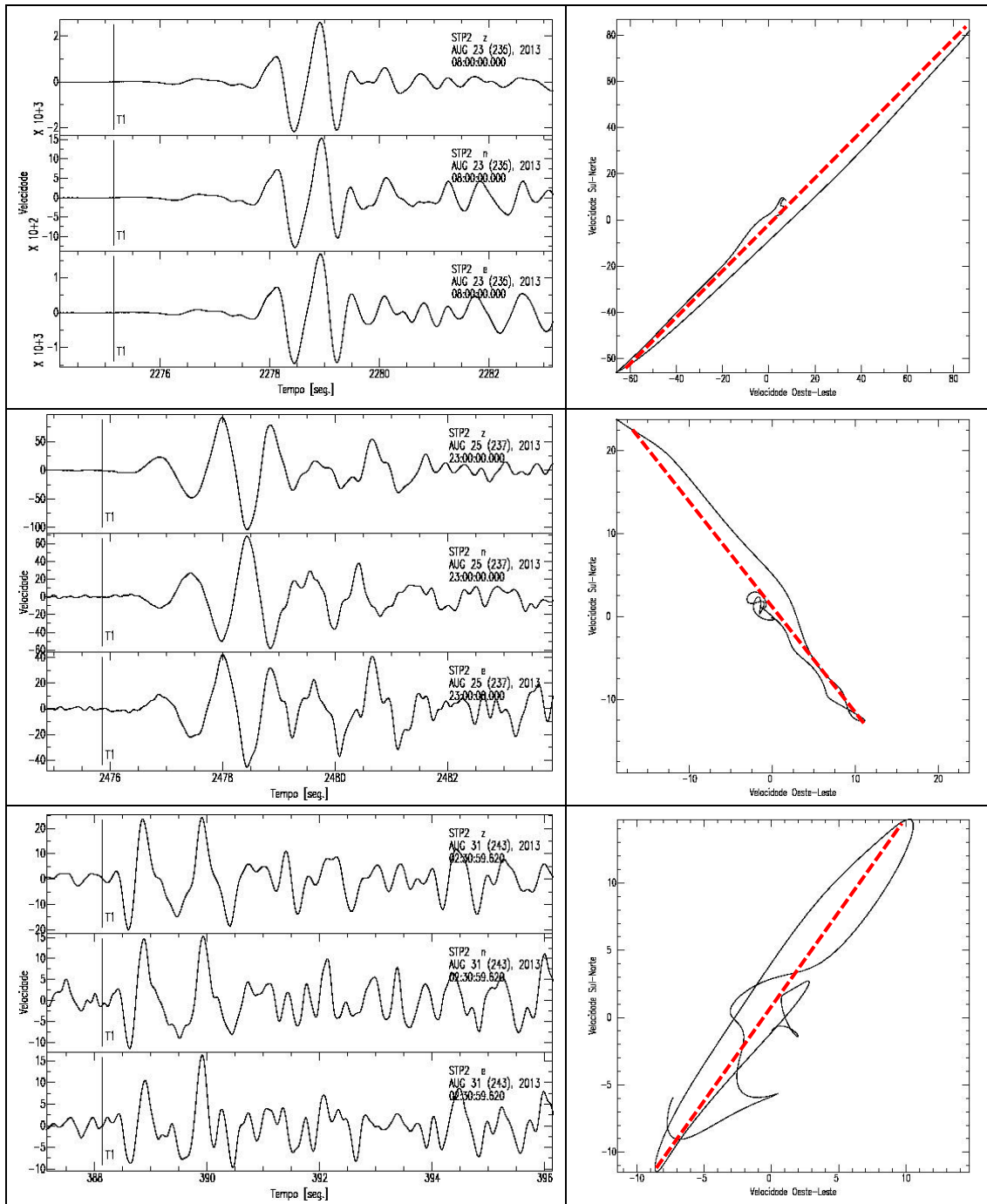




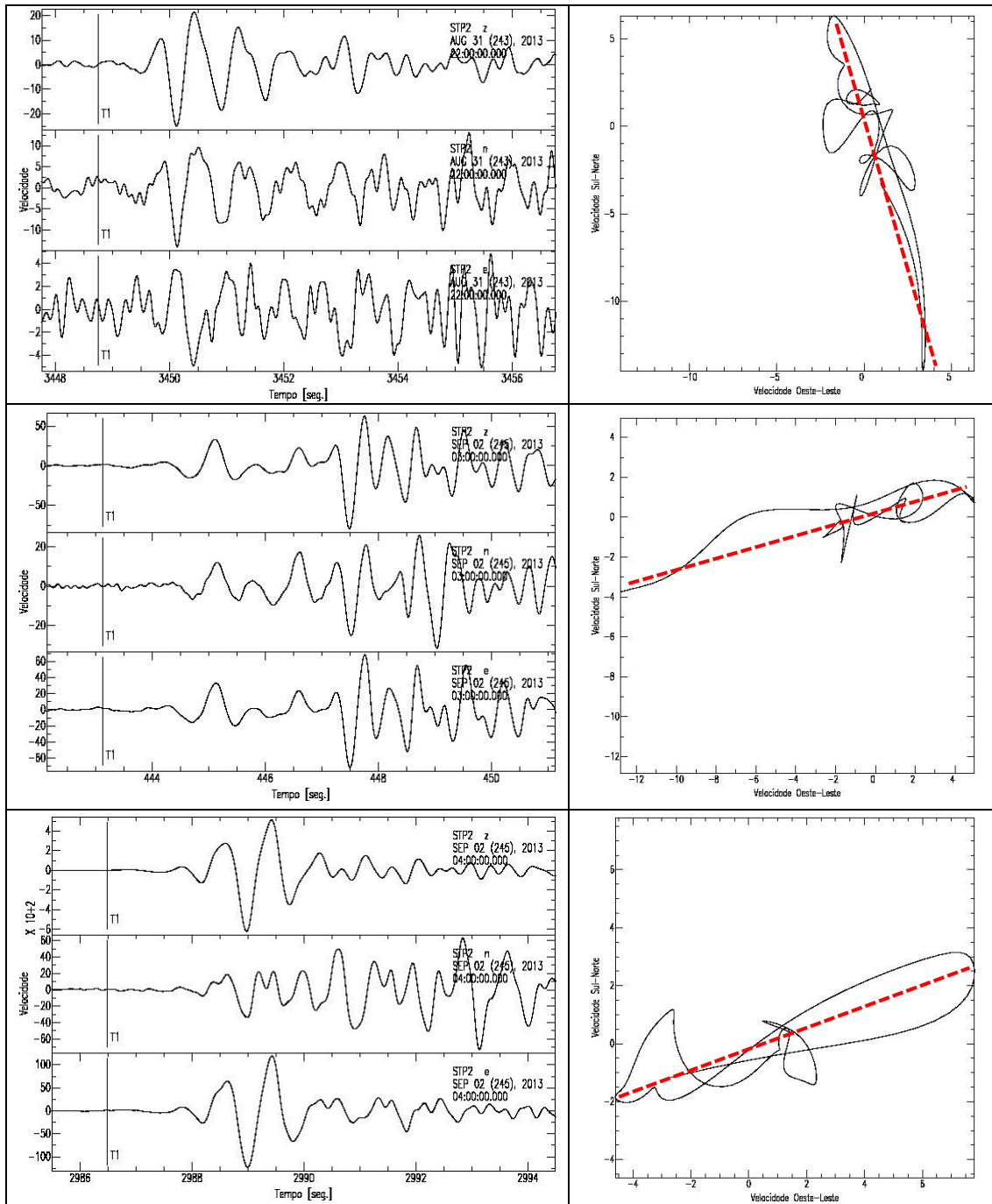
### P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



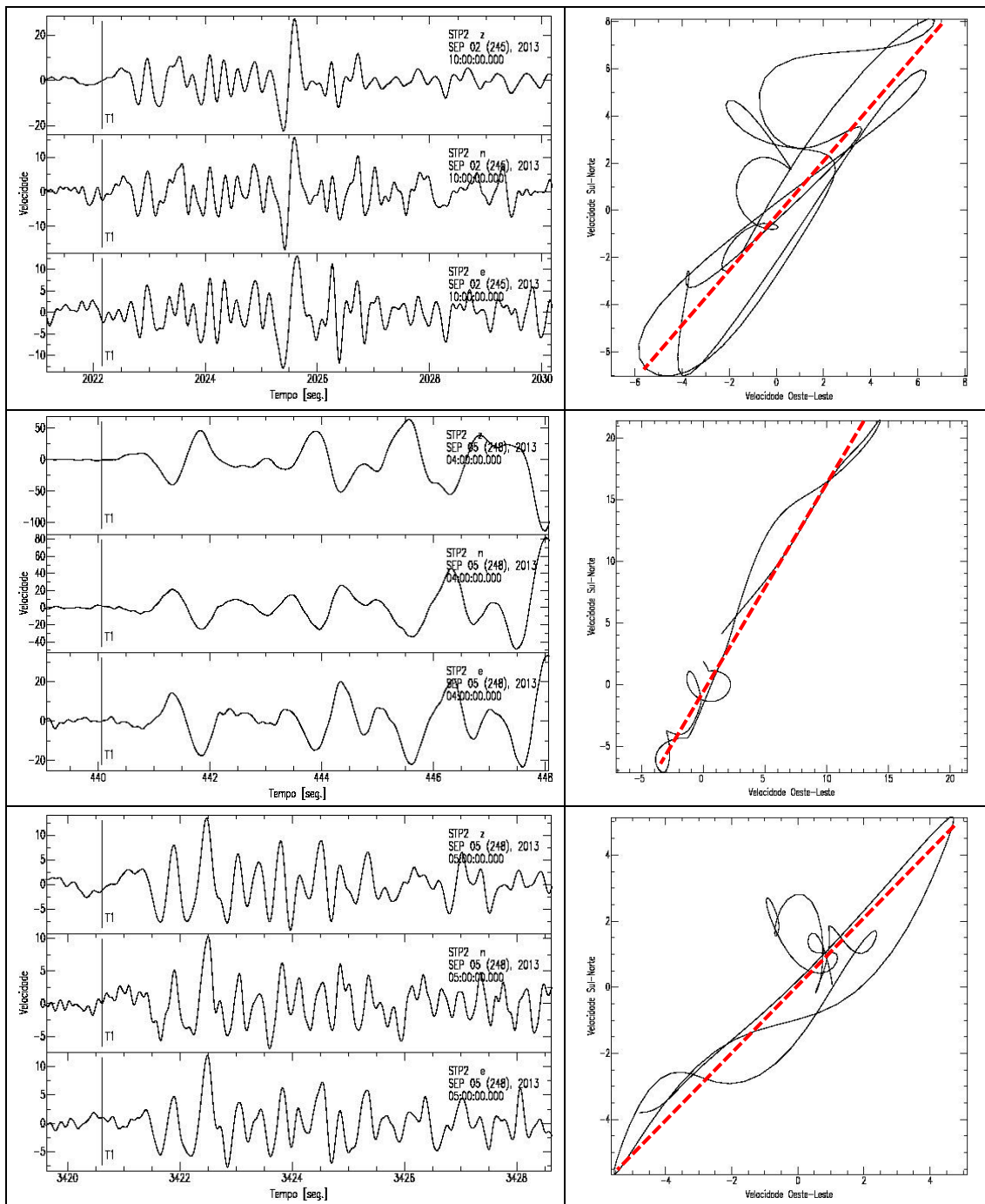
P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



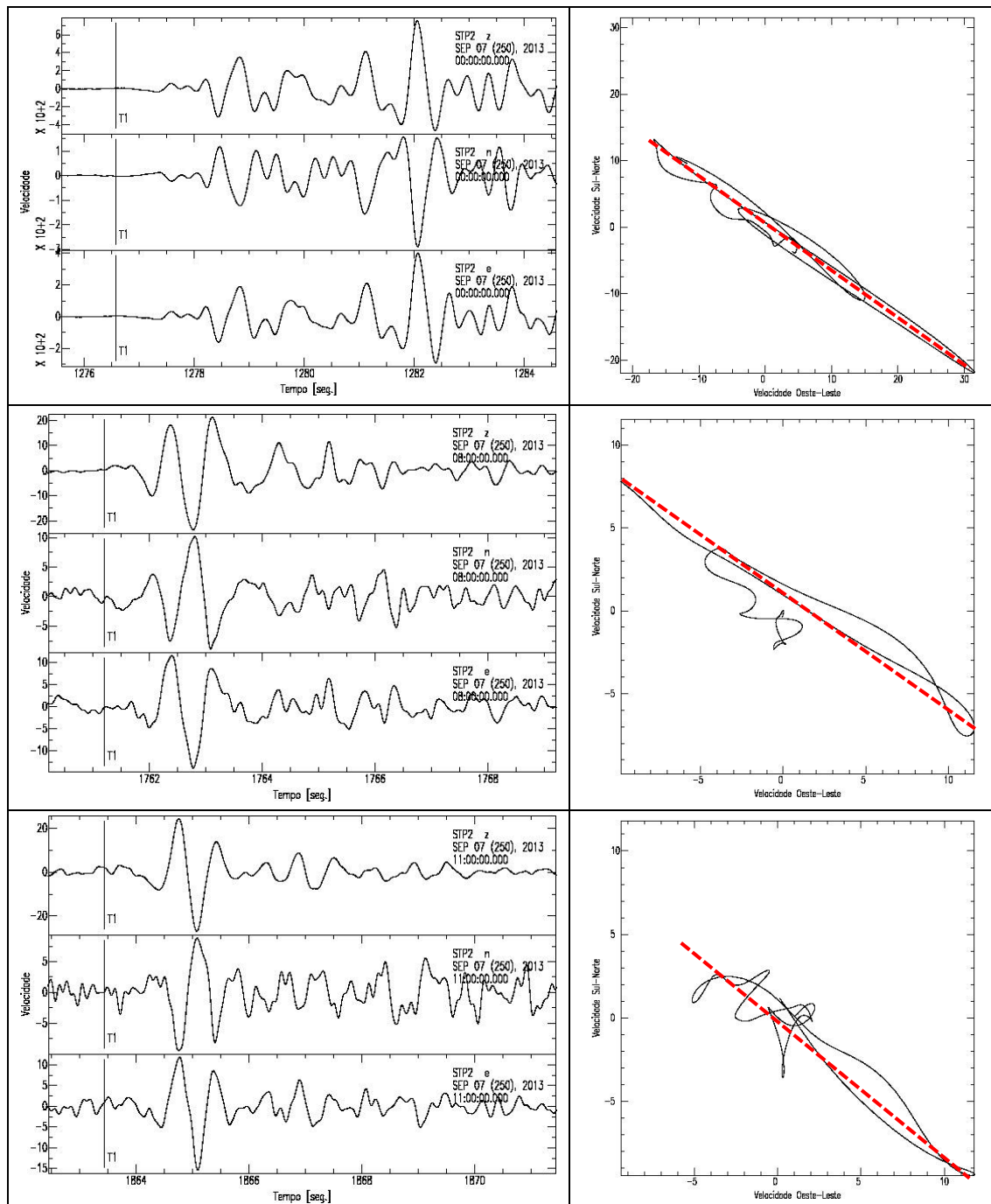
P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



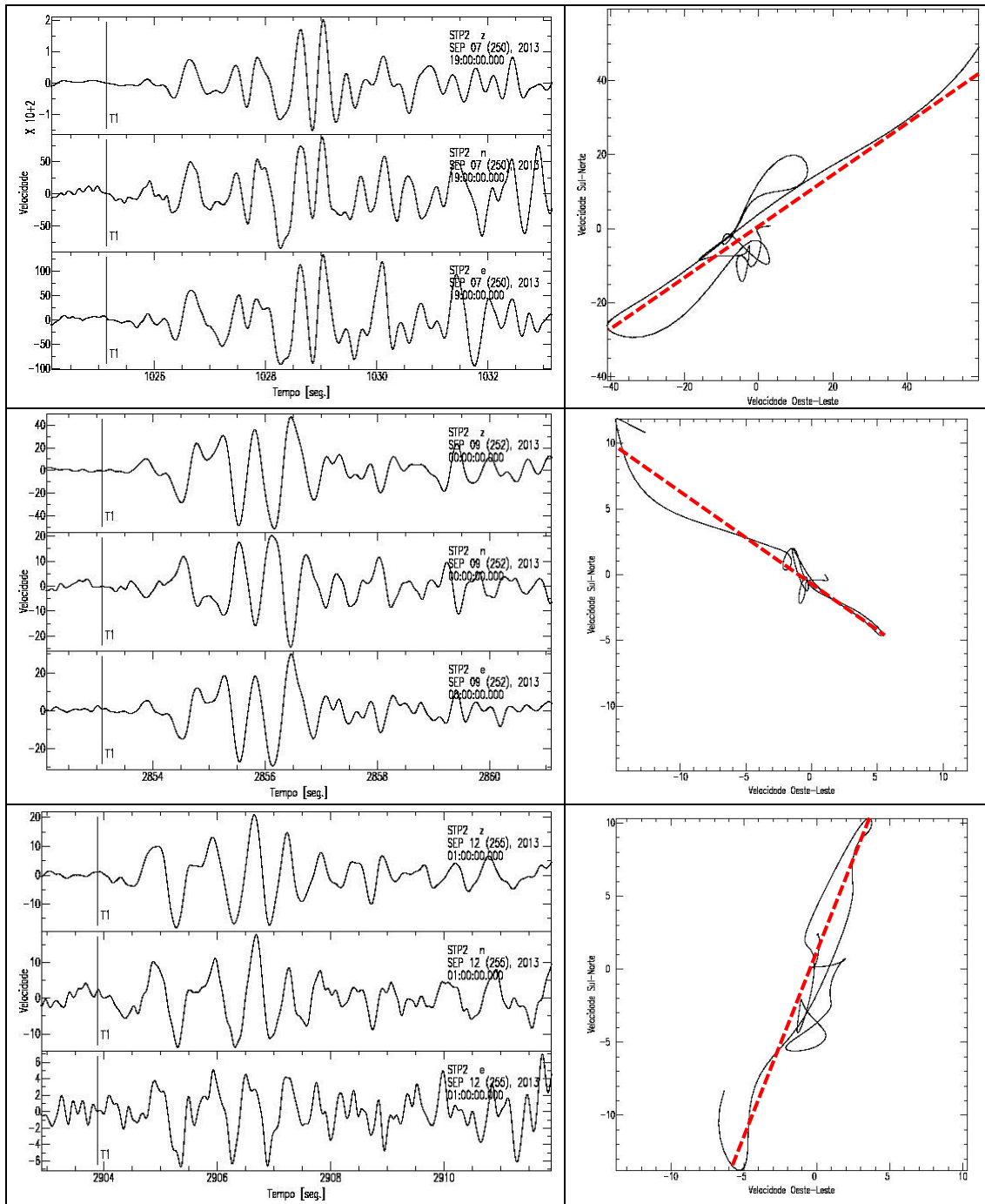
## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



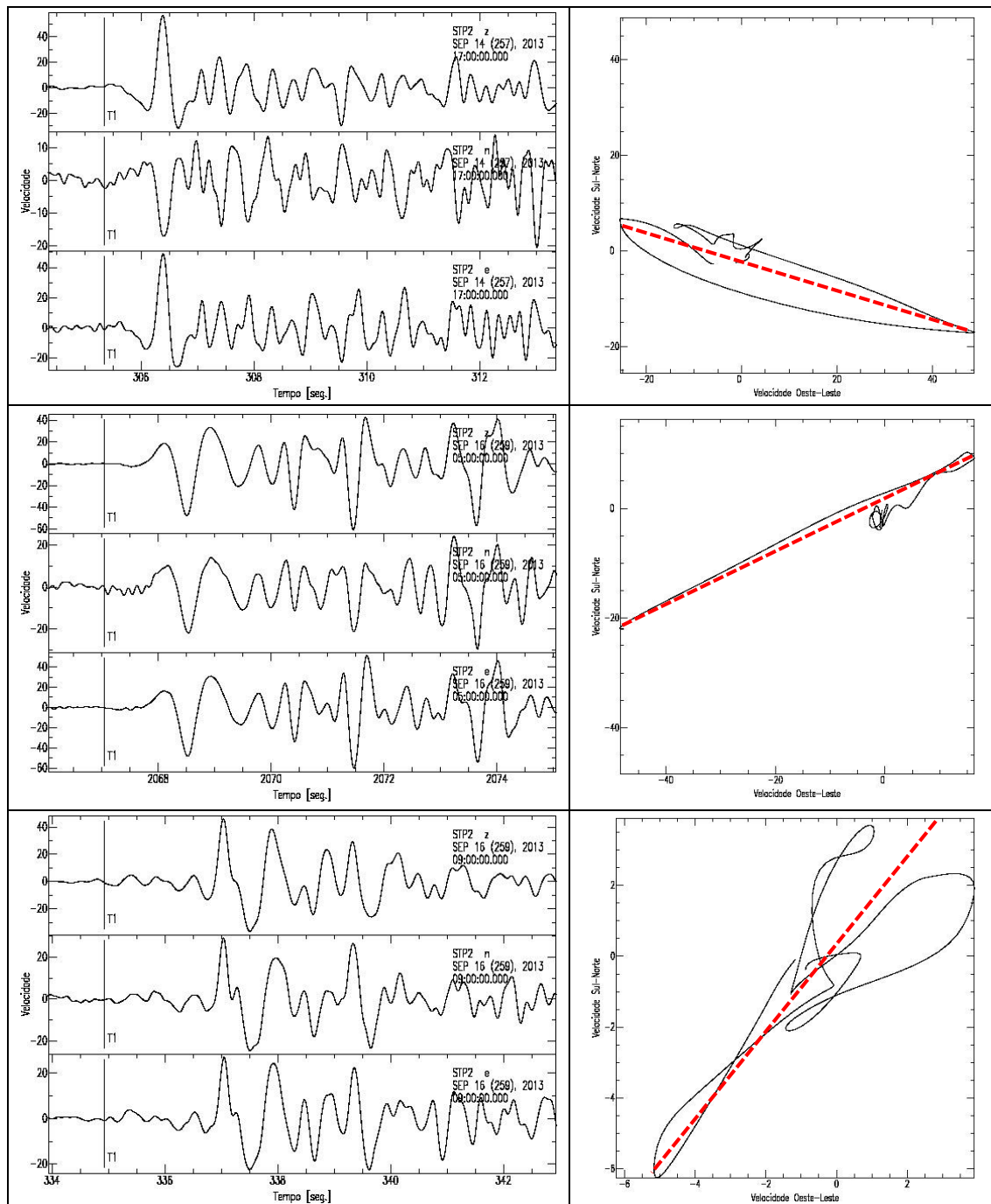
## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



### P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



## P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade



### P.06 Programa de Monitoramento da Sismicidade

