

# SUMÁRIO – 10.1 PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA SISMICIDADE DE

---

10. PLANO DE ACOMPANHAMENTO GEOLÓGICO / GEOTÉCNICO E DE RECURSOS MINERAIS .....	10.1-1
10.1. PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA SISMICIDADE .....	10.1-1
10.1.1. ANTECEDENTES .....	10.1-1
10.1.2. EVOLUÇÃO DAS ATIVIDADES, SEUS RESULTADOS E AVALIAÇÃO .....	10.1-3
10.1.2.1. CRONOGRAMA GRÁFICO .....	10.1-14
10.1.3. ENCAMINHAMENTOS PROPOSTOS .....	10.1-16
10.1.4. EQUIPE RESPONSÁVEL PELA IMPLEMENTAÇÃO NO PERÍODO .....	10.1-17
10.1.5. ANEXOS .....	10.1-17

## 10. PLANO DE ACOMPANHAMENTO GEOLÓGICO / GEOTÉCNICO E DE RECURSOS MINERAIS

### 10.1. PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA SISMICIDADE

#### 10.1.1. ANTECEDENTES

O Programa de Monitoramento da Sismicidade tem como objetivo a avaliação da atividade sísmica natural na área de influência dos reservatórios, durante um período anterior ao enchimento, para comparação com o nível de atividade sísmica obtida durante e após o enchimento dos mesmos (formação dos reservatórios), registrando as ocorrências sísmicas naturais e induzidas. Adicionalmente, também é escopo deste programa a obtenção de correlação entre sismos e feições geológicas e estruturais da área, a determinação de epicentros, intensidades, magnitudes, acelerações sísmicas e a área de influência dos eventos. Este monitoramento é fundamental para atendimento de normas que estabelecem parâmetros para averiguação da segurança das estruturas usuais da construção civil, relativamente às ações de sismos.

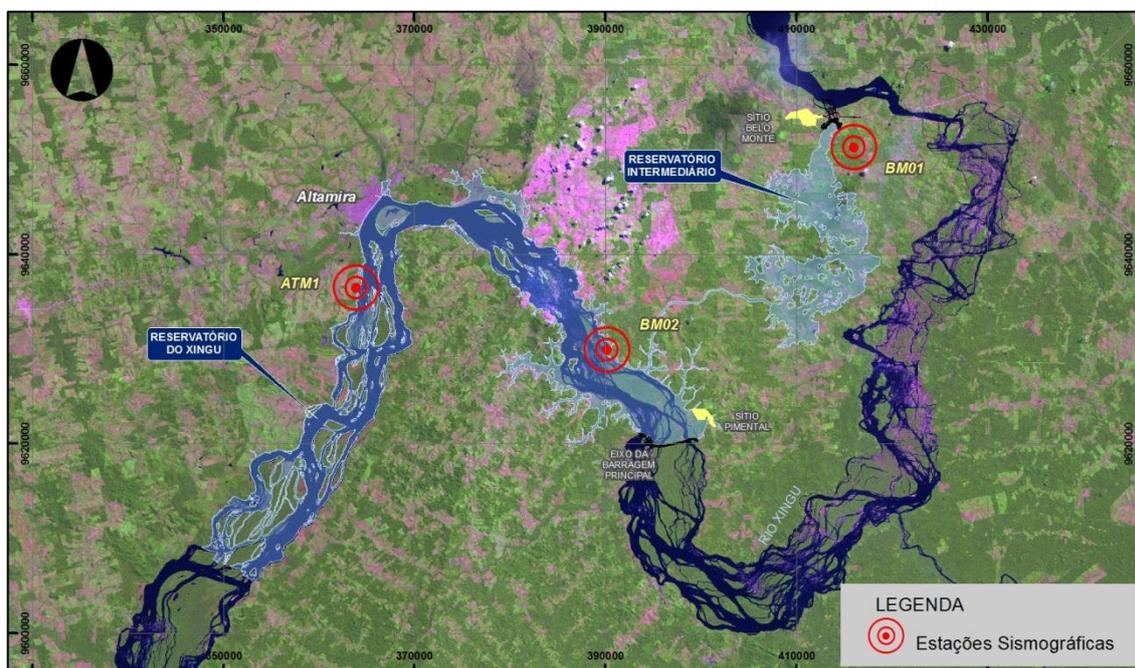
Em julho/2011 foi estabelecido a assinatura do Acordo de Cooperação Técnica entre as empresas Norte Energia S.A. e Eletronorte/Eletrobrás que indicou o início das atividades deste Programa. A partir deste acordo, procedeu-se a aquisição de 3 estações sismográficas a serem instaladas na região do entorno dos reservatórios do Xingu e Intermediário da UHE Belo Monte.

Além disso, foi definido que as atividades executivas e analíticas deste Programa ficariam sob a responsabilidade do Observatório Sismológico de Brasília (Universidade de Brasília), sendo que a primeira atividade realizada foi um caminhamento de campo para definição dos locais de instalação das 3 estações sismográficas, através de testes de ruído sísmico “*in loco*”.

Após esta definição, procedeu-se a construção pela Norte Energia dos abrigos necessários para proteção das referidas estações contra ações antrópicas e de intempéries naturais, seguindo procedimento metodológico estabelecido pelo Observatório Sismológico. Os abrigos foram construídos em alvenaria e cercados por alambrado. Esta atividade foi concluída no final do mês de janeiro de 2012.

No período compreendido de 10 a 17 de fevereiro de 2012 foi implementada a atividade de instalação das 3 estações sismográficas que compõem a rede de monitoramento prevista, tendo sido denominadas de ATM1, BM01 e BM02. Em todas as estações foram instalados sismógrafos de banda larga, da marca GURALP, operando na faixa de 30 segundos a 100 Hz, em concordância às recomendações do PBA. Em cada estação foi instalado um sismômetro, um digitalizador e um sistema de alimentação de energia para funcionamento dos equipamentos.

A **Figura 10.1 - 1** mostra a localização e a distribuição espacial das 3 estações sismográficas (ATM1, BM01 e BM02) instaladas e o futuro reservatório da UHE de Belo Monte.



**Figura 10.1 - 1 – Localização e distribuição espacial das Estações Sismográficas.**

Em fevereiro de 2012, a partir da conclusão dos serviços de instalação das 3 estações sismográficas, tiveram início as atividades de monitoramento da sismicidade da região de influência da UHE Belo Monte. Os dados gerados estão sendo encaminhados para o Observatório Sismológico em Brasília, por meio de link de internet via satélite em tempo real (acompanhamento diário – transmissão de dados). O monitoramento da sismicidade estabelecido no período de fevereiro de 2012 a maio de 2013 foi devidamente caracterizado e apresentado nos 2º, 3º e 4º Relatórios Semestrais Consolidados que foram encaminhados ao IBAMA, respectivamente nos meses de julho de 2012, janeiro e agosto de 2013.

Os dados analisados e consolidados pelas estações sismográficas estão sendo classificadas em eventos locais, eventos regionais e eventos distantes (telessismos), sendo seus resultados apresentados individualmente em forma de anexos e também alimentando o banco de dados específico criado para este programa.

Outro ponto importante que tem sido relatado continuamente nos relatórios consolidados, refere-se aos eventuais problemas de transmissão de dados que têm ocorrido nas estações sismográficas, acarretando “gaps” ou hiatos na transmissão de dados. Este problema tem sido solucionado com o estabelecimento de visitas periódicas nas 3 estações pela equipe técnica do próprio Observatório Sismológico para a coleta “in situ” destes dados faltantes que ficam armazenados em HDs instalados em cada uma das estações sismográficas. Ressalta-se que a equipe de campo da Norte Energia foi treinada pelo Observatório Sismológico para realizar estes trabalhos, a partir do primeiro trimestre de 2013, com o objetivo de tornar mais ágil e completo o recebimento destes dados e conseqüentemente sua análise. Com este

treinamento, não está havendo mais necessidade de deslocamento da equipe do Observatório Sismológico para Altamira.

Conforme mencionado nos 3º e 4º Relatórios Consolidados, esta estratégia de planejamento estabelecido pela Norte Energia garantiu, até então, a segurança na análise integral dos resultados obtidos nas estações implantadas e o pleno atendimento do monitoramento proposto no programa. Entretanto, conforme será relatado a seguir, no mês de novembro de 2013 os dados de sismicidade não foram registrados integralmente, em função dos HDs das estações estarem sem espaço para armazenamento de dados.

Já o Banco de Dados do programa é semestralmente atualizado e está disponível em formato digital a cada emissão do relatório consolidado.

### **10.1.2. EVOLUÇÃO DAS ATIVIDADES, SEUS RESULTADOS E AVALIAÇÃO**

O acompanhamento e monitoramento da sismicidade da área de influência da UHE Belo Monte no âmbito do PBA (item 4 do cronograma) teve início em fevereiro de 2012, logo após a instalação das 3 estações sismográficas, conforme mencionado anteriormente, sendo que já foram executadas, até o final de novembro de 2013, 22 campanhas mensais de um total de 80, o que corresponde a 27,5% desta atividade realizada. Ressalta-se que esta atividade se estenderá até o final do terceiro trimestre de 2018 (setembro/18), quando a partir de outubro de 2018 terá início o monitoramento e acompanhamento da sismicidade da região de influência do empreendimento, durante a operação da própria usina (item 5 do cronograma) que se prolongará até junho de 2021. Ademais, informa-se que estas atividades 4 e 5 do cronograma são fundamentalmente idênticas, diferindo entre as mesmas apenas no período de suas execuções que está relacionado a operabilidade da UHE Belo Monte.

Na análise dos dados produzidos pelas estações utilizadas neste relatório foram usados os seguintes programas:

- Scream (GURALP SYSTEM LIMITED): para a visualização e análise preliminar;
- Seismic Analysis Code – SAC (GOLDSTEIN and SNOKE, 2005): na edição das imagens dos sismogramas digitais; e
- GMT - Generic Mapping Tools (WESSEL, P. and SMITH, W. H. F., 1995): na plotagem de mapas.

Para este relatório estão sendo apresentados os dados e resultados obtidos no período de junho até novembro de 2013. Neste período foram registrados pela Rede Sismográfica de Belo Monte, um total de 692 eventos distribuídos nas seguintes

categorias: 646 eventos locais artificiais, 24 eventos regionais artificiais, 2 eventos regionais naturais e 20 telessismos.

Entretanto, informa-se que na visita de campo realizada nas 3 estações sismográficas, nos primeiros dias de dezembro de 2013, para coleta integral de dados “*in situ*” do período especificado para o 5º Relatório Consolidado, constatou-se que no período compreendido entre os dias 11 a 30 de novembro de 2013 não foi registrado nenhum evento sísmico na rede sismográfica de Belo Monte. Foi verificado que a causa para este problema deveu-se aos HDs de *back up* das 3 estações estarem cheios, sem espaço para armazenamento de dados, sendo que esta situação também não foi detectada durante a transmissão via satélite. Em função desta situação, providenciou-se junto ao Observatório Sismológico a limpeza dos referidos HDs das referidas estações para a normalização de armazenamento de dados.

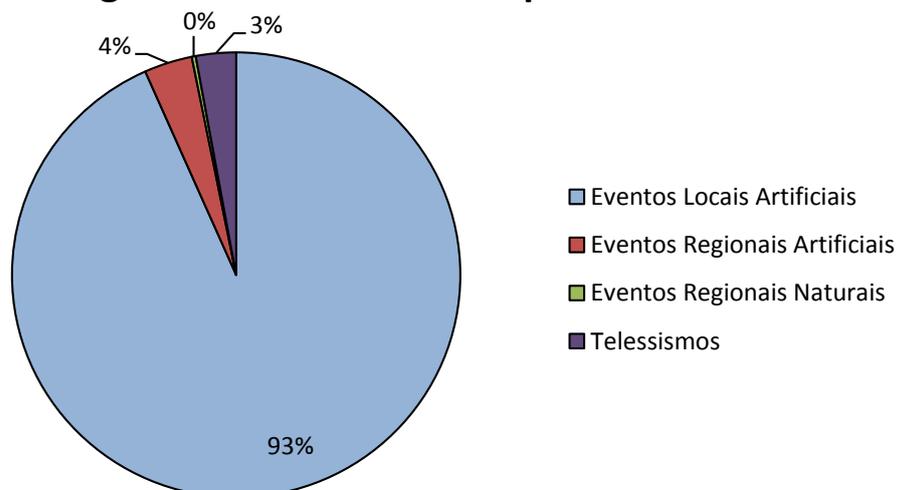
Adicionalmente, em face deste problema, foi solicitado junto à empresa responsável pela transmissão de dados via satélite, a implantação de um plano de ação que estabeleça uma solução definitiva para os problemas de *gaps* de dados que estão sendo frequentes nas estações ATM1, BM01 e BM02, ressaltando que o monitoramento da sismicidade foi planejado para que os dados sísmicos sejam enviados diretamente ao Observatório Sismológico via internet, sem a necessidade da coleta *in situ* nas próprias estações.

Destaca-se, que a primeira providência executada foi a mudança na configuração dos IPs das referidas estações (alteração na infraestrutura da internet), sendo que efetivamente tal ação isolada não normalizou as atividades de transmissão de dados.

Informa-se que estão sendo avaliadas alternativas técnicas efetivas para serem implementadas, com o objetivo de sanar estes problemas de transmissão de dados, sendo que se estipulou que a normalização desta atividade seja incrementada logo no início de 2014, para que se efetive antes do encerramento do primeiro trimestre.

A **Figura 10.1 - 2** mostra o gráfico contendo os eventos analisados para o período monitorado (junho a novembro de 2013) e suas respectivas porcentagens.

## Porcentagem Quantitativa dos Tipos de Eventos

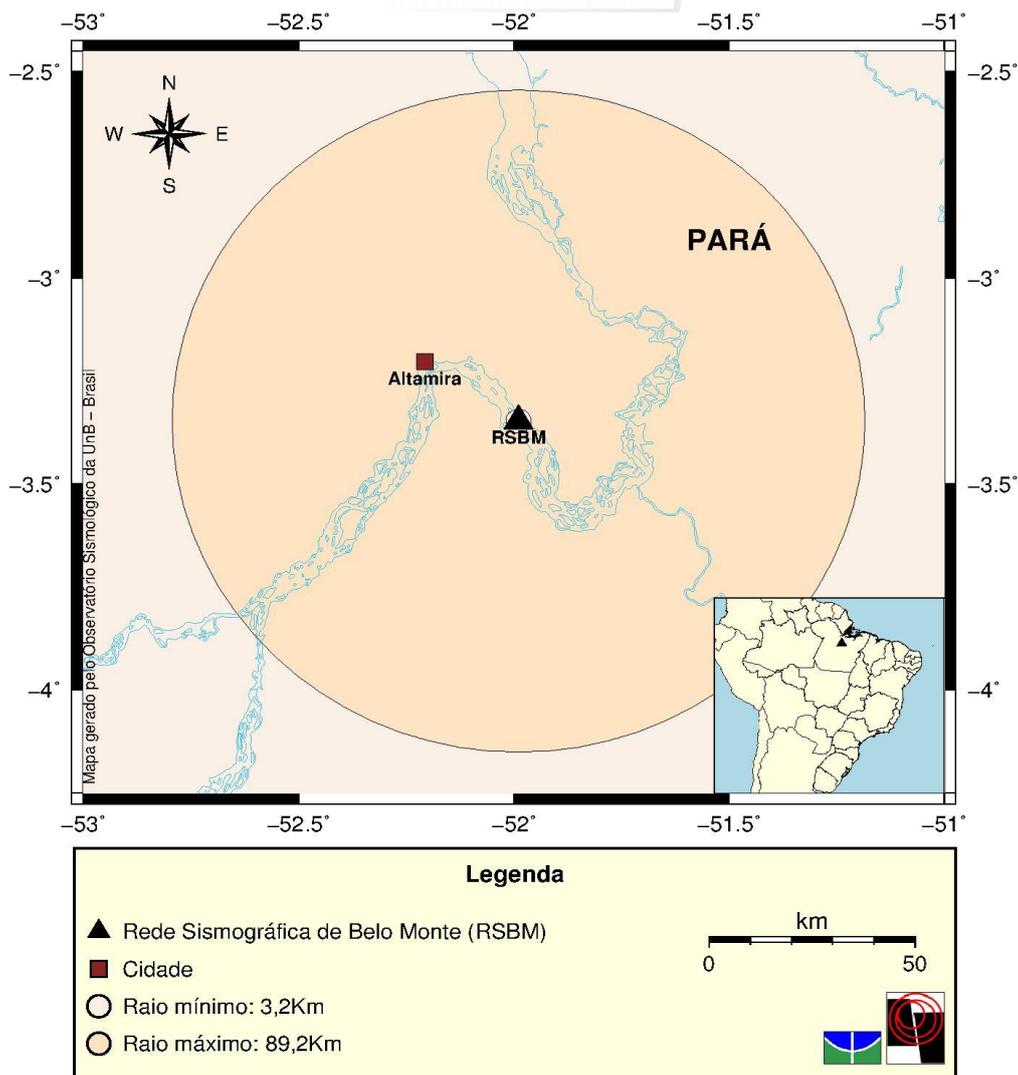


**Figura 10.1 - 2 – Gráfico indicando a porcentagem de distribuição quantitativa dos eventos registrados pela Rede Sismográfica de Belo Monte no período de junho a novembro de 2013.**

Informa-se, ainda, de forma a enriquecer e facilitar as atividades de monitoramento sísmico, que continuam sendo fornecidas pelo Consórcio Construtor Belo Monte as planilhas diárias dos planos de fogo executados para a Norte Energia, que são repassadas ao Observatório Sismológico para correlação destes dados com as informações registradas na rede sismográfica do Programa em foco. Esta ação visa facilitar a análise e interpretação dos dados registrados pelos técnicos da Universidade de Brasília (Observatório Sismológico).

### **Eventos Locais Artificiais**

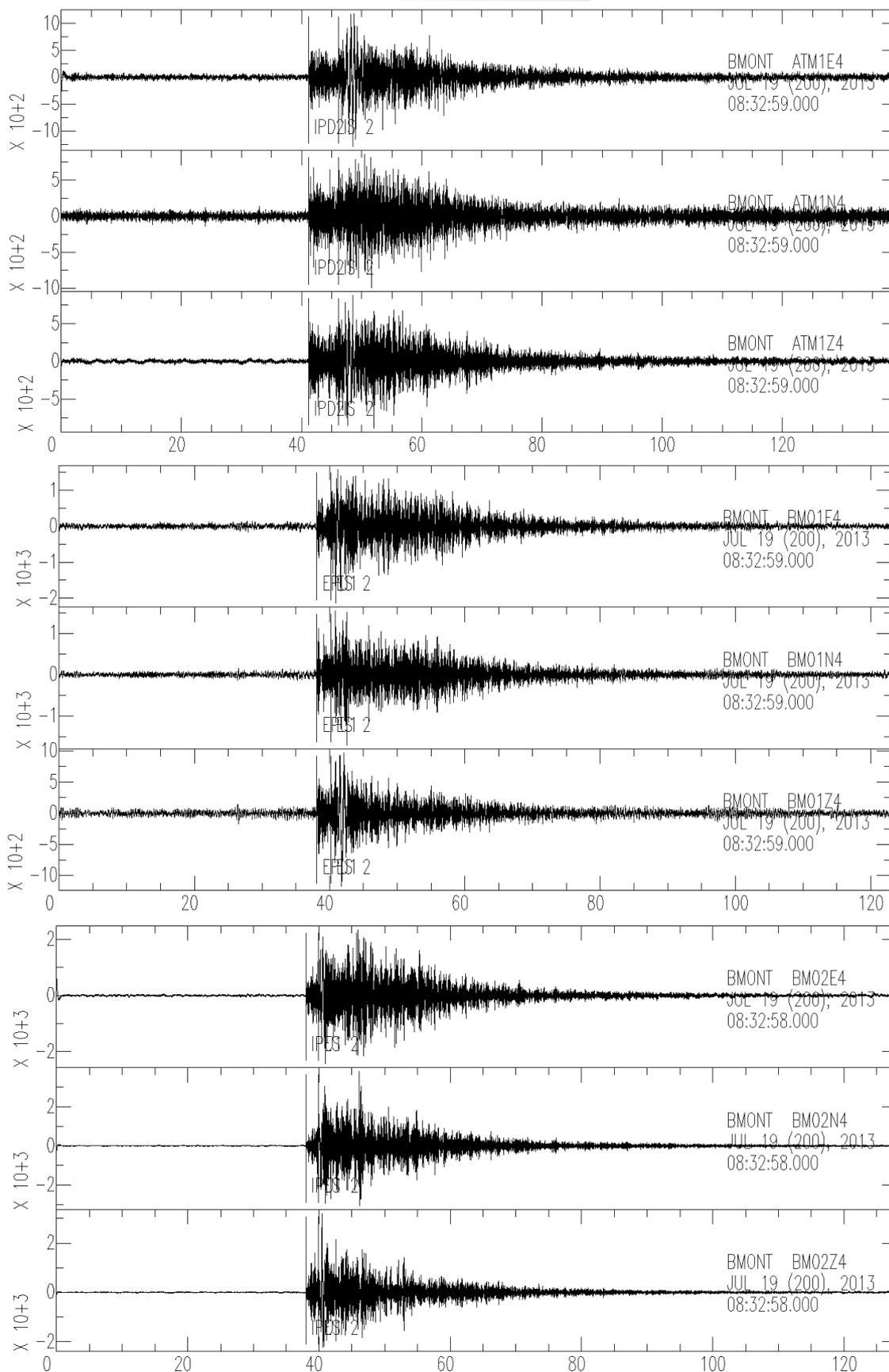
Nesta categoria encontram-se os eventos cujas distâncias epicentrais estão abaixo de 100 quilômetros das estações sismográficas. Durante o período de monitoramento foram registrados 646 eventos locais artificiais pelas estações ATM1, BM01 e BM02. Vale destacar que as distâncias epicentrais variaram de 3,2 a 89,2 km como é possível visualizar na **Figura 10.1 - 3**.



**Figura 10.1 - 3 – Mapa ilustrativo com a faixa epicentral dos eventos artificiais (explosões) locais detectados pela Rede Sismográfica de Belo Monte (Figura ilustra especificamente a estação BM02) no período monitorado.**

O **Anexo 10.1 - 1** deste relatório apresenta o registro de todos os parâmetros sísmicos dos eventos locais artificiais (explosões para detonação de rochas na UHE Belo Monte) registrados pelas estações BM01, BM02 e ATM1. Ressalta-se que a determinação dos epicentros desses eventos foi realizada usando o método do azimute reverso que utiliza informações de polaridade e amplitude das primeiras fases da onda “P”, registradas nas 3 componentes de movimento do chão (N-S, E-W e Vertical), combinadas com a distância epicentral definida pela diferença entre os tempos de chegada das ondas “S” e “P” (S-P).

Exemplificando os eventos locais artificiais, a **Figura 10.1 - 4** ilustra o registro na forma de onda nas estações ATM1, BM01 e BM02 do evento artificial ocorrido no dia 19 de julho de 2013 (evento nº 210 do **Anexo 10.1 - 1**).

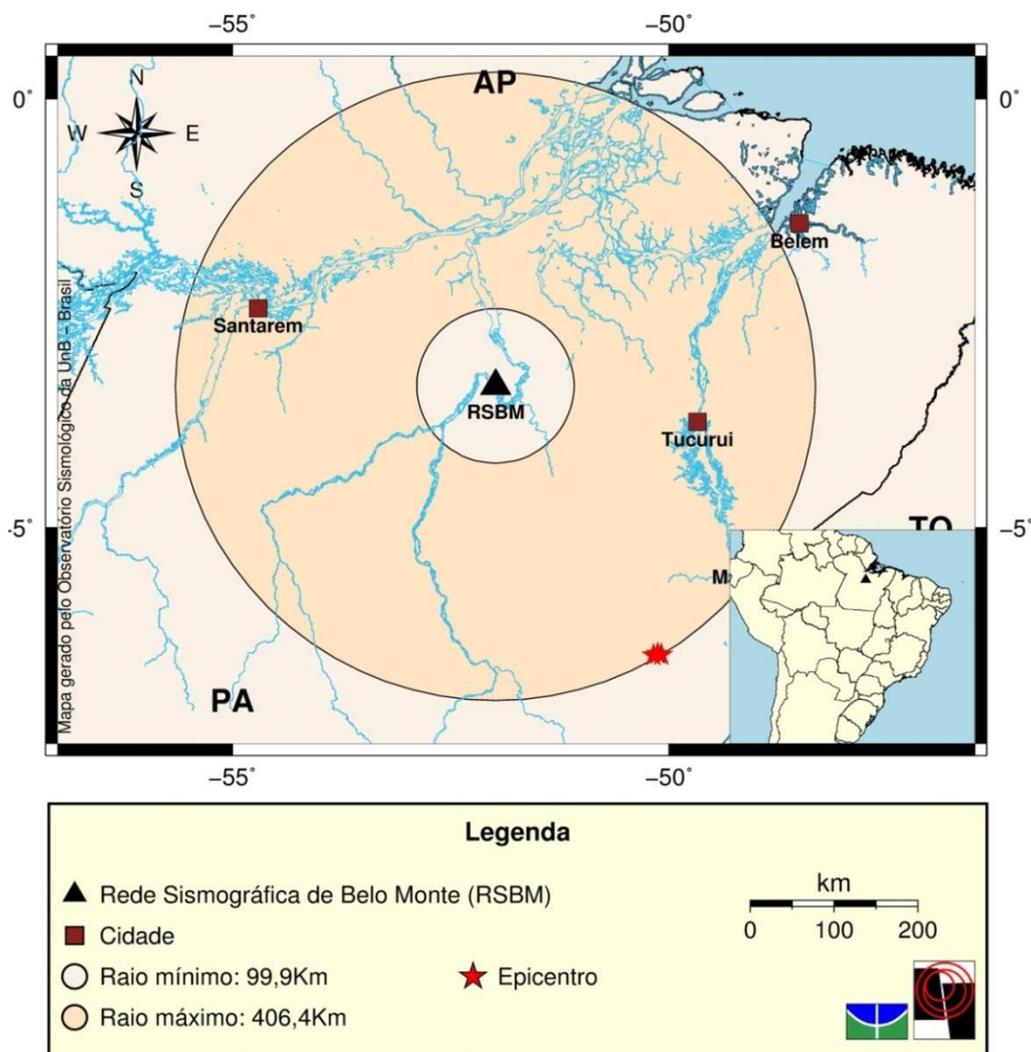


**Figura 10.1 - 4 – Registro nas estações ATM1, BM01 e BM02 da forma de onda do evento local artificial, ocorrido em 19 de julho de 2013 (evento nº 210 do Anexo 10.1 - 1).**

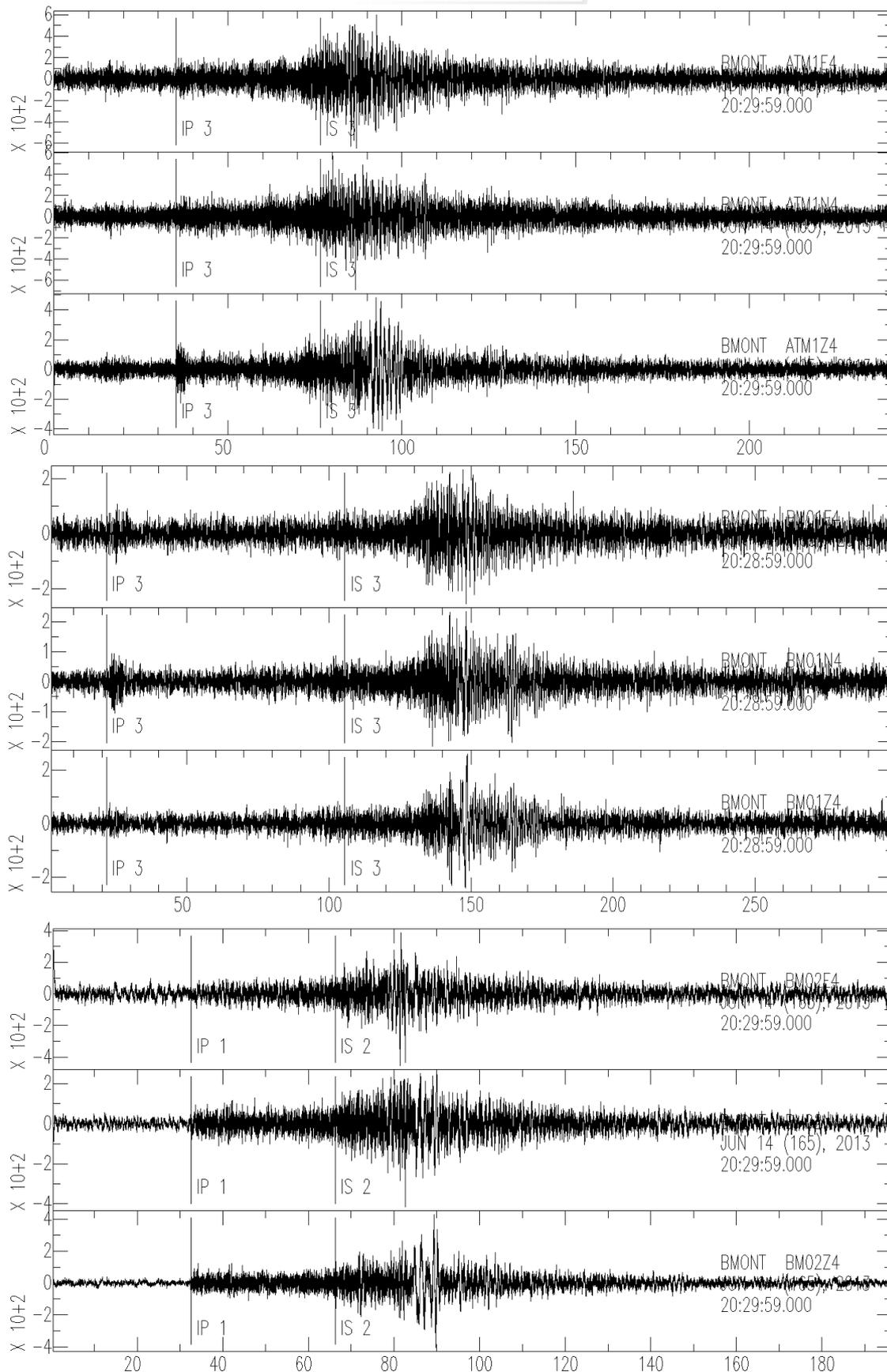
## Eventos Regionais Artificiais

Nesta categoria encontram-se os eventos cujas distâncias epicentrais estão no intervalo de 100 a 1.500 quilômetros da rede sismográfica de Belo Monte. Durante o período de monitoramento foram registrados 24 eventos regionais artificiais pelas estações ATM1, BM01 e BM02.

O **Anexo 10.1 - 2** deste relatório apresenta a listagem dos parâmetros sísmicos regionais artificiais (explosões – detonação de rochas) registrados pela rede sismográfica de Belo Monte. Exemplificando os eventos regionais artificiais, as **Figuras 10.1 - 5** e **10.1 - 6** mostram respectivamente o mapa com a faixa epicentral dos eventos detectados pela Rede Sismográfica no período de junho a novembro de 2013 e o registro da forma de onda da explosão detectada no dia 14 de junho de 2013 que teve magnitude de 2,5  $m_D$  (evento nº 04 do **Anexo 10.1 - 2**).



**Figura 10.1 - 5 – Mapa com a faixa epicentral dos eventos artificiais regionais no período monitorado e as localizações dos eventos 6, 7 e 16 listados no Anexo 10.1 - 2 (epicentros na Figura). Vale destacar que a Rede Sismográfica de Belo Monte representada nesta Figura ilustra especificamente a estação BM02.**

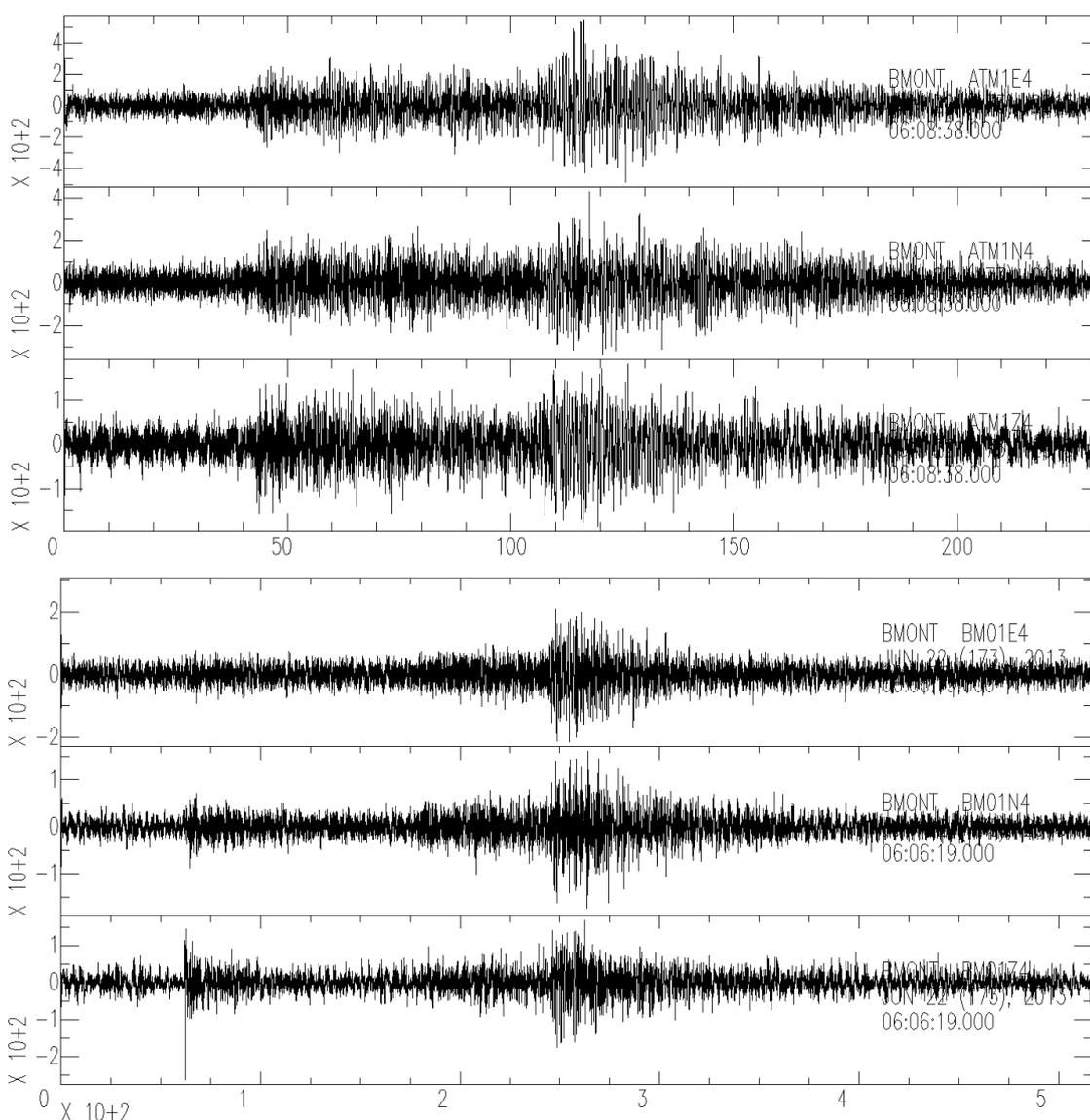


**Figura 10.1 - 6 – Registro nas estações ATM1, BM01 e BM02 da forma de onda do evento regional artificial ocorrido em 14 de junho de 2013 (evento nº 04 do Anexo 10.1 - 2).**

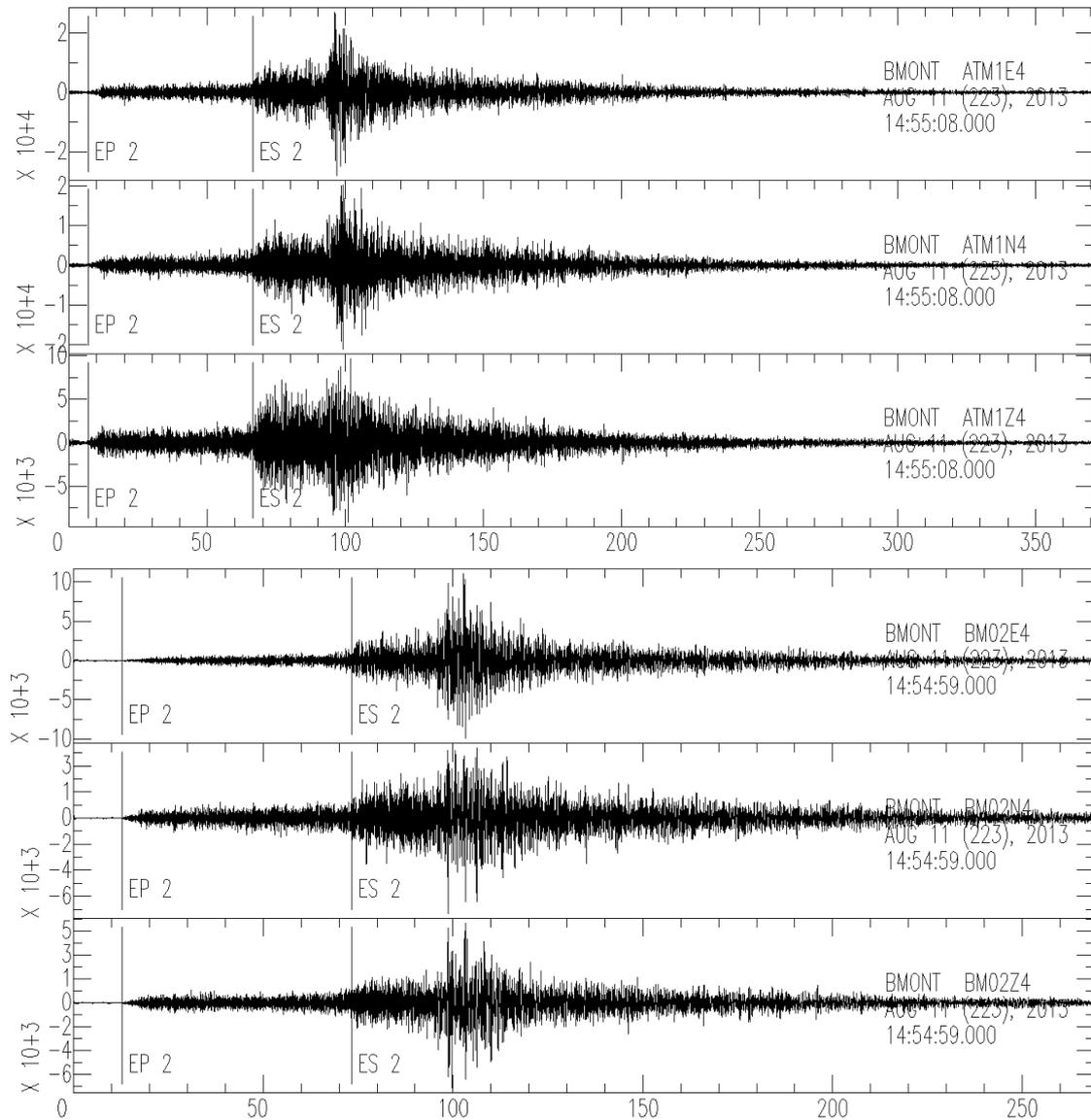
## **Eventos Regionais Naturais**

Nesta categoria também se encontram os eventos, cujas distâncias epicentrais estão no intervalo de 100 a 1.500 quilômetros da rede sismográfica de Belo Monte. Foram registrados 2 eventos regionais naturais pelas Estações ATM1 e BM02, no período monitorado, cujos parâmetros sísmicos estão apresentados no **Anexo 10.1 - 3**.

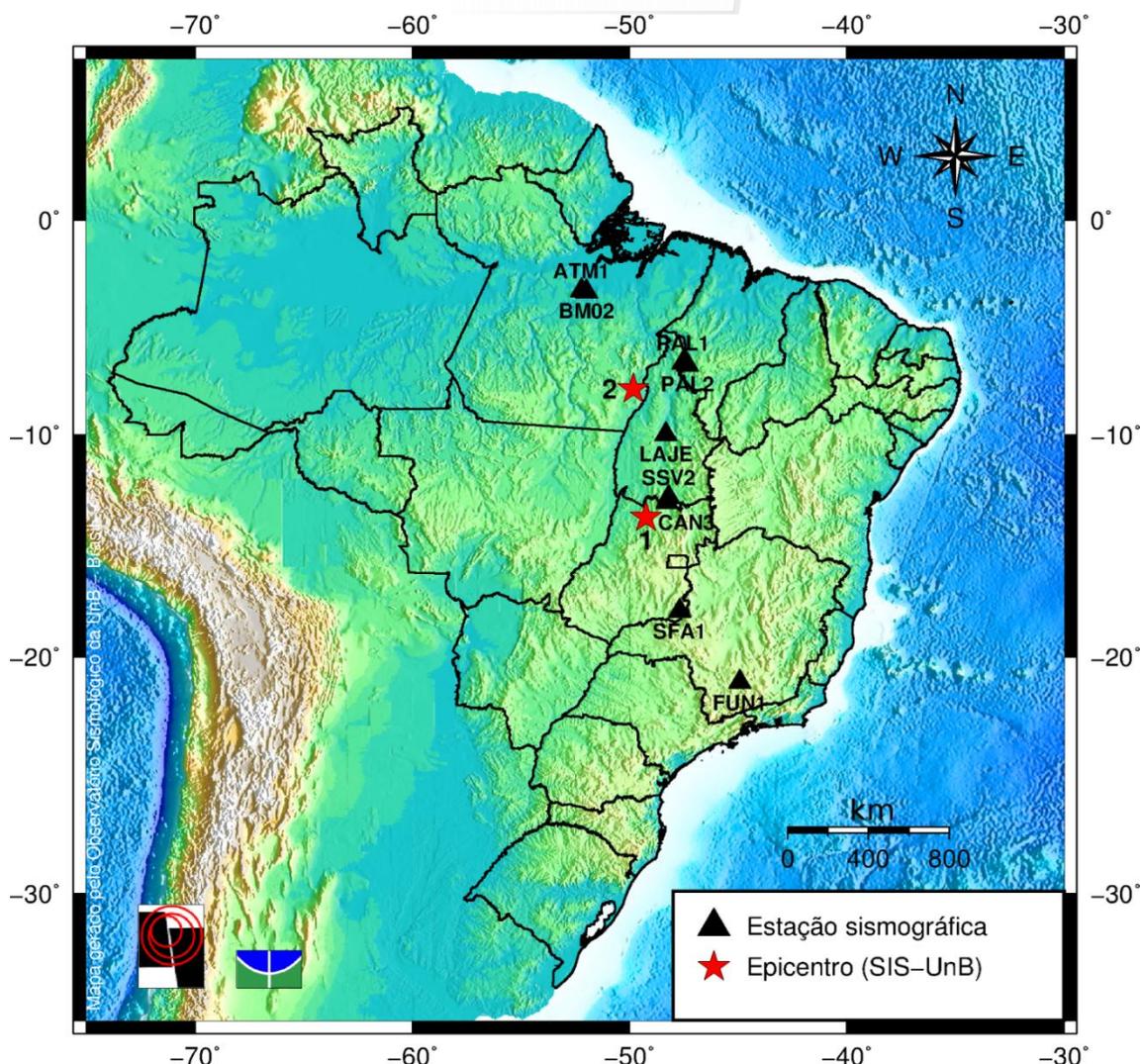
As **Figuras 10.1 - 7 e 10.1 - 8** apresentam, respectivamente, as formas de onda da explosão detectadas pelas estações ATM1 e BM02 no dia 22 de junho de 2013 que teve magnitude de 3,5  $m_D$  (evento nº 1 do **Anexo 10.1 - 3**), no norte do estado de Goiás e no dia 11 de julho de 2013 que teve magnitude de 3,2  $m_D$  (evento nº 2 do **Anexo 10.1 - 3**), no sudeste do estado do Pará. Já a **Figura 10.1 - 9** ilustra a localização epicentral destes dois eventos em relação às estações ATM1 e BM02.



**Figura 10.1 - 7 – Registro nas estações ATM1 e BM02 da forma de onda do evento regional natural, ocorrido em 22 de junho de 2013 (evento nº 01 do Anexo 10.1 - 3).**



**Figura 10.1 - 8 – Registro nas estações ATM1 e BM02 da forma de onda do evento regional natural, ocorrido em 11 de agosto de 2013 (evento nº 02 do Anexo 10.1 - 3).**



**Figura 10.1 - 9 – Mapa com a localização epicentral dos eventos regionais naturais detectados pelas estações ATM1 e BM02 no dia 22 de junho e 11 de agosto de 2013 (eventos nº1 e nº2 do Anexo 10.1 - 3). Na localização desses eventos foram utilizados dados de outras estações sismográficas, indicadas pelos triângulos pretos na Figura.**

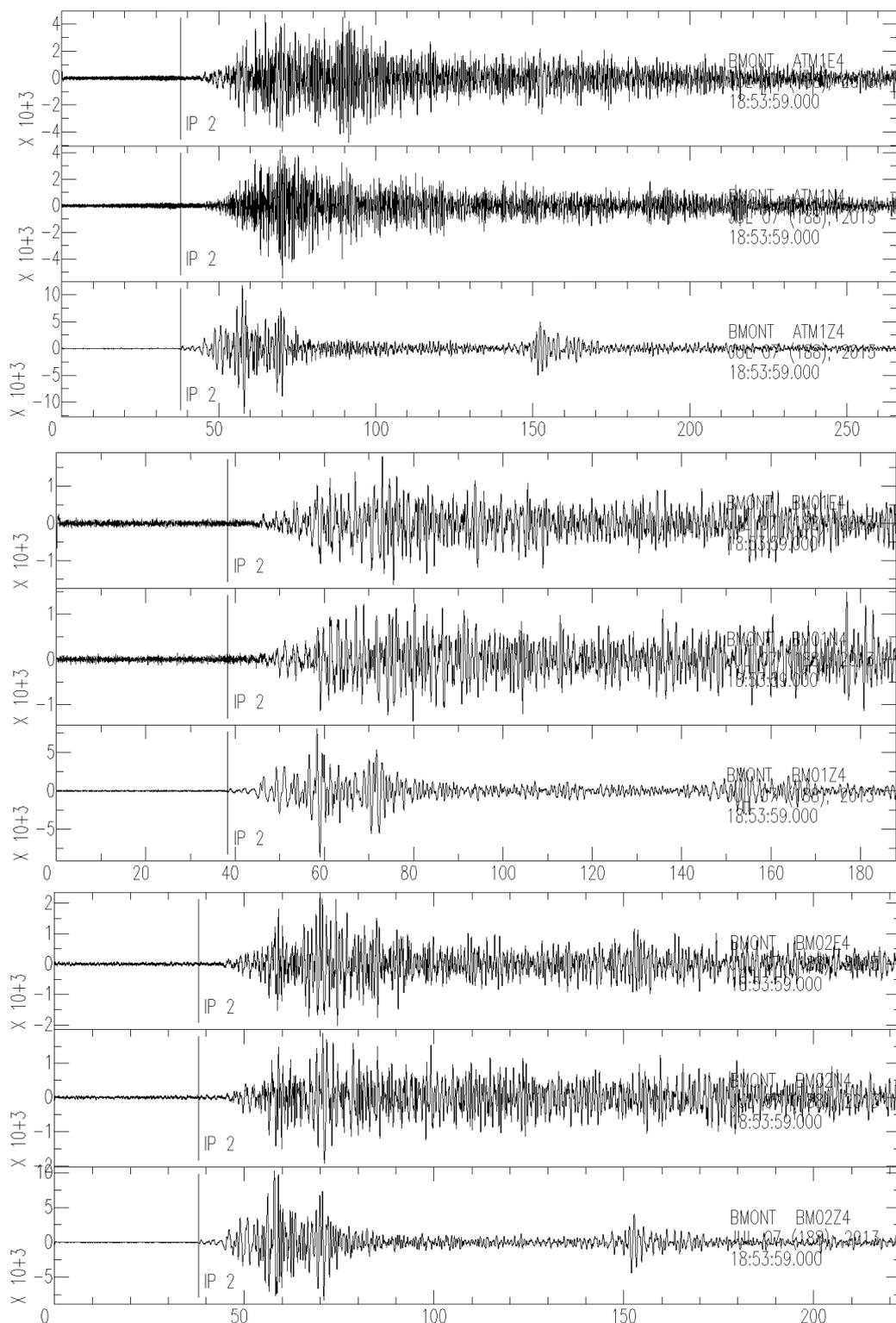
### Telessismos

Nesta categoria encontram-se os eventos cujas distâncias epicentrais estão acima de 1.500 quilômetros da rede sismográfica de Belo Monte.

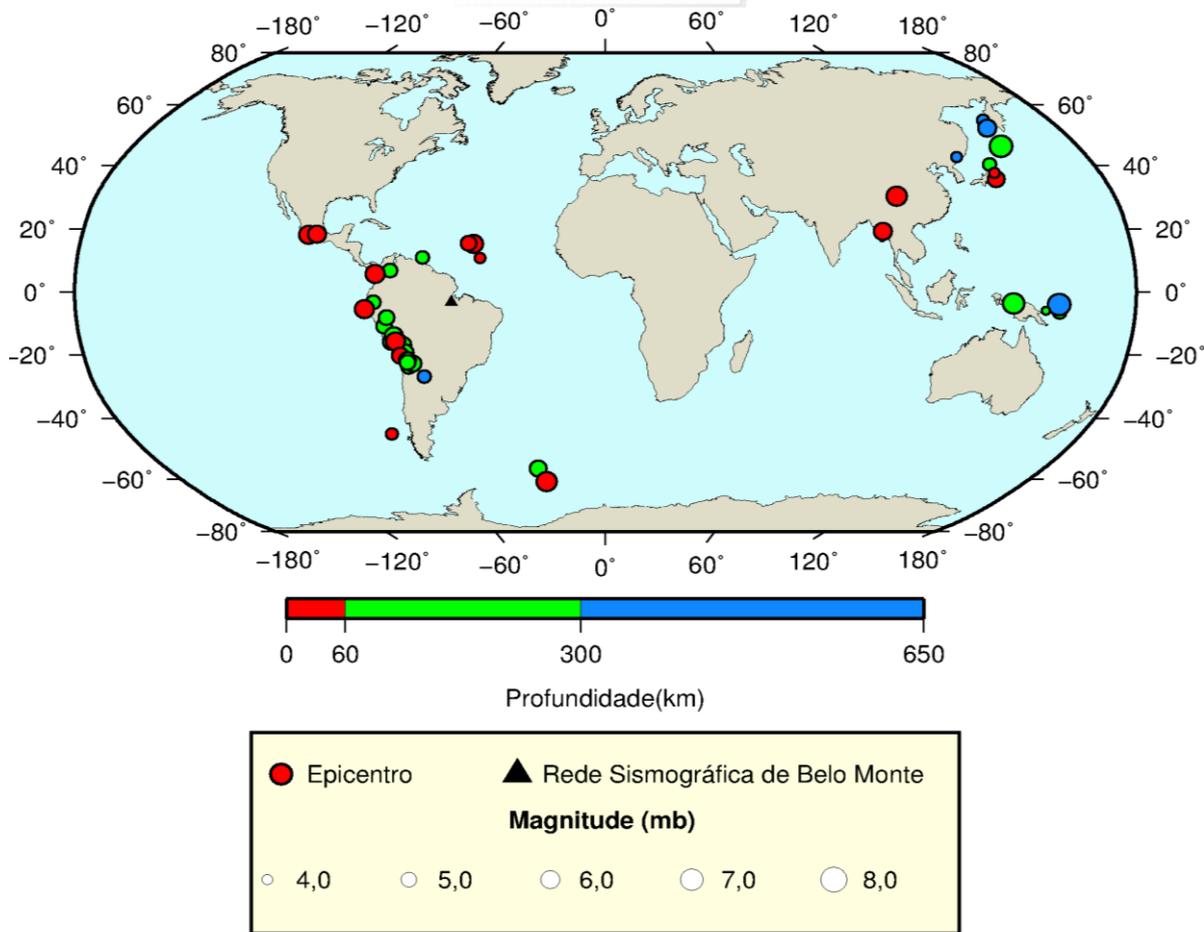
No período de junho a novembro de 2013, as estações ATM1, BM01 e BM02 registraram 20 telessismos (eventos distantes), os quais foram confirmados pelos dados dos boletins do “*National Earthquake Information Service*”, do “*U.S. Geological Survey*”. Destaca-se que nos meses de outubro e novembro de 2013 não foram registrados nenhum telessismo nas estações sismográficas. A listagem dos parâmetros sísmicos com os respectivos telessismos detectados são apresentados mensalmente no **Anexo 10.1 - 4**.

As **Figuras 10.1 - 10 e 10.1 - 11** mostram, respectivamente, o registro de evento registrado nas estações ATM1, BM01 e BM02, ocorrido no dia 07 de julho de 2013, às

18:54:43,3 (UTC) na região da Nova Irlanda, em Papua-Nova Guiné, com magnitude de 6,0  $m_b$  (evento nº 09 do **Anexo 10.1 - 4**) e o mapa com a distribuição epicentral dos telessismos detectados no período.



**Figura 10.1 - 10 – Registro, nas estações ATM1, BM01 e BM02, do telessismo ocorrido na região da Nova Irlanda, em Papua-Nova Guiné, no dia 07 de julho de 2013, às 18:54:43,3 (UTC) com magnitude de 6,0  $m_b$  (evento nº 09 do Anexo 10.1 - 4).**



**Figura 10.1 - 11 – Mapa com a distribuição epicentral dos telessismos registrados pela Rede Sismográfica de Belo Monte no período monitorado.**

#### 10.1.2.1. CRONOGRAMA GRÁFICO

O cronograma gráfico é apresentado na sequência, ilustrando o desenvolvimento das atividades no cronograma atual que foi aprovado pelo IBAMA, em junho de 2012, através da emissão do Ofício 154/2012/COHID/CGENE/DILIC/IBAMA, sendo que as linhas com as células preenchidas em laranja, representam o que foi estabelecido e proposto, e as linhas com as células preenchidas em amarelo o que já foi executado. Ademais, as células amarelas hachuradas são as atividades previstas e ainda não executadas até o final do programa.



### 10.1.3. ENCAMINHAMENTOS PROPOSTOS

O Programa de Monitoramento de Sismicidade está devidamente implantado conforme as diretrizes estabelecidas no PBA, com a rede sismográfica instalada compreendendo 3 estações, denominadas ATM1, BM01 e BM02, que estão em pleno funcionamento.

Em função dos problemas relatados neste 5º Relatório Consolidado, no que se refere à ausência de dados no período de 11 a 30 de novembro de 2013, por falhas na transmissão de dados via satélite, e pelos HDs das estações estarem com capacidade de armazenamento esgotadas, estabeleceu-se a elaboração de um plano de ação para implementação de medidas corretivas para que o monitoramento da sismicidade ocorra integralmente, com o envio de dados via satélite para as estações ATM1, BM01 e BM02. Estas ações envolvem desde um acréscimo no número de painéis solares instalados, visando um aumento na capacidade de energização das estações, até a troca da empresa responsável por esta atividade (transmissão de dados). Além disso, serão implementadas mais inspeções de campo nas 3 estações sismográficas da rede para verificação de seus equipamentos, principalmente no que se refere ao pleno funcionamento dos HDs de *back up* existentes, para se evitar novas falhas no monitoramento do Programa.

Na tentativa de suprir parte da lacuna pela falta de dados no período de 11 a 30 de novembro de 2013, prevê-se a execução de pesquisas no sentido de se obter dados oriundos de outras estações operadas pela Eletronorte e Observatório Sismológico de Brasília, que apresentem registros de sismos regionais ou naturais que possam ser correlacionados com a área de influência do empreendimento de Belo Monte. A possibilidade da obtenção destes resultados, a partir de dados obtidos de outras estações sismológicas, será discutido junto ao Observatório Sismológico, sendo que o produto desta avaliação técnica será informado no 6º Relatório Consolidado.

Ademais, informa-se que a palestra de esclarecimento em relação aos aspectos gerais do programa de monitoramento sismológico dos reservatórios junto à comunidade de Altamira e arredores, no âmbito do Fórum de Acompanhamento Social do Meio Físico e Biótico, que foi programada para o segundo semestre de 2013, foi postergada para o primeiro trimestre de 2014. Uma data consensuada junto aos técnicos do Observatório Sismológico e à equipe da Norte Energia, responsáveis pelo Fórum mencionado, está sendo avaliada para este atendimento.

Informa-se ainda, conforme já descrito no 4º Relatório Consolidado, que visando atender às recomendações propostas pelo IBAMA no Parecer 168/2012, datado de 22/12/2012, devem ser executadas campanhas de esclarecimentos à população sobre a possibilidade de sismicidade induzida e dos seus possíveis efeitos, no âmbito do Programa de Interação Social e Comunicação, conforme previsto no PBA. No entanto, informa-se que durante a revisão do cronograma deste PBA foi discutido e consolidado que tais campanhas só seriam estabelecidas caso ocorressem sismos induzidos na região do empreendimento. Inclusive, verifica-se no próprio cronograma do PBA, que foi inserida esta observação no final do texto da atividade 6 das colunas

em amarelo (revisão do cronograma) que estabelece: “*Campanhas de Esclarecimentos à População (em caso de eventos sísmicos)*”. Mesmo assim, estabeleceu-se a realização da palestra mencionada no parágrafo anterior, conforme a recomendação proposta no referido Parecer do IBAMA.

#### 10.1.4. EQUIPE RESPONSÁVEL PELA IMPLEMENTAÇÃO NO PERÍODO

PROFISSIONAL	FORMAÇÃO	FUNÇÃO	REGISTRO ORGÃO DE CLASSE	CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CTF
Lucas Vieira Barros	Engenheiro Eletrônico, Dr.	Coordenador Geral	CREA-DF 3.056/D	646.187
Mônica Giannocar Von Hulsen	Geofísica, Dra.	Pesquisadora	-	-
Darlan Portela Fontenele	Especialista em Redes de Computadores	Coordenador Técnico	CREA-DF 978/TD	-
Francisco Assis Lima	Engenheiro Elétrico, M Sc.	Subcoordenador Técnico	CREA-DF 5.114/TD	-
Marcelo Moreira Fernandes	Tecnólogo em Comunicações	Tecnólogo em Telecomunicações	CREA-DF 19.635/D	-
Francimilton Salustiano da Silva	Técnico em Eletrônica	Técnico em Eletrônica	CREA-DF 9.229/TD	-
Alexandre Luiz Canhoto de Azeredo	Geólogo	Coordenador Meio Físico	CREA-RJ 100.015/4-D	567.608

#### 10.1.5. ANEXOS

**Anexo 10.1 - 1 – Eventos Locais Artificiais**

**Anexo 10.1 - 2 – Eventos Regionais Artificiais**

**Anexo 10.1 - 3 – Eventos Regionais Naturais**

**Anexo 10.1 - 4 – Telessismos**