

IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO SISMOLÓGICO DA UHE SANTO ANTÔNIO DO JARI

Relatório de Andamento N^o. 01 (RTA-Jari-Sismologia-01/12)

Preparado por:



Especialmente para:



São Paulo
Janeiro de 2012

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	02
2. OBJETIVOS	02
3. ARCABOUÇO TECTÔNICO E SIMSMICIDADE REGIONAL	04
4. A ESTAÇÃO SISMOGRÁFICA SANTO ANTÔNIO DO JARI (ESJA)	06
4. 1. Seleção do Local da estação ESJA	06
4. 2. Equipamentos da ESJA	07
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	09
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	10
ANEXO 1- Mapa de Localização da Estação ESJA	11

1. INTRODUÇÃO

O serviço “Monitoramento Sismográfico na Região do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio do Jari” está sendo executado pela empresa **VERACRUZ Soluções Geofísicas e Geológicas Ltda**, e atende a Licença Prévia (LP N° 337/2009, IBAMA) e de Instalação (LI N° 798/2011, IBAMA) emitidas pelo IBAMA para o AHE Santo Antônio do Jari. Este Programa ambiental tem por finalidade auscultar a sismicidade existente na região de influência sísmica para a barragem da futura UHE Santo Antônio do Jari em um raio de 320 km (200 milhas) com centro na posição da futura barragem, a qual está sendo construída nas coordenadas 0° 40' de latitude sul e 52° 30' de longitude oeste, no Rio Jari, na divisa dos estados do Amapá e Pará.

Neste relatório técnico são descritas as principais atividades relacionadas com a seleção do local da futura Estação Sismográfica do Jari (ESJA) e são apresentadas as descrições dos equipamentos sismográficos que serão utilizados. Além disso, é apresentada a análise da atualização do catálogo sísmico brasileiro para a região de influência sísmica do empreendimento, assim como uma breve discussão sobre a parceria com a Universidade de São Paulo para o uso dos dados da futura estação ESJA em trabalhos científicos e para a melhoria do conhecimento da sismicidade brasileira na região Norte do país, complementando os dados adquiridos pelas estações sismográficas das UHEs Tucuruí e Balbina.

2. OBJETIVOS

O serviço de levantamento da Atividade Sísmica na área do futuro Reservatório da UHE Santo Antônio do Jari, tem diferentes objetivos principais nos períodos de pré-enchimento, enchimento e pós-enchimento do reservatório. No período de pré-enchimento, que irá se iniciar em 1° de março de 2013, o monitoramento sismográfico tem os seguintes objetivos:

- Todo os sismos locais que ocorram na região contida em um raio de 100 km e áreas vizinhas a partir do local onde será construída a barragem do AHE Santo Antônio do Jari, serão utilizados para definir o nível de atividade sísmica local na área do empreendimento, oferecendo uma informação importante para justificar a futura classificação dos sismos locais naturais e de eventuais sismos induzidos pelo reservatório. A análise desses eventos locais constitui o principal interesse do presente monitoramento e serão apresentados nos boletins sísmicos trimestrais;
- Os sismos regionais com distância maior que 100 km, porém dentro da Área de Influência Sísmica (100 milhas a partir da barragem) do empreendimento, serão

usados para acompanhar a evolução de eventuais surtos de atividade sísmica composta por sismos de maiores magnitudes. A sismicidade da região Norte do país é muito pouco conhecida, e por isso a ampliação desse conhecimento pode ser útil para verificar a influência de eventos regionais de maiores magnitudes sobre a obra;

- Assessorar a **EDP** em assuntos relacionados com os estudos sismológicos na UHE Santo Antônio do Jari, prestando esclarecimentos à população que mora nas proximidades do futuro reservatório, caso ocorra atividade sísmica provavelmente local nas proximidades do empreendimento.

No período de enchimento e pós-enchimento, o principal objetivo do presente monitoramento é verificar a presença ou não de atividade sísmica induzida pelo reservatório. No Brasil, menos de 10% dos reservatórios induzem atividade sísmica, e essa probabilidade é maior para reservatórios com lâmina de água maior que 50 metros. O futuro reservatório da UHE Santo Antônio do Jari é relativamente pequeno e será pouco profundo, e por isso espera-se que o mesmo não apresente atividade sísmica induzida.

Além desse objetivo principal, a Estação Sismográfica do Jari (ESJA) será a estação posicionada mais ao Norte do Brasil, sendo importante para ampliar o conhecimento sobre a atividade sísmica nessa região. Desta forma, a realização de parceria com uma instituição de pesquisa é importante para integrar e aproveitar os dados da ESJA ao conhecimento científico sobre a atividade sísmica regional e sobre a estrutura da crosta e do manto superior na região, sendo uma informação fundamental para ampliar os estudos de tomografia sísmica com ondas de superfície, tomografia com onda de corpo e cálculo de função do receptor para estudo da espessura da crosta.

Inicialmente o empreendedor previu a contratação da Universidade de Brasília para fazer esse papel integrador dos dados, porém, devido a série de serviços já realizados por esse universidade e pela falta de logística da mesma no momento, optou-se pela contratação do professor e consultor Afonso Emidio de Vasconcelos Lopes, que é professor de sismologia da Universidade de São Paulo e especialista em monitoramento sísmico de reservatórios hidrelétricos, tendo participado dos monitoramentos dos reservatórios da UHE Peixe-Angical-TO, UHE Retiro Baixo-MG, UHE Boa Esperança-PI, UHE Ourinhos, PCH Santa Rosa-RJ, além de outros monitoramentos de atividade sísmica local realizados em Angra dos Reis-RJ (ELETRONUCLEAR), Correntina-BA, Belo Jardim-PE, Elisiário-SP e Bebedouro-SP.

Os dados da futura estação ESJA serão integrados aos dados das redes sismográficas da Universidade de Brasília, da **VERACRUZ** (3 estações) e da Universidade de São Paulo (30

estações) com o apoio do Prof. Afonso Emidio de Vasconcelos Lopes, o qual será o responsável pelo monitoramento sismográfico junto à **VERACRUZ**, que é a empresa contratada para a realização da instalação e operação da ESAJ e na elaboração dos relatórios técnicos trimestrais com a apresentação do Boletim Sísmico Local do período do relatório. Todas as atividades a serem executadas pela **VERACRUZ** também serão acompanhadas pelo Prof. Dr. Afonso Lopes.

3. ARCABOUÇO TECTÔNICO E SISMICIDADE REGIONAL

A região da bacia hidrográfica do rio Jari encontra-se em área de escudo estável, sem registro de atividade sísmica, porém com a presença de “cicatrices” de colisões de placas muito antigas, representadas na região pela sutura do Jari, que acompanha o curso desse rio na direção NW-SE, e que estaria vinculada a falhas NW-SE e SW-NE que delimitam o Alto do Maecuru (**MIOTO, 1993**). A tectônica de cavalgamento imprime grandes deformações na zona de colisão e, se gerar componentes oblíquos e direcionais, dará origem a cinturões transcorrentes dúcteis, associados aos processos de recristalização metamórfica e migmatização, sob condições geralmente de fácies anfíbolito.

A aglutinação de massas continentais pretéritas requer atuação de movimentos tectônicos horizontais que, no território brasileiro, são de difícil caracterização tendo em vista o nível atual de conhecimento geológico e geocronológico. A idade estimada dessa reestruturação é do fim do Arqueano e refere-se à transição de regime tectônico permóvel (dúctil) para frágil (rúptil), na passagem para o Proterozóico. A sismicidade, preferencialmente, incide nas proximidades dessas linhas de sutura e transcorrência, mesmo quando recobertas por espessos pacotes sedimentares Fanerozóicos (**MIOTO, 1993**). Tendo em vista a presença da Sutura do Jari, apesar da ausência de registros sísmicos na bacia hidrográfica, em boa parte devida à inexistência ocupação humana e de testemunhas de eventuais eventos sísmicos, é cabível a realização do monitoramento sísmicos nas fases de pré-enchimento, enchimento e pós-enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio do Jari.

Para encerrar os comentários de caráter geológicos diretos, ressalta-se que a área de inventário situa-se a cerca de 200 km a NW do limite norteocidental da Zona Sismogênica de Belém, que consiste na mais próxima da bacia hidrográfica do rio Jari, não havendo nenhum registro de eventos locais com distâncias menores que 100 km da barragem da UHE Santo Antônio do Jari (**Figura 1, Tabela 1**).

Embora a atividade sísmica seja esparsa (**Figura 1**) é possível observar na **Tabela 1** que são conhecidos apenas eventos sísmicos com magnitudes maiores que 3,0 m_R (a escala m_R é a escala regional de magnitude adotada no Brasil e que é similar a escala Richter, **ASSUMPCÃO,**

1983), o que evidencia que apenas alguns sismos fortes são conhecidos. Segundo a Relação de Frequência Magnitude de Gutenberg-Richter, para cada sismo de magnitude $4,0 m_R$ deve-se esperar a ocorrência de 10 sismos de magnitudes $3,0 m_R$ e 100 sismos de magnitudes $2,0 m_R$, o que indica que o conhecimento da sismicidade da região é bastante incompleto. Por outro lado, não há evidência de atividade sísmica local nas proximidades do empreendimento (Figura 1).

Após o segundo ano de monitoramento sismográfico com a estação ESJA espera-se que este conhecimento sobre a atividade sísmica regional seja ampliado de forma significativa, sendo uma contribuição importante do empreendimento para o conhecimento sismológico nacional.



Figura 1 – Mapa de sismicidade da Região de Influência Sísmica para a barragem da UHE Santo Antônio do Jari (quadrado azul). As linhas cinza espessa representam os limites entre a Bacia do Amazonas e o Cráton Amazônico. Os círculos representam os eventos sísmicos da região (catálogo sísmico atualizado até dezembro de 2011, IAG-USP 2011), o triângulo a estação ESJA e as linhas pretas os limites políticos e geográficos, os quais têm imperfeições devido à escala regional dos mesmos no presente mapa.

Tabela 1 – Sismos na região de Influência sísmica da futura UHE Santo Antônio do Jari. O horário do sismo é a hora de origem do mesmo no horário universal (UT). A coluna de erro mostra o queto horizontal do epicentro do sismo (sempre maior que 20 km). A Profundidade Focal (coluna “Prof.”) em geral é fixada na superfície por não haver conhecimento melhor. O “Tipo” indica que os eventos “I” têm epicentros instrumentais, enquanto que os outros são eventos determinados com registros históricos em jornais. A intensidade máxima (I_{MAX}) representa o tipo de estrago (veja **LOPES & NUNES, 2011**).

Data	Horário (UT)	Lat. (°)	Long. (°)	Erro (km)	UF	Prof. (km)	Mag. (m_R)	Tipo	I_{MAX}	Observações
27/08/1883	20:---:---	-2,01	-54,10	---	PA	0	----	C	-	Monte Alegre
---/---/-----	---:---:---	-1,92	-55,50	---	PA	0	----	C	-	Obidos - Ano Incerto
02/08/1977	17:45:52	-0,08	-49,97	30	PA	0	4,8	I	-	N.I. Marajó (ISC)
18/10/1980	21:41:---	-0,40	-49,80	50	PA	0	3,1	I	-	MARAJÓ (UnB)
15/09/1981	04:26:12	-1,60	-53,00	100	PA	0	3,9	I	-	ALMEIRIM (UnB)
04/12/1983	07:17:57	-3,17	-50,57	20	PA	0	3,7	I	-	ALMEIRIM (UnB)
05/01/1984	10:30:10	-1,10	-50,32	20	PA	0	3,0	I	-	SÃO MIGUEL (UnB)
20/02/1984	18:18:28	-1,16	-50,49	20	PA	0	3,0	I	-	SÃO MIGUEL (UnB)
28/12/1986	16:09:15	-3,60	-54,60	200	PA	0	3,1	I	-	PACOVAL (UnB)
14/10/1986	01:08:19	-2,43	-55,15	50	PA	0	3,5	I	-	TUMUCUMAQUE (UnB)
19/01/1988	23:41:36	-0,40	-49,90	100	PA	0	3,8	I	-	CHAVES (UnB)
26/11/1989	11:21:26	-0,24	-49,86	20	PA	0	4,0	I	3-4	Chaves (UnB, IAG)

4. A ESTAÇÃO SISMOGRÁFICA SANTO ANTÔNIO DO JARI (ESJA)

4.1. Seleção do Local da Estação ESJA

No dia 12 de dezembro de 2011 foi efetuada a primeira visita dos membros da equipe da **VERACRUZ** na região do entorno da futura barragem da UHE Santo Antônio do Jari, com a finalidade de selecionar o local para construir o abrigo da ESJA, sob a supervisão do Prof. Dr. Afonso Emidio de Vasconcelos Lopes da Universidade de São Paulo.

O local escolhido para o locação do ponto foi localizado na seguinte coordenada: Lat.= -0,4565°, e Long.= -52,8270°, próximo o alojamento do ICMBio no Parque Ecológico desta instituição na região a cerca de 40 km da barragem. Conforme previsto no projeto, a estação ESJA está a mais de 10 km da futura barragem da UHE Santo Antônio do Jari com o objetivo de evitar ruídos oriundos da futura casa de força da usina. O Parque Ecológico tem ótima condição de segurança, acesso logístico e um baixo nível de ruído aparente (posição distante de rodovias, fábricas, etc). Dentro do parque foram selecionadas duas posições para a estação, sendo uma próxima ao alojamento do ICMBio (**Foto 1a**) e outra a cerca de 100m da primeira posição (**Foto 1b**). A estação ESJA será instalada na segunda posição (**Foto 1b**) e antes da instalação da estação será realizada uma avaliação do ruído sísmico local com o intuito de

fazer um ajuste fino na posição da estação para evitar que a mesma não seja instalada, por exemplo, em um afloramento que seja apenas a ponta de um eventual matacão. Essa análise de ruído, que é conclusiva, será realizada em janeiro de 2012 com o intuito de garantir a boa qualidade do local onde a estação sismográfica será instalada.



Foto 1 - (a) Ponto 1 próximo aos alojamentos do ICMBio, para a locação da estação ESJA; (b) Ponto 2 a cerca de 150 metros afastado do primeiro ponto.

Para realização do teste de ruído para a realização do ajuste fino da localização da estação sismográfica será utilizando um sismômetro de período curto da marca Sercel e um registrador da marca Reftek. Neste teste de ruído os dois pontos selecionados serão testados, assim como posições intermediárias em cima do maciço rochoso.

4.2. Equipamentos da ESJA

Para o início da implementação do Programa de Monitoramento Sismológico serão adquiridos um sismômetro tri-axial portátil, modelo EP-105 da marca EENTEC (**FOTO 2a**) de altíssima sensibilidade (> 1000 V/m/s) e registro de uma ampla banda de frequências (de 0,033 Hz a 50 Hz), e um registrador de dados (sismógrafo) portátil multicanal, modelo DR-4050, marca EENTEC (**FOTO 2b**) com três canais de alta resolução (24 bits) onde são registrados os sinais das componentes norte-sul, leste-oeste e vertical das ondas sísmicas, e com capacidade de armazenamento de dados em um cartão de memória de pelo menos 1 Gb. O sismômetro (**FOTO 2a**) é a parte da estação sismográfica que detecta as ondas sísmicas, cujo range dinâmico lhe permite detectar claramente sismos muito pequenos até de grande magnitude sem saturar o registro. O sistema de aquisição de dados ou registrador será configurado para aquisição de dados em modo contínuo, com uma taxa de amostragem de 100 amostras por segundo (100 Hz), para os três canais de alta resolução. Será usado um controlador de carga para fazer a regulação do fornecimento de energia do painel solar para a bateria, o qual será instalado no abrigo maior onde se encontra o sistema de aquisição de dados e a bateria.

A bateria é responsável pelo fornecimento de energia para o sistema de aquisição (registrador). A sincronização do tempo do relógio do registrador é realizada por um receptor GPS (*Global Position System*), o qual será instalado no teto do abrigo, e está conectado ao terminal de entrada para GPS do sistema de aquisição. Essa estação possui uma precisão muito alta, e com ela é possível fazer o registro de sismos de pequena magnitude que porventura ocorram na área de estudo, dispensado o uso de um número maior de estações para este tipo de estudo.

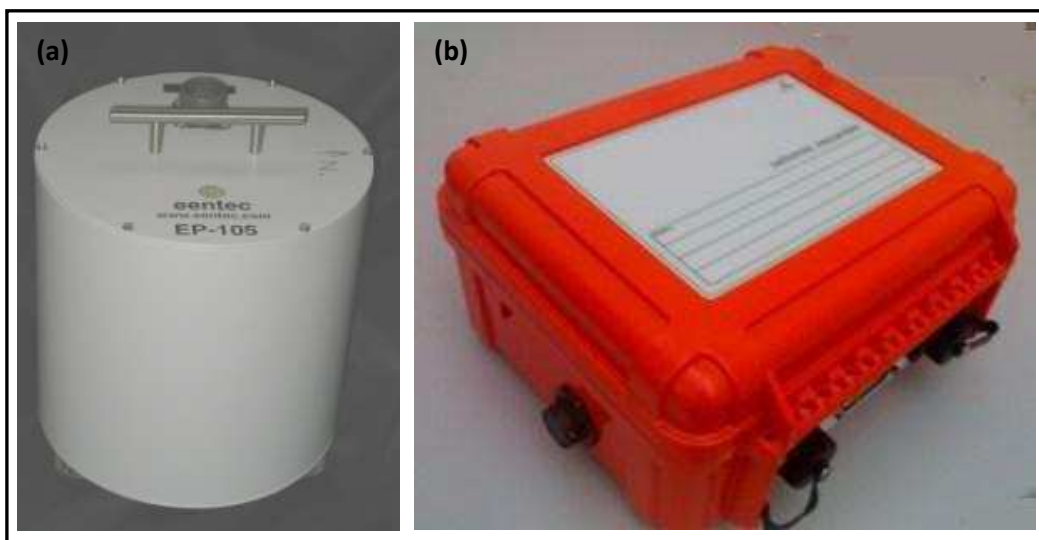


Foto 2 - (a) sismômetro tri-axial modelo EENTEC; (b) registrador modelo DR-4050 EENTEC.

Também estão em processo de fabricação os abrigos do registrador e do sensor, que são dois abrigos elaborados em fibra de vidro (**Foto 3a**) especiais para esse tipo de trabalho (protótipo que está sendo patenteado pela **VERACRUZ**). Trata-se de um abrigo menor para o sensor (**Foto 3b**), denominado sarcófago ou abrigo do sensor, que ficará enterrado no solo e terá ligação com o segundo abrigo, de tamanho maior, que vai abrigar o registrador, sendo este segundo abrigo denominado abrigo do registrador. No abrigo do sensor (**Foto 3b**) será colocado apenas o sismômetro, enquanto que no abrigo do registrador (**Foto 3c**) serão colocados o registrador, duas baterias, o regulador de carga, uma antena de GPS, e um painel solar. Como as baterias que ficam guardadas no abrigo do registrador liberam gases, esse abrigo contém entradas de ar, as quais são isoladas com tela de mosquiteiro que impedem a entrada de insetos e ao mesmo tempo permitem a circulação de ar na cabine (**Foto 3c**). A área no entorno da estação deve ser capinada e cercada com arame farpado para proteção dos equipamentos.

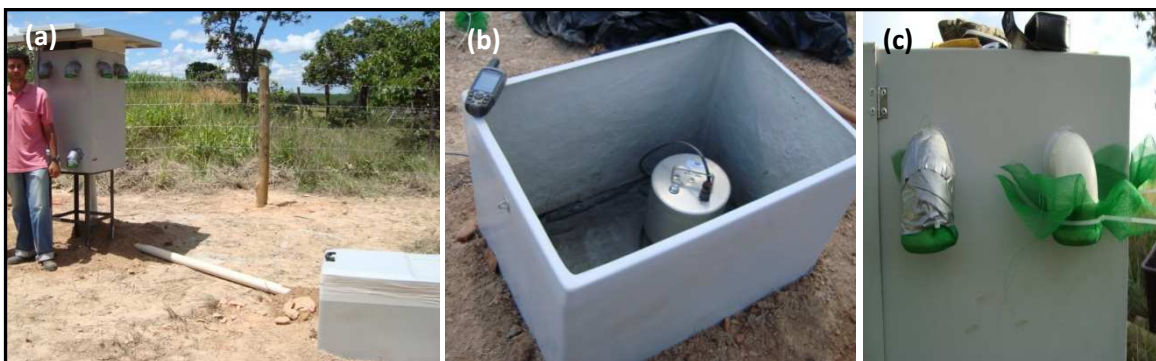


Foto 3 - (a) Abrigos da estação sismográfica RBMG da UHE Retiro Baixo-MG, a esquerda é mostrado o abrigo do registrador, onde é possível ver o painel solar sobre o telhado do abrigo, e à direita da foto se encontra o abrigo do sensor. O cano de PVC que liga os abrigos do registrador e do sensor está parcialmente descoberto na foto apenas para mostrar a conexão entre os dois abrigos; (b) abrigo do sismômetro ainda aberto; (c) detalhe das saídas de respiro da estação vedadas com tela de mosquiteiro.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O serviço de monitoramento sismológico da região da futura UHE Santo Antônio do Jari foi iniciado com a locação do ponto da estação ESJA, conforme o programado inicialmente. Em janeiro de 2012 será realizado o teste de ruído para a determinação do ajuste fino da localização da estação. Esse teste serve apenas para alterar a localização da estação na ordem de grandeza de alguns metros, não havendo necessidade da reformulação do mapa final (ANEXO 1).

O equipamento da marca EENTEC encontra-se no início do processo de importação, e todas as etapas de instalação da futura estação ESJA estão ocorrendo de forma antecipada e dentro do prazo determinado para o início da operação da estação em março de 2013.

São Paulo, 10 de janeiro de 2011.

Luciana Nunes

Luciana Cabral Nunes, M.Sc.
Geóloga (CREA 50629926484)

Afonso E. V. Lopes

Afonso E. V. Lopes, D.Sc.
Geofísico

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSUMPÇÃO, M. (1983), *A regional magnitude scale for Brazil*, Bulletin of the Seismological Society of America, 73(1), 237-246.

LOPES, A.E.V. & NUNES, L.C. (2011), *Intensidades sísmicas de terremotos: formulação de cenários sísmicos no Brasil*, Revista USP, 91, 90-102.

MIOTO, J.A. (1993), *Sismicidade e zonas simogênicas do Brasil*, Tese de Doutorado, UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, São Paulo, 2 vols., 558p.

ANEXO I

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO ESJA

