

# USINA HIDRELÉTRICA SANTO ANTÔNIO

## Programa de Monitoramento Sismológico

### Avaliação Ocorrência Sismos Induzidos

EMPRESA: **WW Consultoria e Tecnologia Ltda.**

DATA DO RELATÓRIO: **Janeiro de 2013**

RESPONSÁVEL DA CONTRATADA: **João Willy Corrêa Rosa**

RESPONSÁVEL SAESA: **Ricardo Ferreira**

## Sumário

<b>1. OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
<b>2. ASPECTOS RELEVANTES</b>	<b>3</b>
<b>3. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS</b>	<b>5</b>
<b>4. EQUIPE TÉCNICA DE TRABALHO</b>	<b>6</b>
<b>5. CONCLUSÕES</b>	<b>6</b>

***Figuras 1 a 5 - Mapas e Sismogramas***

## **1. Objetivos**

O objetivo do Programa de Monitoramento Sismológico é a investigação de todos os aspectos que permitam o entendimento do comportamento sismológico da área de interesse da futura UHE Santo Antônio. Para atingir tais objetivos, a região de interesse, que inclui a região do reservatório da UHE Santo Antônio, precisamos efetuar a localização de todos os eventos sismológicos regionais (incluindo-se aqui explosões em pedreiras na região do reservatório da UHE Santo Antônio, sismos naturais ou induzidos naquela região, ou qualquer outra atividade local que possa gerar ondas sísmicas).

O monitoramento sismológico da área de interesse da UHE Santo Antônio vem sendo realizado há mais de dois anos, utilizando-se os dados registrados pela Estação Sismológica de Samuel (localizada em Rondônia, nas proximidades da UHE de Samuel) e a partir de dados coletados pelas duas estações sismológicas instaladas na área da Santo Antônio Energia S.A. Com relação à primeira estação sismológica instalada em Santo Antônio, tivemos o equipamento da mesma instalado no escritório do Canteiro de Obras daquela empresa (na margem esquerda do Rio Madeira). A segunda estação sismológica do empreendimento foi instaladas proximidades da localidade de Teotônio (margem direita do Rio Madeira).

A utilização dos registros da estação sismológica de Samuel como padrão para os registros da rede sismográfica que monitora a UHE Santo Antônio foi escolhida por termos, nesta estação, registros gerados no formato empregado em troca de dados sismológicos a nível internacional. Os registros das duas estações da UHE Santo Antônio são gerados a nível ainda mais detalhado de amostragem do sinal, porém em um formato de dados diferente.

O objetivo específico deste documento é sintetizar uma avaliação sobre a possível ocorrência de sismos induzidos gerados pelo reservatório da UHE Santo Antônio. Apresentamos um resumo das atividades do Programa de Monitoramento Sismológico nos últimos dois anos e da avaliação de risco sísmico na região do reservatório da UHE Santo Antônio, cujo estudo foi também realizado durante o período em questão.

## **2. Aspectos Relevantes**

Seguindo as recomendações especificadas para o monitoramento, a região lago deve ser permanentemente monitorada por uma rede de duas estações sismográficas. Tal fato deve-se à necessidade de localizar, com precisão, os eventos que possam ocorrer no local de interesse da futura barragem.

A primeira estação sismográfica foi instalada no início de Dezembro de 2010, conforme previsto em nossa proposta incluída no contrato. Os equipamentos da segunda estação sismográfica foram instalados na área de interesse da UHE Santo Antônio em Janeiro de 2011, de forma a tornar o sistema redundante e mais seguro a geração de dados pela estação SANT1, com menor possibilidade de perda de registros daquela estação. A rede de duas estações passou a ter a contribuição de um segundo conjunto de equipamentos, que passou a equipar a estação SANT2, que opera desde Fevereiro de 2012.

Para efetuar a localização dos eventos (incluindo-se aqui explosões em pedreiras na região do reservatório da UHE Santo Antônio, sismos naturais ou induzidos naquela região, ou qualquer outra atividade local que possa gerar ondas sísmicas), necessitamos determinar quatro parâmetros para cada evento: a localização exata do epicentro (latitude e longitude), a profundidade do foco e a hora de origem (momento em que ocorreu o evento). Assim, necessitamos de, no mínimo, quatro dados de tempo de chegada das ondas medidos na estação, que seriam nossas fontes de dados.

Conforme já citado, além da rede de duas estações sismográficas prevista para a UHE Santo Antônio, utilizamos também os dados da Estação Sismológica de Samuel, da GSN (Rede Sismológica Mundial), da qual recuperamos os dados mensalmente para que, juntamente com os dados das duas estações locais da UHE Santo Antônio, possamos conduzir o monitoramento sismológico rotineiro da área de interesse da UHE Santo Antônio.

Como decidimos instalar um sismógrafo de três componentes em cada uma das duas estações sismográficas previstas para a UHE Santo Antônio, poderemos analisar tanto ondas P como ondas S, o que nos permite obter até seis leituras de tempos de chegada em cada estação sismográfica considerada. Isto explica o fato que, para o arranjo sismográfico mais simples e, portanto, menos oneroso, teremos três estações sismográficas, o que nos permitirá o registro da chegada das ondas P e das ondas S produzidas por um evento sísmico qualquer em cada uma das três estações consideradas no programa.

Os dados obtidos para cada período mensal da rede de três estações foram tratados, através da rotina de processamento de dados sismológicos normalmente empregada em observações deste tipo e os dados correspondentes foram interpretados.

Além do monitoramento sismológico rotineiro, concluímos também, durante os dois anos iniciais do programa, o estudo de avaliação de risco sísmico na região de interesse da UHE Santo Antônio. Tal estudo teve como objetivo a estimativa do risco sísmico na área reservada para a UHE Santo Antônio. Tal avaliação é necessária para que efeitos provocados por eventuais sismos na região em questão sejam levados em consideração no programa de acompanhamento da sismicidade natural da região.

### **3. Atividades Desenvolvidas**

Conforme já citamos, a avaliação de risco sísmico foi conduzida na fase inicial do programa de monitoramento sismológico. Para a avaliação citada, empregamos dados do Catálogo Sismológico Brasileiro, atualizado pela Universidade de São Paulo e publicado na Revista Brasileira de Geofísica e no website do IAG-USP (a Figura 1 mostra mapa de distribuição de eventos do catálogo). As informações do catálogo estavam atualizadas, quando da elaboração dos cálculos apresentados na avaliação de risco sísmico, até o ano de 2010.

O estudo de avaliação de risco sísmico da UHE Santo Antônio seguiu a mesma metodologia empregada em estudos de risco sísmico em outros empreendimentos das regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil. Os valores de cálculo de risco sísmico apresentados como resultados do estudo de avaliação de risco sísmico na UHE Santo Antônio consideram o risco para a ocorrência dos valores de intensidade VI e VII MM, tendo em vista que estes são os menores índices da Escala de Mercalli Modificada que são capazes de provocar danos em construções civis. O risco de ocorrência de valores de intensidade mais elevados é menor que o risco calculado para estes dois casos.

Cumpramos aqui que o termo “Risco Sísmico” não pode ser diretamente traduzido do termo “Seismic Risk”, usado em Inglês. Neste caso, o termo “Risco Sísmico” em português serve para, como em trabalhos anteriores de avaliação deste parâmetro no Brasil, designar o que, em Inglês, é denominado de “Seismic Hazard”. Na verdade, a palavra tecnicamente correta em Português seria “Perigo Sísmico”. “Hazard” envolve as probabilidades apenas dos eventos sísmicos e suas acelerações e velocidades serem observadas no local considerado, enquanto que “Risk” envolveria as probabilidades das conseqüências (prejuízos materiais, financeiros, sociais) relacionados aos fenômenos sísmicos observados no local.

No estudo de avaliação de risco sísmico da UHE Santo Antônio, o procedimento adotado envolveu então a rotina de separação dos dados dos sismos relacionados no Catálogo Sismológico Brasileiro usando áreas circulares de raio variável com centro localizado no ponto de interesse central da barragem da UHE Santo Antônio. As Figuras 2a, 2b, 2c e 2d mostram, respectivamente, a localização dos sismos selecionados com distância epicentral de: 1200 km, 800 km, 500 km e 300 km.

O estudo da avaliação de risco sísmico da UHE Santo Antônio incluiu também consideração especial a alguns eventos mais importantes ocorridos na Região Amazônica: o sismo da Serra do Tombador, MT, de 1955; o sismo do Sul da Amazônia, de 1957 e o sismo de Codajás, AM, de 1983. Na avaliação do estudo de risco sísmico, foram considerados os resultados do cálculo da intensidade sísmica calculada para a área da UHE Santo Antônio e aspectos sismotectônicos das regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil. Foi avaliado ainda o aspecto relacionado à cobertura do catálogo

sismológico usado, a relação magnitude-freqüência obtida e considerados parâmetros relacionados à magnitude máxima correlacionada à tectônica regional. Finalmente, consideramos também aspectos relacionados à sismicidade da borda oeste da Placa Sul-Americana, para a qual a avaliação de risco sísmico a nível mundial (Figura 3) aponta um perigo sísmico maior.

Os resultados da avaliação de risco sísmico da UHE Santo Antônio, obtidos com o emprego de duas áreas de tamanho diferente no cálculo (uma com raio  $r = 500$  km em torno do ponto de interesse e, a outra, com raio  $r = 800$  km em torno deste ponto) mostraram diferença pouco significativa, indicando que acelerações relacionadas a sismos serão certamente observadas ao longo da vida útil do reservatório da UHE Santo Antônio.

Neste documento, apresentamos ainda alguns resultados selecionados, do Programa de Monitoramento Sismológico:

Figura 4 - No dia 25 de Novembro de 2012, a estação SANT1 registrou o evento regional ocorrido em Ariquemes, RO (incluído no Apêndice deste relatório), que foi amplamente divulgado pela imprensa regional. Este evento, com magnitude 4.7, determinada pelo sistema IRIS e pelo National Earthquake Information Center, do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), teve seus demais parâmetros epicentrais determinados como:

hora de origem: 22:57:42 GMT  
epicentro: -9.46; -63.02  
profundidade focal: 19.4 km

Figura 5 - Os registros da estação SANT2 foram incluídos também neste relatório.

O registro dos dados do sismo pelas estações SANT1 e SANT2 demonstram, pelo acionamento do software de trigger (indicado pela coloração vermelha do registro), que o sistema de monitoramento da UHE Santo Antônio está em funcionamento adequado, capaz de monitorar até sismos regionais, além dos eventos de natureza local.

#### **4. Equipe Técnica de Trabalho**

Prof. João Willy Corrêa Rosa (Coordenador) (PhD em Geofísica, MIT-USA, 1986)

#### **5. Conclusões**

Considerando que o objetivo do Programa de Monitoramento Sismológico é a investigação de todos os aspectos que permitam o entendimento do comportamento sismológico da área de interesse da futura UHE Santo Antônio, tivemos no programa dois trabalhos principais executados nos dois primeiros anos do mesmo:

- A região de interesse, que inclui a área do reservatório da UHE Santo Antônio, é monitorada rotineiramente por uma rede formada por três estações sismológicas, incluindo-se aqui a Estação Sismológica de Samuel, localizada em Samuel, RO, que é parte da Rede Sismológica Mundial (GSN), operada pela Universidade de Brasília. Os dados da referida estação foram recuperados do banco de dados do Consórcio IRIS, nos Estados Unidos. Os mesmos dados foram tratados, em conjunto com os dados das estações sismográficas instaladas na área de UHE Santo Antônio, através de processamento envolvendo técnicas de separação dos dados em faixas de frequências que permitissem a identificação dos registros das detonações realizadas no canteiro de obras da UHE Santo Antônio ou de eventuais sismos locais ou regionais. O resultado obtido é que a rede de três estações opera rotineiramente, com registros das detonações, telessismos e sismos regionais. Nenhum sismo que pudesse ser caracterizado como sismo induzido foi registrado no período de dois anos de observações pela rede local.

- Foi também executado um estudo de risco sísmico regional, que mostrou, como resultado, que o perigo sísmico natural da região é comparável, em nível baixo de risco, aos resultados obtidos para outros empreendimentos similares, localizados nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil.

Em 25 de Novembro de 2012, a rede de estações registrou também o sismo regional ocorrido em Ariquemes, RO, com magnitude 4.7, que foi detectado pelo software de trigger do sistema. O registro deste evento comprova a capacidade de detecção regional da rede sismográfica instalada na UHE Santo Antônio

Apesar de não ser possível precisar se possíveis sismos induzidos possam ter origem futura na área de interesse da UHE Santo Antônio, cabe acrescentar que o programa de monitoramento sismológico não descarta tal eventualidade, visto que eventos de atividade sísmica induzida relacionada à implantação de reservatórios são comuns no Brasil.

Brasília, 21 de Janeiro de 2013.



João Willy Corrêa Rosa  
WW Consultoria e Tecnologia Ltda  
SEPS 715/915 Centro Clínico Pacini Bloco D Sala 103  
70.390-155 - Brasília, DF  
Fone (+61) 9988-4234  
joaowillyrosa@gmail.com