

# USINA HIDRELÉTRICA SANTO ANTÔNIO

## Relatório de Atividades Programa de Monitoramento Sismológico

### Relatório 26

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

PERÍODO DAS ATIVIDADES: **Janeiro de 2013**

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

RESPONSÁVEL SAESA: **Ricardo Ferreira**

## Sumário

1. OBJETIVOS	3
2. ASPECTOS RELEVANTES	4
3. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	5
4. EQUIPE TÉCNICA DE TRABALHO	8
5. CONCLUSÕES	8

***TABELA 1 - Controle de Detonações e Registros Identificados em Santo Antônio***

***APÊNDICE - Resultado do Processamento dos Registro das Estações Sismológicas na área da Santo Antônio Energia S.A.***

## **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, precisaremos 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 objetivo específico desta fase do programa é a observação regional no mês de Janeiro de 2013, utilizando-se os dados registrados pela Estação Sismológica de Samuel (localizada em Rondônia, nas proximidades da UHE de Samuel) e a partir de Março de 2012, de dados das 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). Após uma fase de testes, temos agora a segunda estação sismológica do empreendimento, funcionando em área selecionada na localidade de Teotônio (margem direita do Rio Madeira). Nos trabalhos resumidos neste relatório (referentes ao mês de Fevereiro de 2013, quando resumimos os trabalhos baseados nos dados sismológicos coletados em Janeiro de 2013), tivemos o processamento do conjunto de dados gerados pela estação de Samuel e pelas duas estações previstas para a área da UHE de Santo Antônio. Para tanto, planejamos a identificação, nos registros gerados pelas três estações sismológicas citadas, de todos os eventos relacionados a detonações realizadas no canteiro de obras da UHE Santo Antônio durante o mês de Janeiro de 2013. Os equipamentos das duas estações encontram-se instalados e funcionando, de forma rotineira, nos dois sítios escolhidos para a instalação definitiva das duas estações. A estação SANT2 passou então, em Março de 2012, a registrar dados de forma contínua. Assim, nossas observações basearam-se, em Dezembro de 2012, no uso dos registros da estação sismológica de Samuel, pertencente à rede sismográfica mundial e das duas estações sismológicas da UHE Santo Antônio, denominadas SANT1 e SANT2.

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 acompanhamento dos eventos é feito com os registros das três estações e as ilustrações empregadas em nosso relatório mostram os dados registrados no formato da estação de Samuel e das duas estações da UHE Santo Antônio, incluídos também para referência.

Neste relatório, apresentamos um resumo dos procedimentos empregados e os resultados obtidos para esta fase do Programa de Monitoramento Sismológico da UHE Santo Antônio.

## **2. Aspectos Relevantes**

De acordo com o contrato firmado entre a empresa Santo Antônio Energia S.A., responsável pela Usina Hidrelétrica Santo Antônio e nossa empresa, procedemos, durante o mês de Janeiro de 2013, à vigésima-quarta fase de operação da rede de duas estações sismográficas utilizada agora para o monitoramento sismológico da área de interesse da barragem da UHE citada. 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. Agora, este segundo conjunto de equipamentos passa 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, utilizaremos também os dados da Estação Sismológica de Samuel, da GSN (Rede Sismológica Mundial), da qual recuperaremos 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.

Conforme já citamos acima, na introdução deste relatório, para esta fase do trabalho de monitoramento, procedemos ao processamento dos dados registrados pela Estação Sismológica de Samuel. Os dados das duas estações instaladas na área da UHE Santo Antônio que funcionaram, em Janeiro de 2013, em regime rotineiro, apenas com algumas interrupções ocorridas por falta de fornecimento de energia ao sistema da estação SANT1. Assim, tivemos a recuperação dos dados registrados de forma excelente para as estações da UHE Santo Antônio.

Por outro lado, a estação sismológica de Samuel teve, durante o período do final de Novembro de 2012 a início de Fevereiro de 2013, problemas com a transmissão dos dados registrados por aquela estação. Desta forma, tivemos um volume menor de dados processados referentes ao mês de Janeiro de 2013.

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

Neste relatório, resumimos os resultados desta fase do programa de monitoramento sismológico regional previsto para este projeto.

### ***3. Atividades Desenvolvidas***

Conforme já citamos, para efetuar a localização dos eventos (neste caso, explosões em pedreiras na região do reservatório da UHE Santo Antônio), 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.

Deste modo, iniciamos nosso trabalho com a obtenção dos dados da Estação Sismológica de Samuel, a partir de consulta oficial aos registros dos arquivos da GSN (Global Seismological Network), a partir dos dados armazenados nos bancos de dados do Consórcio IRIS, nos Estados Unidos. Os dados são obtidos, processados e gerados arquivos de duração individual de uma hora de registro, para as três componentes dos sensores principais daquela estação.

Os dados da estação de Samuel estão disponíveis com amostragem de 20 amostras por segundo, ou de 40 amostras por segundo. Os arquivos foram recuperados por nós para as duas frequências de amostragem. Testes iniciais realizados em nossa rotina de processamento comprovou que os dados com amostragem de 40 amostras por segundo são mais precisos para os nossos objetivos. Desta forma, empregamos os dados com esta amostragem maior em todo o processamento realizado com os dados obtidos da estação de Samuel (incluídos no Apêndice deste relatório). Em Janeiro e Fevereiro de 2012, tivemos, em caráter excepcional, mais ruído na componente utilizada anteriormente do sinal registrado pela estação de Samuel. Neste caso, o sensor do sismômetro STS-2 mostrou muito ruído, o que informamos o Serviço Geológico Norte-Americano (USGS), responsável pela manutenção do equipamento de Samuel. Aquele serviço mudou então os dados disponíveis para a estação para o sismômetro KS54000, da mesma estação. Está programada agora uma visita de manutenção dos técnicos do USGS à estação de Samuel para reparar o sensor STS-2. Até a manutenção ser finalizada, utilizaremos os dados gerados pelo sensor KS54000, o que não gera nenhum prejuízo a nosso trabalho de monitoramento da UHE Santo Antônio. A partir dos dados de Março de 2012, os registros apresentam-se sem o problema citado para os dois meses iniciais de 2012.

Em Janeiro de 2013, os dados da estação de Samuel não puderam ser recuperados, conforme citamos acima. Deste modo, o processamento dos dados daquela estação não pôde ser realizado.

Quanto aos dados da primeira estação sismológica de Santo Antônio, tivemos a colaboração do Sr. Jordão e do Sr. Luiz, que nos apoiaram nos trabalhos do canteiro de obras, para obtenção dos dados dos dois sismógrafos que instalamos na área da Santo Antônio Energia S.A. Os dados foram separados em Brasília e tratados como um conjunto de informações independente em relação aos dados obtidos da Estação Sismológica de Samuel. Os dados da estação de Samuel foram utilizados, até Novembro de 2012, para identificação dos principais telessismos registrados pela rede sismológica. Assim, os dados da primeira estação de Santo Antônio foram processados de forma independente e, a partir de Março de 2012, em conjunto com os dados recuperados da estação SANT2. Esta estação opera agora em caráter rotineiro. Deste modo, a identificação das detonações no canteiro de obras foi conduzida utilizando-se os registros das estações SANT1 e SANT2, conforme apresentado neste relatório.

O processamento dos dados seguiu a seguinte rotina: as listagens de dados contendo as detonações registradas pelo grupo de trabalho que atua na construção da UHE Santo Antônio (liderado pelo Sr. Adãonei, pelo Sr. Rodrigo e demais colegas responsáveis pelas detonações realizadas no canteiro de obras) contem as informações de data, horário local, carga e outras informações de cada detonação realizada. Considerando o horário das detonações listado nas tabelas fornecidas pela Santo Antônio Energia S.A., consultamos os arquivos de registro de Samuel que separamos a partir da rotina de processamento citada acima. O horário local em Santo Antônio foi transformado para o horário GMT dos registros da estação de Samuel e os registros identificados. Com uma única exceção, pudemos identificar as detonações realizadas

durante o mês de Janeiro de 2013 (todas referentes a detonações realizadas na Margem Esquerda das obras da UHE Santo Antônio). A identificação das fases P e S dos registros de detonações, permite localizar as detonações a distâncias epicentrais de aproximadamente 85 km de Samuel, correspondentes à medida da distância aproximada entre aquela estação e o canteiro de obras da UHE Santo Antônio, onde foram realizadas as detonações.

Assim, incluímos neste relatório a Tabela 1, formulada a partir da modificação parcial das planilhas de dados de detonações em Santo Antônio fornecidas pela Santo Antônio Energia S.A. Nesta tabela, estão identificados os eventos observados nos registros de dados processados incluídos no Apêndice deste relatório, onde cada detonação identificada pode ser visualizada individualmente. A única dificuldade na identificação das fases sismológicas nos registros das detonações refere-se à acumulação geralmente observada de registro de várias detonações que ocorreram separadas de poucos segundos ou minutos no canteiro de obras de Santo Antônio. Pudemos observar também alguns registros de detonações consideráveis ocorridas em outras localidades (distantes de, aproximadamente, 125 km da estação de Samuel). Tais detonações mais distantes podem ser possivelmente associadas a uma outra grande obra regional (possivelmente, as obras da segunda grande hidrelétrica atualmente sendo realizada no Rio Madeira - a UHE Jirau).

No Apêndice deste relatório, não incluímos, como foi procedimento adotado nos relatórios anteriores, o resultado do tratamento dos dados da estação de SAML, para a identificação de telessismos ocorridos na Terra durante o período considerado por este relatório. Nos relatórios anteriores, dos resultados da análise de registros de telessismos apresentados, temos registros de sismos ocorridos a grande distância da localidade da UHE Santo Antônio, com os dados epicentrais publicados pelo National Earthquake Information Center, do Serviço Geológico Norte-Americano (USGS). Desta forma, podemos observar que as estações utilizadas para o monitoramento da área de interesse da UHE Santo Antônio mostram sensibilidade também para a observação deste tipo de evento.

Neste relatório, apresentamos ainda uma série de mapas e de imagens de satélite preparados para o Programa de Monitoramento Sismológico, onde foram localizadas as principais feições regionais e os prédios do canteiro de obras da UHE Santo Antônio. As estações sismológicas instaladas na área da UHE Santo Antônio, assim como a estação sismológica de Samuel, encontram-se também posicionadas nos mapas e imagens anexados a este relatório.

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

Os registros da estação SANT2 foram incluídos também no Apêndice deste relatório, pois a coleta de dados anterior foi realizada no dia 19 de Novembro de 2012. Conforme já citamos, a estação SAML teve a transmissão de dados à rede internacional interrompida no dia 22 de Novembro de 2012, dependendo agora de manutenção para o restabelecimento da comunicação de dados via satélite.

O registro dos dados do sismo regional citado, pelas estações SANT1 e SANT2 (cujo processamento foi incluído no Apêndice deste relatório) 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**

A equipe envolvida no processamento dos dados da UHE Samuel incluídos neste relatório composta do profissional:

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

#### **5. Conclusões**

Considerando 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, precisaremos 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).

Nesta fase do trabalho, não utilizamos os dados da Estação Sismológica de Samuel, localizada em Samuel, RO, que é parte da Rede Sismológica Mundial (GSN), operada pela Universidade de Brasília, pois a mesma apresentou problemas de funcionamento e de transmissão de dados no período. Os dados das estações sismográficas instaladas na área de UHE Santo Antônio foram tratados, 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 no período de Janeiro de 2013.

Assim, realizamos também, para o mês de Janeiro de 2013, o processamento de todos os dados obtidos das equipamentos das duas estações sismológicas instalados na área da UHE Santo Antônio. Nosso trabalho de identificação das detonações foi baseado nos dados gerados pelas estações instaladas no Canteiro de Obras da UHE

Santo Antônio (SANT1, na margem esquerda) e na localidade de Teotônio (SANT2, na margem direita). Os equipamentos das duas estações sismológicas funcionaram, de forma rotineira, durante o mês de Janeiro de 2013, com os equipamentos respondendo de forma adequada às condições de fornecimento de energia e de comunicação de dados no sítio escolhido para a primeira das duas estações.

O volume de dados processados em Janeiro de 2013, relacionado às detonações da obra da UHE Santo Antônio, não teve contribuição, neste mês, de detonações correspondentes a obras realizadas na Margem Direita do Rio Madeira.

Conforme apresentado neste relatório, todas as detonações que constavam nas planilhas de controle da obra da UHE Santo Antônio foram identificadas, com a separação das fases P e S dos registros, o que permitiu a determinação da distância epicentral das referidas detonações. Consideramos que, conforme o apresentado neste relatório, todos os objetivos desta fase de trabalho do Programa de Monitoramento Sismológico foram alcançados para o período de Janeiro de 2013, com o monitoramento das detonações e as duas estações de Santo Antônio operando em fase rotineira, com os equipamentos instalados no canteiro de obras da usina.

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

Com a instalação dos equipamentos da primeira estação sismográfica local da UHE Santo Antônio realizada em Janeiro de 2011, pretendemos agora, com o processamento dos dados coletados por aquela estação, em conjunto com os dados registrados pela Estação Sismológica de Samuel e da segunda estação (instalada em Fevereiro de 2012), dar continuidade a este Programa de Monitoramento Sismológico, com o processamento rotineiro dos dados registrados pelas duas estações citadas.

Brasília, 11 de Fevereiro 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