

### 3. PROGRAMA DE MONITORAMENTO SISMOLÓGICO

#### 3.1. JUSTIFICATIVA

Os sismos induzidos por reservatórios são geralmente pequenos, mas já ocorreram alguns, no Brasil, com magnitudes moderadas. No mundo, ocorreram 10 sismos induzidos por reservatórios, com magnitude superior a 5. A maioria dos sismos induzidos tem magnitude entre 3 e 5. Deve-se ressaltar, porém, que mesmo em regiões de baixa sismicidade natural estes eventos podem ocorrer. Os sismos não são causados somente pelo reservatório, havendo uma predisposição para que ocorram, caso as forças tectônicas acumuladas na área inundada já estejam a ponto de ruptura.

O mecanismo de indução mais plausível consiste na alteração das pressões neutras ao longo de falhas e outras feições geológicas de grande porte, em geral, já submetidas a esforços tectônicos. As pressões decorrentes do reservatório constituem a força adicional necessária ao desencadeamento do fenômeno. A grande dificuldade que se enfrenta, portanto, é definir se determinada região está a ponto de ruptura ou não.

Cabe ressaltar, entretanto, que a maioria dos reservatórios artificiais, em geral, não desencadeia processos dessa natureza, mesmo se implantados em regiões de alta sismicidade natural.

As primeiras citações sobre sismicidade induzida por reservatórios referem-se à Usina Hidrelétrica de Capivari-Cachoeira, no Paraná, em 1971 e 1972. De lá para cá, foi constatado o fenômeno em alguns outros reservatórios de hidrelétricas no Sudeste do Brasil (Capivara, Cajuru, Paraibuna e outros), no Norte (Tucuruí e Balbina) e no Nordeste (Açude Armando Ribeiro Gonçalves), todos com magnitude inferior a 4, provocando, em alguns casos, pequenos danos materiais.

Cabe destacar que grande parte das barragens atualmente em operação mantêm estações sismográficas para detectar a sismicidade que possa vir a ser induzida pelo reservatório.

A consulta à bibliografia internacional especializada em Sismicidade Induzida em Reservatórios (SIR) indicou que, pelas características técnicas de profundidade e volume de reservatório, o Aproveitamento Hidrelétrico de Serra do Facão não está enquadrado entre os que apresentam maior probabilidade de ocorrência de sismos induzidos.

A região onde está inserido o empreendimento apresenta um número expressivo de sismos naturais de baixa magnitude. A Área de Influência Direta desse empreendimento é caracterizada, do ponto de vista geológico-estrutural, pela presença de significativas descontinuidades, como falhas e diáclases.

Por isso, e considerando que a ocorrência de sismos induzidos por reservatórios pode estar relacionada a tais feições geológico-estruturais e também devido ao histórico de eventos naturais registrados regionalmente, é recomendável que se instale, pelo menos, um sismógrafo nas proximidades do futuro reservatório, que permita desenvolver um programa de monitoramento sismológico, em conjunto com a rede de sismógrafos da Universidade de Brasília que já vem operando na região.

### **3.2. OBJETIVOS**

O objetivo principal deste Programa é propor o monitoramento sismográfico em níveis local e regional, utilizando-se dados de estações sismográficas existentes e de novo sismógrafo a ser instalado, para estudar melhor os mecanismos de indução de sismos, caso ocorram.

Os objetivos específicos deste Programa são:

- atualização dos eventos sísmicos registrados na região;
- levantamento da área para escolha do local de instalação da estação sismográfica;
- acompanhamento e leitura do sismógrafo para detectar possíveis atividades sísmicas induzidas durante e após o enchimento do reservatório;
- avaliação dos dados sismológicos obtidos;
- realização de campanha de esclarecimentos à população (Comunicação Social).

### **3.3. METAS**

- Quantificação da atividade sísmica natural da região antes do enchimento do reservatório.

- Análise de todos os dados, a partir das observações feitas com sismógrafo, das possíveis atividades sísmicas naturais e/ou induzidas, durante o enchimento do reservatório e nos dois anos subsequentes. Essa análise será consubstanciada pelos dados e informações contidos nos relatórios trimestrais.
- Campanha de esclarecimentos sobre sismicidade natural e induzida, dirigida à população da Área de Influência do aproveitamento, concluída antes do início do enchimento do reservatório.

### 3.4. INDICADORES AMBIENTAIS

- Eventos sísmicos registrados por estação sismográfica instalada para controle de sismos locais e regionais.
- Dados estruturais locais e regionais (alinhamentos aeromagnéticos; presença de falhas, atitude das rochas) que indiquem uma possível relação sismo-estrutural na área de estudo.
- Relatos de pessoas sobre os efeitos dos tremores de terra sentidos na região.

### 3.5. PÚBLICO-ALVO

O público-alvo deste Programa compõe-se de:

- Órgãos públicos (MMA/IBAMA; Secretarias Estaduais de Meio Ambiente; Universidades; Prefeituras);
- Organizações Não Governamentais (ONGs);
- Populações dos municípios abrangidos pela Área de Influência do empreendimento.

### 3.6. METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

#### 3.6.1. Considerações Gerais

Com base nos estudos geológicos regionais, faltam ainda evidências de que o atual estado de tensões cisalhantes das rochas esteja próximo a rupturas ou reativações. Pode-se

prever, todavia, que a probabilidade de ocorrência de sismos induzidos de grande magnitude é muito baixa, tendo em conta a dimensão do reservatório e os registros históricos disponíveis. Em geral, a maior probabilidade de ocorrência destes eventos restringe-se aos primeiros anos de formação do reservatório.

No caso específico dos sismos induzidos, deve-se ressaltar que, caso ocorram, deverão se manifestar, preferencialmente, em torno e dentro do reservatório, podendo eventualmente haver migração epicentral, sempre dentro do raio máximo de abrangência da Área de Influência do empreendimento.

Daí a necessidade de se instalar, pelo menos uma estação sismográfica no domínio do complexo hidráulico, para registro de eventuais sismos regionais e da microsismicidade local, assim como detectar possíveis atividades sísmicas que venham a ser induzidas pelo enchimento do reservatório.

### **3.6.2. Caracterização da Área**

Segundo a Relação de Dados Sísmicos, elaborada pelo Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, ocorreram, na região próxima ao Aproveitamento Hidrelétrico Serra do Facão, centenas de eventos sísmicos, todos com magnitudes baixas, inferiores a 4, e alguns induzidos por reservatórios. Trata-se, portanto, de uma atividade sísmica característica de regiões do tipo intraplaca.

É notável a concentração de eventos no Noroeste de Goiás e Sudoeste de Minas Gerais, sugerindo zonas definidas.

A bacia hidrográfica do rio São Marcos, onde será implantado o Aproveitamento Hidrelétrico Serra do Facão, insere-se integralmente na denominada Província Tocantins, setor Central/Sudeste, mais especificamente na Faixa de Dobramentos Brasileira, entre o Cráton de São Francisco, a leste, e a Faixa de Dobramentos Uruaçuana, a oeste.

Do ponto de vista sismotectônico, está inserida na denominada Zona Sismogênica de Passos. Esta zona sismogênica caracteriza a “instabilidade observada entre a Sutura de Alterosa (articulação dos blocos São Paulo e Brasília) e o Cinturão de Transcorrência Campo do Meio” (MIOTO, J. A., 1993).

De maior interesse para o AHE Serra do Facão devem ser destacadas as falhas associadas ao Lineamento do Oeste Mineiro, inversas ou de empurrão, com direção

aproximada NW, que, no vale do rio São Marcos, limitam, por contato tectônico, as litologias do Grupo Araxá, Formação Ibiá, Grupo Canastra e Formação Paraopeba. No Mapa Geológico da Área de Influência Indireta, é possível observar uma extensa falha inversa, de direção NW, a montante do barramento, nas proximidades do ribeirão do Segredo.

Os sismos naturais nessa Zona Sismogênica de Passos alcançaram magnitude máxima de 3,7mb e intensidade IV – V MM (Mercalli Modificada).

A sismicidade induzida pelo reservatório de Emborcação, nessa zona sismogênica, reflete, muito provavelmente, essa estruturação.

Ainda em torno da Zona Sismogênica de Passos, ocorrem outras zonas (Ribeirão Preto, Pinhal, Paraopebas, Jequitá e Porangatu).

A intensidade sísmica entre IV e V MM, atribuída a essa região, corresponde a uma aceleração no terreno da ordem de 0,03 0,04g e velocidade 2,5cm/s (V MM). A intensidade sísmica é uma classificação dos efeitos causados pelas vibrações sísmicas, como sensações causadas nas pessoas, danos nas construções e mudanças permanentes no terreno.

O sismo de intensidade IV é sentido por quase todos, produzindo vibrações parecidas com a passagem de caminhões pesados. Janelas, louças e portas sacodem. Em relação ao sismo de intensidade V, as pessoas acordam, pequenos objetos tombam e caem das prateleiras. Venezianas e quadros movem-se. Objetos suspensos oscilam bastante. Podem ocorrer eventuais danos em construções de má qualidade.

### 3.6.3. Procedimentos

Para a realização dos serviços deste Programa, serão necessários os seguintes procedimentos operativos:

- atualização da listagem dos sismos naturais;
- assinatura de Convênio com o Observatório Sismológico da Universidade de Brasília - UnB;
- localização e instalação da estação sismográfica antes do enchimento;
- análise de dados e emissão de relatórios trimestrais;
- campanha de Comunicação Social.

O monitoramento em nível local deverá ser apoiado pelo monitoramento regional, utilizando-se o conjunto de dados registrados pela estação de rastreamento da Universidade de Brasília - UnB no interior de uma região com raio de cerca de 320 km, centrada na Usina Hidrelétrica de Serra do Facão, mais especificamente na barragem.

O novo sismógrafo deverá ser instalado nas imediações do barramento, a fim de quantificar a atividade sísmica natural antes do enchimento do reservatório. Para a escolha do local da futura estação sismográfica, será realizado um trabalho de campo com duração de 5 a 10 dias, com a participação de técnicos do empreendedor e da Universidade de Brasília. Nesse levantamento, deverá haver o cuidado de aproveitar a infra-estrutura já existente.

Deverão ser considerados os seguintes requisitos para escolha do local para a estação sismográfica: baixo nível de ruído, facilidade de acesso, condições topográficas para transmitir dados à rede de microondas ou a uma estação central de registro.

Durante o enchimento e por, pelo menos, dois anos subsequentes, deverão ser feitas observações das possíveis atividades sísmicas naturais e/ou induzidas, utilizando-se a estação a ser instalada e os dados registrados pelo rastreamento da UnB.

A inspeção de construções típicas existentes na Área de Influência deverá ser realizada antes do enchimento do reservatório, para conhecimento e registro da integridade estrutural dessas edificações, visando estabelecer comparações entre as condições anteriores e posteriores à formação do reservatório.

Prevê-se um acompanhamento da atividade sísmica durante aproximadamente 5 anos (antes, durante e depois da formação do reservatório).

Seria recomendável distribuir questionários de zoneamento sísmico para a população, visando determinar a intensidade e o epicentro de um eventual sismo. Esse procedimento deveria ser implementado juntamente com uma campanha de esclarecimentos sobre os estudos já realizados e as remotas possibilidades de acontecerem pequenos abalos sísmicos, a fim de minimizar os temores causados pelo desconhecimento de tais fenômenos.

#### **3.6.4. Acompanhamento e Avaliação**

A informação sísmica do Programa terá por base o Arquivo Sísmico do Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, incluindo dados atualizados sobre a sismicidade da região e dados locais do sismógrafo a ser instalado.

As informações têm origem nos dados históricos e instrumentais. No primeiro caso, as informações, chamadas macrossísmicas, quando suficientes e interpretadas corretamente, permitem definir o grau de intensidade sísmica no local da observação do tremor, estimar a área afetada pelo abalo e também encontrar parâmetros úteis para a avaliação sísmológica.

Os dados instrumentais referem-se aos registros (sismogramas) obtidos por estações sismográficas, incluindo o novo sismógrafo a ser instalado. Com o atual número de estações operando na Região Centro-Oeste, poderá ser estimado o grau de intensidade e magnitude para o caso de Serra do Facão.

A atividade sísmica da área será, então, definida, no tempo e no espaço, pelo conhecimento da distribuição dos eventos sísmicos ocorridos.

O acompanhamento será mensal, a partir do terceiro mês do início deste Programa. As avaliações também serão mensais, a partir do quinto mês do programa.

### **3.7. INTERRELAÇÃO COM OUTROS PROGRAMAS**

Este Programa relaciona-se com o Programa de Comunicação Social. De fato, a comunidade deverá ser informada sobre o empreendimento e a possibilidade de ocorrerem sismos naturais e induzidos pelo reservatório na região.

### **3.8. ATENDIMENTO A REQUISITOS LEGAIS**

Não existe requisito legal para a proposição deste programa.

### **3.9. RESPONSÁVEIS PELO PROGRAMA**

A responsabilidade pela execução do programa é do empreendedor. No início das obras, este deverá assinar convênios, para a realização das atividades e ações pertinentes ao pleno desenvolvimento do Programa.

A instalação dos instrumentos e o monitoramento deverão ser executados mediante convênio com o Observatório Sísmológico da Universidade de Brasília.

O Observatório Sísmológico da Universidade de Brasília poderá ser, também, a instituição indicada e responsável pelo monitoramento sísmológico do empreendimento.

O responsável técnico pela elaboração deste Programa é o Geólogo Geraldo Duarte Campos, CREA RJ 80-1-019738 IBAMA 3/33/2000/000167-1.

### **3.10. CRONOGRAMA FÍSICO**

Apresentado no final deste Programa.

### **3.11. BIBLIOGRAFIA**

ASSUMPÇÃO, M. *Terremotos no Brasil*. Ciência Hoje, maio/junho de 1983.

ASSUMPÇÃO, M. et alli. Contribuição ao estudo da sismicidade do Centro-Oeste do Brasil, *Anais 33º Congr. Bras. Geol.*, Rio de Janeiro, RJ, 4, 2051-2057, 1984.

BERROCAL, J. et alli. *Sismicidade do Brasil*. Inst. Astronômico e Geofísico, USP, 320pp., 1984.

HASUI, Y. e PONÇANO, W. L. Geossuturas e sismicidade no Brasil, In: *Congr. Bras. Geol. Eng.*, 2, São Paulo, Anais ABGE/IPT, V. i, pág. 331-338, 1978.

MIOTO, J. A. Sismicidade induzida e risco sísmico. *Ata da I Mesa Redonda sobre Risco Sísmico*, São Paulo. Pág.20-34. 1980.

VIOTTI, C. B. Sismicidade induzida por reservatórios: barragens de terra e sismicidade brasileira. *Construção Pesada*, novembro de 1980.