



Riscos Sísmicos em Barragens

Joaquim Xavier Cerqueira Neto e Milton José Porsani

CPGG-UFBA, Brasil

Copyright 2005, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGF, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

This paper presents an important method of study for investigation of the potential induced seismic risk in reservoir impoundment's (SIR). The method involves the investigation of the relationship of regional faults and fractures with local structures by the application of the Wiener shaping filter.

Introduction

A ocorrência de sismos em áreas de influência da bacia de acumulação das barragens tem sido registrada em várias partes da Terra. Esses eventos ocorrem, ou na fase inicial da formação do lago artificial (3 a 5 anos) ou, decorrido algum tempo após ser atingida a carga hidráulica máxima.

No Brasil quase 80% dos registros de sismos induzidos por reservatórios (SIR's) estão associados a respostas transientes ao carregamento, em geral até 3 anos de latência. O maior tempo de latência refere-se ao reservatório da barragem Carmo do Cajuru-MG (ABGE, 1980) a cerca de 80 km de Belo Horizonte, na qual os eventos sísmicos maiores ($m_R = 3,5, 3,7$ e $3,2$ na escala de Richter) se iniciaram 17 anos após o enchimento do lago, repetindo-se no ano seguinte e, o terceiro, quatro anos depois. O caráter histórico desses sismos vem do fato de ter sido gerado em ambiente de barragem de porte (altura de 25 m) e volume ($192 \times 10^6 \text{ m}^3$) pequenos, relativamente a SIR's de barragens de grande porte, a exemplo da barragem de Emborcação na fronteira MG/GO ($H = 158 \text{ m}$, $V = 17,5 \times 10^6 \text{ m}^3$), e Xingó - SE/AL ($H = 140 \text{ m}$, $V = 3,8 \times 10^6 \text{ m}^3$), e Pedra do Cavalo - BA ($H = 142,5 \text{ m}$, $V = 4,1 \times 10^6 \text{ m}^3$), onde os eventos de sismicidade foram menores.

No estudo do potencial de risco de sismos induzidos por reservatórios de barragens normalmente são adotados critérios envolvendo: a distribuição regional de microsismicidade, a análise da rede estereográfica e dados estatísticos de ocorrência de SIR's tendo em vista o porte da barragem, altura, volume e extensão do lago. Também, são necessários estudos de feições tectônicas

locais associadas à sismicidade (Assumpção, 1980). Os trabalhos de Kisslinger (1976) indicam que os mecanismos focais de SIR's geralmente são consistentes com a tectônica regional. Lineamentos de sismicidade regionais no Brasil são vistos nos trabalhos de Berrocal, et al, 1984, Ferreira e Assumpção, 1983.

O método proposto consiste do emprego do filtro conformador de Wiener, onde o coeficiente de maior energia, é tomado como indicador da similaridade das estruturas locais com o padrão regional. Assim tem-se, através desse parâmetro, a quantificação dessa maior ou menor semelhança - parâmetro que é muito útil no contexto dos demais estudos.

O Filtro de Wiener

O filtro conformador de Wiener empregado tem como atributo essencial transformar um sinal de entrada em um sinal desejado, independentemente das características de causalidade e de fase dos sinais envolvidos no processo (Robinson, and Treitel, 1980).

O programa de computador desenvolvido lê os arquivos com os dados regionais e locais, cria a matriz complexa, onde as componentes reais são as extensões das fraturas e as componentes imaginárias, as direções. Em seguida, são determinados os coeficientes complexos do filtro.

Base de Dados

Os dados básicos devem ser dispostos em dois arquivos referentes às estruturas (falhas e fraturas) regionais e locais, obtidos por meio de vetorização de imagens rasterizadas de mapas geológico-estruturais nas escalas adequadas.

Então, a partir dos mapas vetorizados, georreferenciados, são gerados os arquivos ASCII contendo as extensões e azimutes de falhas e fraturas. Esses dados são ordenados de Az. -90° a Az. $+90^\circ$, de modo a facilitar a sua utilização na elaboração dos diagramas de rosetas.

Estudo de Caso

O exemplo apresentado refere-se ao estudo da Barragem Bandeira de Melo, em fase de projeto sob a responsabilidade da Secretaria de Recursos Hídricos do Governo do Estado da Bahia.

a) - Falhas e Fraturas Regionais

Essas estruturas foram extraídas do Mapa Geológico do Estado da Bahia – 1994, na escala 1: 1.000.000, medindo-se as direções e os respectivos comprimentos, no raio aproximado de 350 km do eixo da barragem em estudo. Falhas inversas ou de empurrões com trechos curvos foram consideradas como compostas de segmentos retilíneos; falhas e ou fraturas irregulares mas que conservam um lineamento, foram consideradas na direção média de tendência.

A **Figura-1** mostra o diagrama de rosetas das estruturas regionais, evidenciando a direção média ponderada (seta em verde) $2^{\circ} 48' \text{ NW-SE}$. Destacam-se três direções com extensões significativamente grandes ($> 150\text{km}$): $12^{\circ} 48' \text{ NW-SE}$, $7^{\circ} 30' \text{ NE-SW}$ e $32^{\circ} 36' \text{ NE-SW}$.

b) - Falhas ou Fraturas na Área de Influência do Reservatório

Objetivando conhecer as direções dominantes dessas feições estruturais com possíveis reflexos na questão da estabilidade da estrutura da barragem, foram também levantadas as falhas e fraturas na área de influência da barragem, no raio da ordem de 50 km, extraídas do Mapa Geológico-Estrutural – na escala 1: 500.000 do MME-DNPM, Anexo-I parte Norte-A.

As maiores estruturas de falhamentos e fraturas situadas mais próximas ao eixo de projeto da Barragem são a falha de Boa Vista do Tupim – Morro do Chapéu com 170km de extensão, estando a sua extremidade sul a 30 km do eixo da barragem; e a falha de Itaperaba com extensão de 230 km, passando a cerca de 67 km a leste da bacia hidráulica.

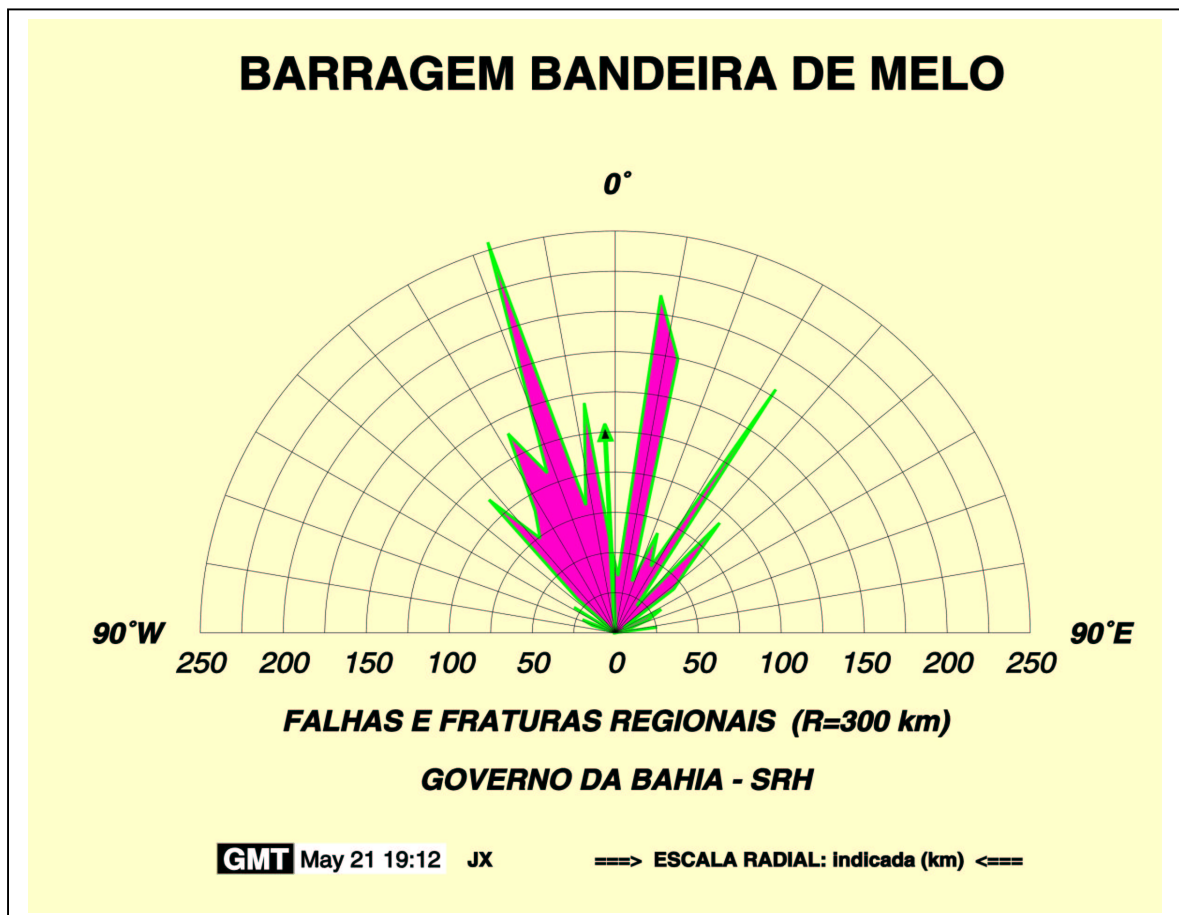


Figura 1 - Estruturas Regionais

ções $20^{\circ} 30'$, $31^{\circ} 30'$, 47° e $69^{\circ} 30'$ NW-SE e $27^{\circ} 30'$ NE-SW.

A **Figura-2** representa o diagrama de rosetas elaborado com base nas direções das estruturas e suas extensões dadas no segundo arquivo digital, a partir do qual foi obtida a distribuição mostrada na Figura-3.

A análise de correlação das fraturas e falhas na área de influência do reservatório ($R \leq 50$ km) com as regionais (Figs-1 e 2) mostra uma forte concordância das estruturas com direções no entorno de $20^{\circ} 30'$ NW-SE.

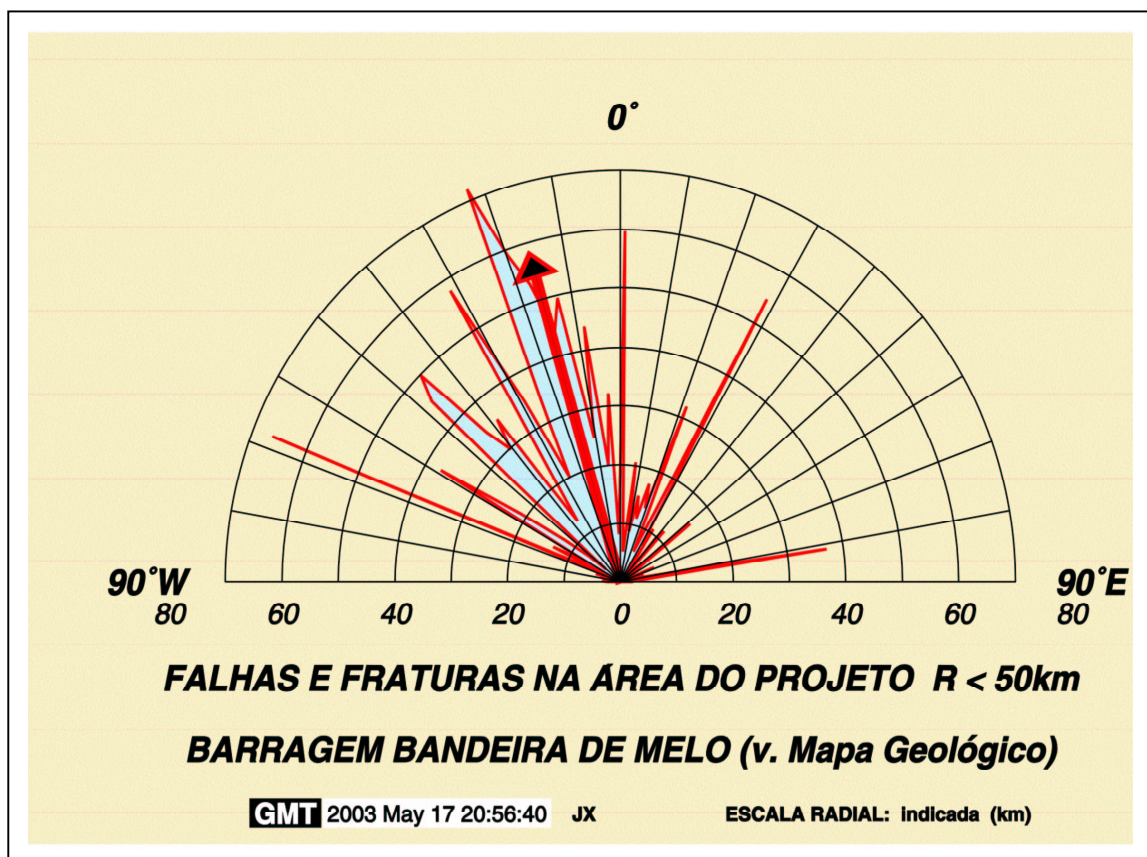


Figura 2 - Diagrama de Rosetas elaborado com os elementos de direções e extensões das falhas e fraturas obtidas por processo de vetorização automática de imagem georreferenciada.

A análise do diagrama mostrado na Figura-2 indica que a direção média geral das falhas e fraturas tem 16° NW-SE e que as fraturas dominantes estão nas dire-

Resultados do Filtro de Wiener

Os valores a seguir referem-se às componentes real e imaginária dos coeficientes do filtro, considerando o número de coeficientes do filtro, N_{cf} , iguais a 5 e 10, e a

função de entrada igual à função de saída, ou seja, os dados das estruturas locais, mostrados na Figura-3.

$N_{cf} = 5$			$N_{cf} = 10$		
	Real	Imag.		Real	Imag.
1	1,0000	0,0002	1	0,9997	0,0000
2	0,0000	0,0000	2	0,0007	0,0000
3	-0,0006	0,0000	3	-0,0002	0,0000
4	0,0006	0,0000	4	0,0002	0,0000
5	0,0000	0,0000	5	-0,0009	0,0001
			6	0,0004	0,0000
			7	-0,0007	0,0001
			8	0,0002	0,0000
			9	-0,0002	0,0000
			10	0,0007	0,0000

Observa-se que, sendo o sinal de saída do filtro idêntico ao sinal de entrada, o filtro propriamente corresponde à função delta de Dirac. O valor 1,0000 (ou 100%) do primeiro coeficiente mede a identidade das funções.

Os valores abaixo referem-se ao processamento com os dados regionais para a entrada e as estruturas locais como saída.

$N_{cf} = 3$			$N_{cf} = 4$		
	Real	Imag.		Real	Imag.
1	0,0652	0,0026	1	0,1139	0,0047
2	-0,0873	0,0010	2	-0,0944	-0,0010
3	0,0454	0,0004	3	-0,0972	-0,0026
			4	0,1034	0,0001

$N_{cf} = 5$		
	Real	Imag.
1	0,0888	0,0038
2	-0,0344	-0,0006
3	-0,0763	-0,0026
4	-0,0336	-0,0018
5	0,0823	0,0013

Vê-se que o primeiro coeficiente do melhor filtro ($N_{cf} = 4$) indica o valor 0,1139 (11,39 %) de similitude dos padrões regionais e locais. Porém essa estimativa, é menor do que o valor esperado. A discrepância se deve à necessidade de equiparação em termos do número de dados nos dois arquivos utilizados, feita mediante a interpolação (*spline* cúbica) ou reamostragem do sinal de entrada. Esse procedimento de certo modo prejudicou a independência linear dos vetores coluna da matriz das equações normais.

Conclusões

- O método proposto utilizando o filtro conformador de Wiener é importante na investigação do potencial de sismicidade induzida em reservatórios de Barragens, os denominados SIR's, pois quantifica o grau de similitude dos padrões de fraturas e falhas regionais com histórico de sismicidade, com as estruturas na área de influência da Barragem.
- Para se obter resultados muito bons com a utilização do método é importante que sejam gerados arquivos ASCII de mapas vetorizados regionais e locais, georreferenciados, contendo aproximadamente a mesma quantidade de dados.

Referências

- ABGE – 1979. Simpósio sobre Sismicidade Natural e Induzida. ABGE, São Paulo, 274 pp.
- Assumpção, M., 1980. Aspectos da Correlação Sismicidade x Geologia. In: I Mesa Redonda sobre Risco Sísmico. ABGE, S. Paulo, 100p.
- Berrocal, J., M. Assumpção, R. Antezana, C.M. Dias Neto, R. Ortega, H. Franca & J. Veloso, 1984. Sismicidade do Brasil. IAG-USP, 320 pp.
- Ferreira, J.M. & M. Assumpção, 1983. Sismicidade do Nordeste do Brasil. Rev. Bras. Geofísica, 1, 67-88.
- Kisslinger, Carl, 1976 – A Review of Theories of Mechanisms of Induced Seismicity. Engineering Geology, 10 p. 99-122. Elsevier, Amsterdam.
- Robinson, E. A. and Treitel, S., 1980. Geophysical Signal Analysis (Prentice-Hall Signal processing Series), Prentice Hall, Inc. N. J.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da Universidade Federal da Bahia pelo suporte computacional, e à Secretaria de Recursos Hídricos do Governo do Estado da Bahia.

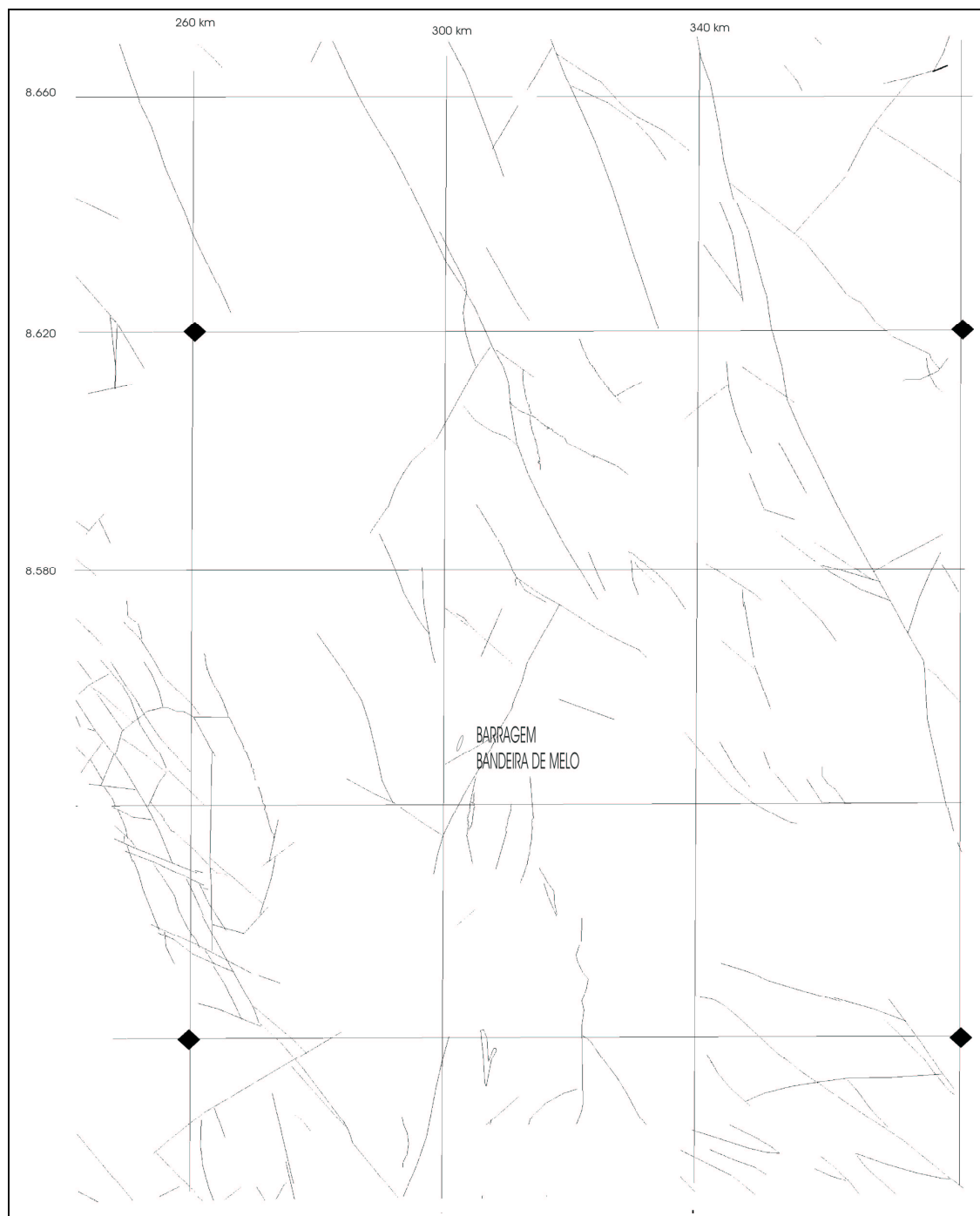


Figura 3 - *Distribuição de Falhas e Fraturas na Área da Barragem Bandeira de Melo – Bahia.*