



UM ESTUDO DO ACOPLAMENTO BARRAGEM EM ARCO- RESERVATÓRIO SOB AÇÃO DE UM SISMO

Neander Berto Mendes

Lineu José Pedroso

neanderberto@hotmail.com

lineu@unb.br

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental- Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC) - Grupo de Dinâmica e Fluido-Estrutura (GDFE). Caixa Postal 04492, Campus Darcy Ribeiro, CEP 70919-970, Brasília-DF.

Resumo. *Uma barragem segura é aquela cujo desempenho satisfaça as exigências de comportamento necessárias a evitar incidentes e acidentes, quer se refiram aos aspectos estruturais, econômicos, ambientais ou sociais. A barragem deve possuir estabilidade adequada para suportar com segurança os carregamentos (normais e extremos) de projeto. Dentre os eventos extremos a que uma barragem deve resistir, há o sismo. Quando a barragem vibra, a água também participa do movimento, portanto, durante a ação de um sismo, é de fundamental importância a consideração da interação dinâmica entre a estrutura e o fluido. Apesar de raras as barragens em arco no Brasil, este estudo tem como objetivo, colocar em teste os avanços dessas metodologias, que no caso se orientam a análise de estruturas em arco. Assim, este trabalho apresenta respostas (deslocamentos e tensões) de uma barragem em arco com dupla curvatura (barragem Morrow Point) submetida às componentes montante, vertical e transversal, simultaneamente, de um movimento do solo (terremoto de Taft Lincoln School Tunnel) para os casos de reservatório vazio e completamente cheio, com uma análise desacoplada e acoplada fluido-estrutura. Em todas as análises realizadas, o modelamento e as simulações numéricas foram feitos pelo MEF, com apoio do software ANSYS.*

Palavras-chave: *Barragens em Arco, Sísmos, Acoplamento Fluido-Estrutura, Interação Barragem-Reservatório, Análise Dinâmica, Avaliação de Tensões.*

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Ministério da Integração Nacional (2002), as barragens são obras geralmente associadas a um elevado potencial de risco devido à possibilidade de um eventual colapso, com consequências catastróficas para as estruturas das próprias barragens, ao meio ambiente, com destruição da fauna e flora, e, principalmente, pela perda de vidas humanas. Uma barragem segura é aquela cujo desempenho satisfaça as exigências de comportamento necessárias para evitar incidentes e acidentes que se referem a aspectos estruturais, econômicos, ambientais e sociais.

Um caso de grande interesse na engenharia de barragens, surge durante a interação dinâmica entre a barragem e o reservatório durante um sismo. Trata-se de um fenômeno de natureza acoplada, onde o movimento da estrutura produz solicitações no fluido, que por sua vez interage produzindo pressões hidrodinâmicas sobre a estrutura. Caso o fluido seja considerado acústico, o problema será tratado como uma interação acústico-estrutural, onde a barragem irá representar uma parede flexível e o reservatório será associado a um compartimento acústico (Ribeiro, 2010).

As barragens podem ser classificadas, segundo sua geometria, em: a gravidade, a arco e a arco-gravidade. As barragens a arco tiram proveito da propriedade de as estruturas em arco resistirem com facilidade a cargas uniformemente distribuídas sobre seu dorso, transmitindo-as para suas ombreiras. Nessas condições, as forças decorrentes do empuxo hidrostático são transferidas para as margens e o fundo do rio. Daí, para seu emprego, ser necessário haver condições naturais especialíssimas como margens altas constituídas de rocha resistente e sã. Dadas às suas pequenas seções transversais, empregam pouco material de forma que seu peso desempenha papel secundário no equilíbrio estático. Podem ser construídas em concreto e concreto armado (Souza *et al.*, 1983).

As barragens em arco são mais econômicas em comparação às barragens gravidade de mesma altura, além de serem extremamente confiáveis, apresentando poucos casos de ruptura comparativamente aos outros tipos. Além disso, as barragens em arco costumam gerar impactos ambientais bastantes reduzidos, por serem geralmente construídas em vales estreitos e encaixados, em rios cujos acidentes naturais como saltos e quedas, favorecem a geração hidrelétrica e exigem pequenos reservatórios (Mendes, 2013).

Barragens em arco são projetadas para resistir à maior parte das pressões de água e outras cargas pela sua transmissão através da ação do arco às paredes do cânion. Consequentemente, os efeitos da rocha de fundação da resposta ao terremoto de barragens em arco são significativos e devem ser considerados na análise dinâmica (USACE, 1994).

O objeto de estudo deste artigo está alicerçado na análise sísmica de barragens em arco incluindo a interação barragem-reservatório-rocha de fundação. Essas barragens são praticamente inexistentes no Brasil, e a falta de conhecimento sobre as mesmas tem sido um dos maiores obstáculos à sua difusão e utilização.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dentre os trabalhos relacionados à resposta ao terremoto de barragens em arco destacam-se, dentre outros: Porter e Chopra (1981), Hall e Chopra (1983), Tan e Chopra (1996), Salajegheh *et al.* (2008) e Sevim *et al.* (2010). Chopra (2008) identificou os fatores que influenciam significativamente as análises tridimensionais de barragens em arco: a dimensão semi-ilimitada do reservatório e os domínios da rocha de fundação, a interação barragem-

água, absorção de onda na fronteira do reservatório, a compressibilidade da água, a interação barragem-rocha de fundação e a variação espacial no movimento do solo na interface barragem-rocha. Através de uma série de análises de exemplos de várias barragens reais, a significância dos fatores acima referidos foi demonstrada, levando à conclusão de que eles devem todos ser incluídos no cálculo de demandas sísmicas em barragens em arco. No entanto, a maioria das análises em elementos finitos de barragens realizada na prática profissional é baseada em softwares comerciais que ignoram estes fatores. A Universidade de Brasília, no âmbito do Grupo de Dinâmica e Fluido-Estrutura (GDFE) do curso de pós-graduação em Estruturas e Construção Civil do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, tem desenvolvido uma significativa bibliografia a respeito de barragens, interação dinâmica fluido-estrutura e estudos afins, como por exemplo, Oliveira (2002), Pedroso (2003), Ribeiro (2006), Souza Junior (2006), Silva (2007), Souza (2007), Melo (2009), Ribeiro (2010) e Mendes (2013). O presente artigo se baseia em Tan e Chopra (1996) que apresentaram a resposta dinâmica da barragem *Morrow Point* ao movimento do solo de *Taft* para uma vasta gama de propriedades da barragem, rocha de fundação, água represada e materiais das fronteiras do reservatório.

3 PARÂMETROS DE ANÁLISE

Foi analisada a resposta dinâmica da barragem *Morrow Point*, barragem em arco com dupla curvatura de concreto localizada no rio *Gunnison*, Colorado, EUA, mostrada na Figura 1, às três componentes do movimento do solo registrado em *Taft Lincoln School Tunnel*, *Kern County*, Califórnia, EUA, em 21 de julho de 1952, para duas condições: a barragem isolada (Caso 1) e a barragem com água a uma profundidade igual à altura da barragem, considerando a água compressível (Caso 2).



Figura 1 - Barragem *Morrow Point*

(http://www.usbr.gov/projects/Facility.jsp?fac_Name=Morrow+Point+Dam&groupName=General)

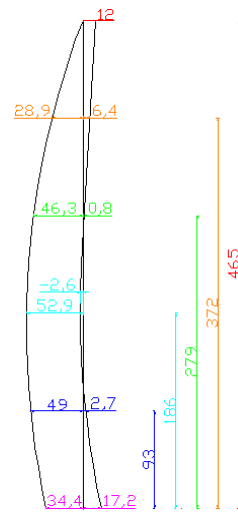
As dimensões da barragem *Morrow Point*, segundo Hall e Chopra (1983), são apresentadas na Tabela 1 e na Figura 2, que trás também o modelo analisado, em que y é a altura, B é a largura da seção transversal a partir do eixo (ver Figura 2), R é o raio, dados em pés (*ft*), medidos na seção transversal central, o índice m significa montante, o índice j , jusante e θ_0 é o semi-ângulo central dos arcos, em graus. A coluna cor indica a cor de plotagem dos arcos e medidas nas Figuras 2(a) e (b).

O concreto da barragem *Morrow Point* apresenta as seguintes propriedades físicas: massa específica $\rho_e = 2.483 \text{ kg/m}^3$, módulo de Young $E_e = 27,58 \text{ GPa}$, relação de Poisson $\nu = 0,2$. Considerou-se a razão de amortecimento ζ igual a 5%. As propriedades físicas da água são: velocidade do som na água $c = 1.440 \text{ m/s}$ e massa específica $\rho_a = 1.000 \text{ kg/m}^3$. Os materiais de contorno (fundo e lados) do reservatório foram considerados não absorventes. A rocha de fundação é assumida como sendo sem massa ($\rho_f = 0 \text{ kg/m}^3$) e rígida ($E_f/E_e = \infty$).

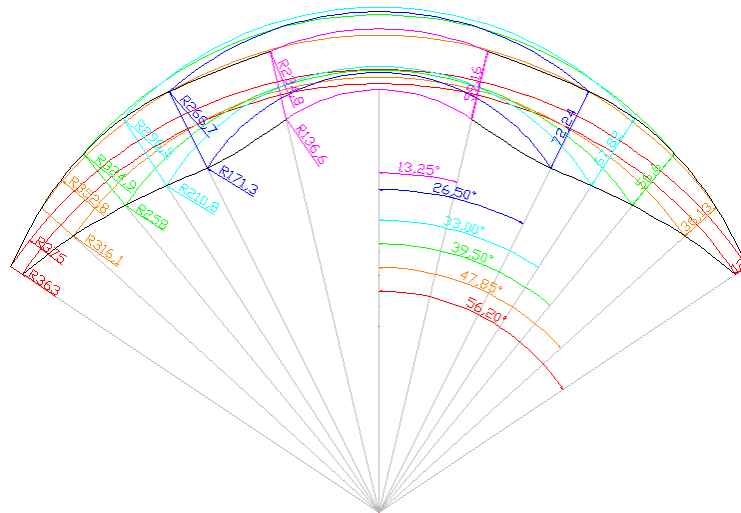
Tabela 1 - Dimensões da barragem *Morrow Point* (Hall e Chopra, 1983)

$y \text{ (ft*)}$	$B_m \text{ (ft*)}$	$B_j \text{ (ft*)}$	$R_m \text{ (ft*)}$	$R_j \text{ (ft*)}$	θ_0°	Cor
465	0,0	12,0	375,0	363,0	56,20	Vermelho
372	28,9	6,4	352,8	316,1	47,85	Laranja
279	46,3	0,8	324,9	258,0	39,50	Verde
186	52,9	-2,6	296,5	210,8	33,00	Cyan
93	49,0	2,7	266,7	171,3	26,50	Azul
0	34,4	17,2	234,8	136,6	13,25	Magenta

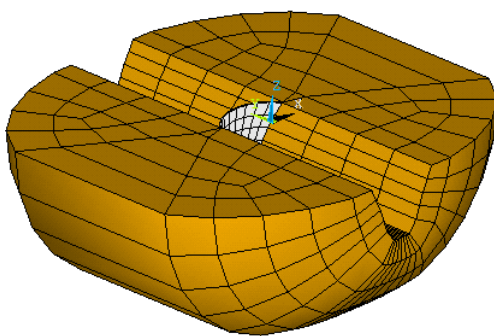
* $1\text{ft} = 0,3048 \text{ m}$



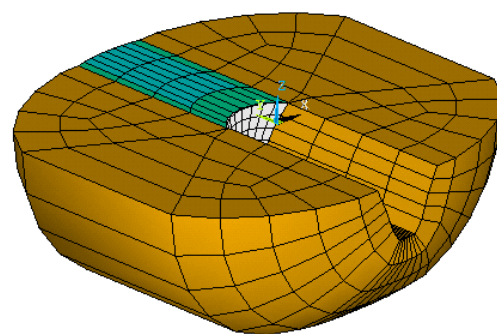
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2 - (a) Seção transversal central, (b) planta superior da barragem *Morrow Point* e modelos (c) do sistema barragem-fundação (Caso 1) e (d) do sistema barragem-reservatório-fundação (Caso 2)

O movimento do solo registrado em *Taft Lincoln School Tunnel* durante o terremoto em *Kern County*, California, EUA de 21 de julho de 1952, foi selecionado como campo de

aceleração livre do solo para a análise da barragem *Morrow Point*. Os movimentos do solo agindo nas direções montante (y), transversal (x) e vertical (z) são definidos, respectivamente, como componentes S69E, S21W (ou N21E) e vertical do movimento do solo registrado. Os picos de aceleração são 0,18g, 0,16g e 0,10g para as três componentes, respectivamente. Os registros, dados em g, são apresentados nas Figuras 3, 4 e 5.

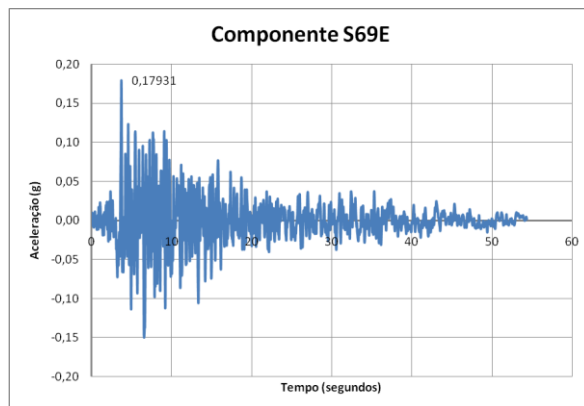


Figura 3 - Componente S69E do terremoto de Taft

(http://nisee.berkeley.edu/data/strong_motion/caltech/volume1.d/taft_1952_s69e)

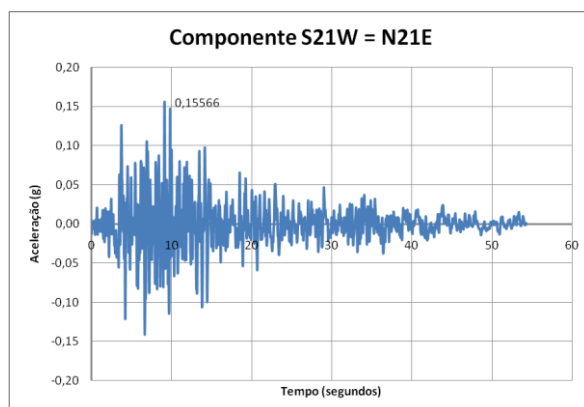


Figura 4 - Componente S21W do terremoto de Taft

(http://nisee.berkeley.edu/data/strong_motion/caltech/volume1.d/taft_1952_n21e)

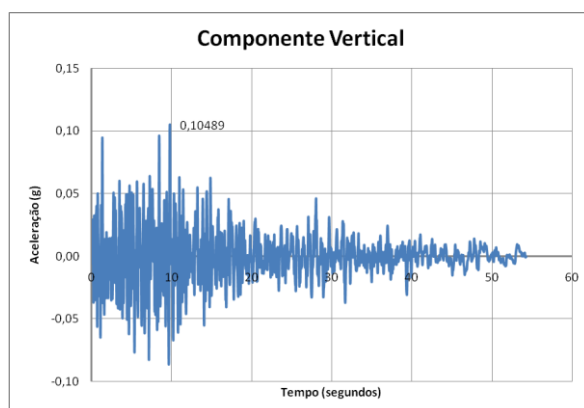


Figura 5 - Componente vertical do terremoto de Taft

(http://nisee.berkeley.edu/data/strong_motion/caltech/volume1.d/taft_1952_vert)

Os resultados da resposta apresentados são: as variações no tempo do deslocamento radial no ponto da crista da barragem onde ocorreu o deslocamento radial máximo e os envelopes de tensões de tração máximas, devido às três componentes simultaneamente, para os casos de reservatório vazio e completamente cheio.

A modelagem numérica foi feita no software ANSYS 11.0 que é baseado no método dos elementos finitos (MEF) com o qual foi possível determinar as respostas dos modelos e assim comparar estes resultados com os disponíveis na literatura. Modelos tridimensionais foram construídos com elementos sólidos (SOLID95) para a barragem de concreto e a rocha de fundação, elementos de fluido acústico (FLUID30) para o reservatório de água, elementos acústicos infinitos (FLUID130) para o domínio longínquo do reservatório e elementos de contato (CONTA174 + TARGE170) para o contato barragem-fundação, sendo o comportamento da superfície de contato considerado sem separação (sempre).

Neste trabalho foi utilizada a análise dinâmica transiente, que é uma técnica utilizada para determinar a resposta dinâmica de uma estrutura sob a ação de quaisquer cargas gerais tempo-dependentes. Três métodos de análise da resposta transiente estão disponíveis no ANSYS: *full* (completo), *reduced* (reduzido) e *mode superposition* (superposição modal). O método utilizado foi o *full method*. Esse método utiliza as matrizes completas do sistema para calcular a resposta transiente (sem redução de matrizes).

O amortecimento está presente na maioria dos sistemas e deve ser especificado em uma análise dinâmica. As formas de amortecimento disponíveis no programa ANSYS são: amortecimento de Rayleigh (alfa e beta), amortecimento material-dependente, coeficiente de amortecimento constante do material, razão de amortecimento constante, amortecimento modal e amortecimento do elemento. O tipo de amortecimento depende do tipo de análise. Neste trabalho foram utilizados: amortecimentos alfa e beta nas análises transientes de sistemas estruturais e coeficiente de amortecimento constante do material nas análises transientes para as estruturas de sistemas fluido-estrutura acoplados. Os coeficientes alfa (α) e beta (β) são dados por:

$$\alpha = \frac{2\omega_r \omega_s \zeta}{\omega_r + \omega_s} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{2\zeta}{\omega_r + \omega_s} \quad (2)$$

onde ω_r e ω_s são as frequências de controle, em rad/s. Dada uma razão de amortecimento constante, é conveniente tomar ω_r e ω_s como as frequências correspondentes ao primeiro modo e ao último dos modos superiores, que contribuem significativamente para a resposta. Para o caso fluido-estrutura, no ANSYS, especificou-se o amortecimento β como uma propriedade do material da estrutura (amortecimento material-dependente) nesse caso, dado por:

$$\beta = \frac{2\zeta_i}{\omega_i} \quad (3)$$

onde ω_i deve ser escolhida como a frequência ativa mais dominante.

Quanto à carga de terremoto, os registros temporais da aceleração foram aplicados a todo o modelo usando o comando ACEL, que é um processo tradicional usado na análise transiente para a excitação sísmica de acordo com o *Korea Institute of Nuclear Safety* (2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de validar o modelo de elementos finitos com as premissas utilizadas, a primeira frequência natural do modo simétrico da barragem em arco foi determinada através do pico da curvas de amplitude do deslocamento radial na face montante da crista da barragem, à seção do arco $\theta = 0^\circ$ (seção transversal central), devido à componente montante-jusante do movimento resultante da aceleração harmônica unitária do solo. A razão de amortecimento adotada foi igual a 5%. A Figura 6 apresenta as resposta e a Tabela 2, os resultados obtidos comparados com os reportados por Tan e Chopra (1996).

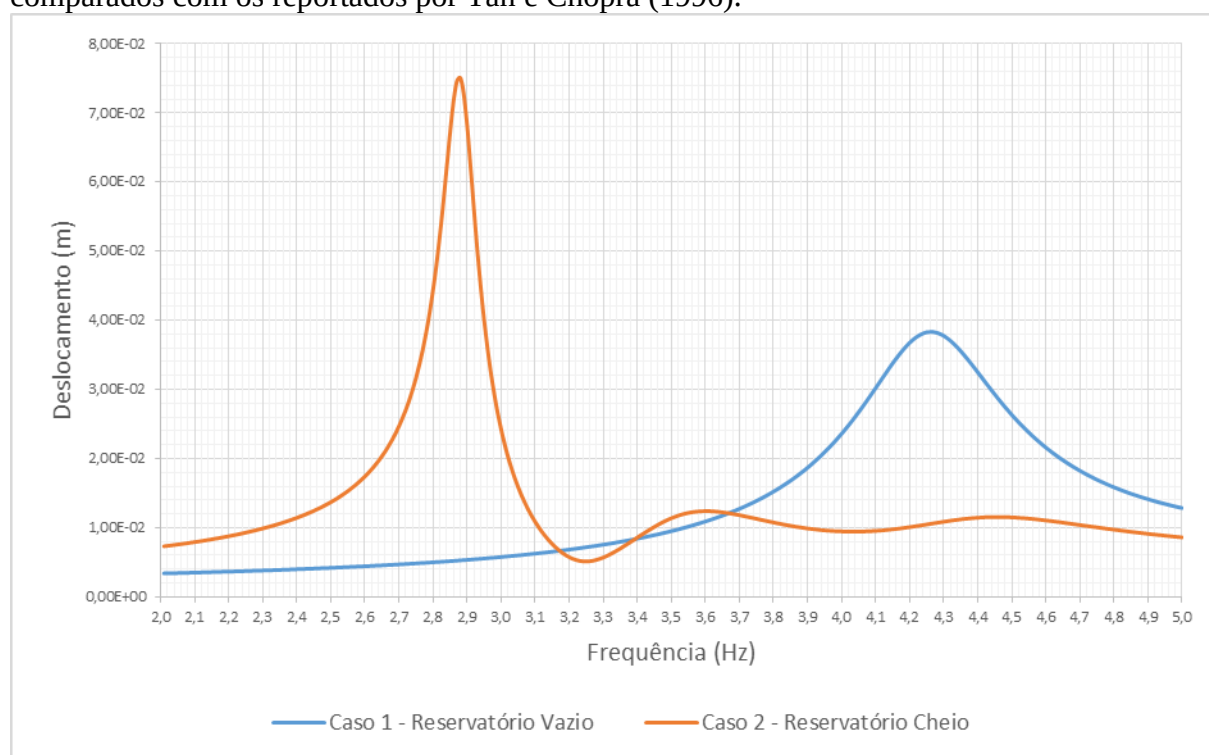


Figura 6 - Curvas da amplitude do deslocamento radial na face montante da crista da barragem, à seção do arco $\theta = 0^\circ$ devido à componente montante-jusante do movimento resultante da aceleração harmônica unitária do solo em função da frequência aplicada.

Tabela 2 - Comparação das frequências naturais do modelo em elementos finitos com as da literatura

Caso	Reservatório	Frequência Natural (Hz)		
		Presente	Tan e Chopra (1996)	Diferença (%)
1	Vazio	4,26	4,27	0,23
2	Cheio	2,88	2,82	2,13

Comparando as frequências obtidas pelo MEF via Ansys com aquelas da referência, para reservatório vazio, a discrepância é de 0,23% e para reservatório cheio, de 2,13%. Desses resultados, pode-se concluir que acurácia suficiente dos modelos é notada.

Em análises transientes (*full method*), o ANSYS não dispõe de razão de amortecimento constante sendo necessário definir os amortecimentos α e β . A Tabela 3 indica para cada análise, os modos adotados para a resposta e os valores de α e β utilizados. Na análise fluido-estrutura, a razão de amortecimento da estrutura foi considerada igual a 5%. O valor de ω_1 para o Caso 1 corresponde a primeira frequência antissimétrica da barragem (3,79 Hz), obtida da resposta à componente transversal do movimento resultante da aceleração harmônica unitária do solo.

Tabela 3 - Amortecimentos α e β considerados

Caso	ω_r (rad/s)	ω_s (rad/s)	α	β
1	$\omega_1 = 23,81$	$\omega_2 = 26,77$	1,26	$1,98 \cdot 10^{-3}$
2	$\omega_1 = 18,10$	-	-	$5,53 \cdot 10^{-3}$

O deslocamento radial na face montante da crista da barragem em $\theta_0 = 14,05^\circ$ e os valores de tração máxima das tensões de arco e viga em balanço sobre as faces montante e jusante devido as três componentes (montante, vertical e transversal) simultaneamente, obtidos via ANSYS são agrupados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resposta da barragem *Morrow Point*

Resposta	Face	Tensão	Caso 1	Caso 2
Deslocamento radial máx. (cm)	-	-	1,33	6,42
Tensão de tração máx. (MPa)	Montante	Arco	2,06	13,89
		Viga em balanço	0,67	2,76
	Jusante	Arco	1,61	12,06
		Viga em balanço	0,56	3,75

É patente dos resultados numéricos da Tabela 4 que as respostas da barragem ao terremoto sofrem aumentos devido à interação barragem-reservatório.

A Figura 7 apresenta os deslocamentos radiais relativos no tempo do ponto da barragem que apresenta o maior deslocamento radial durante o terremoto, devido às componentes montante, vertical e transversal, simultaneamente, para os casos de reservatório vazio (estrutura desacoplada) e completamente cheio (sistema fluido-estrutura acoplado).

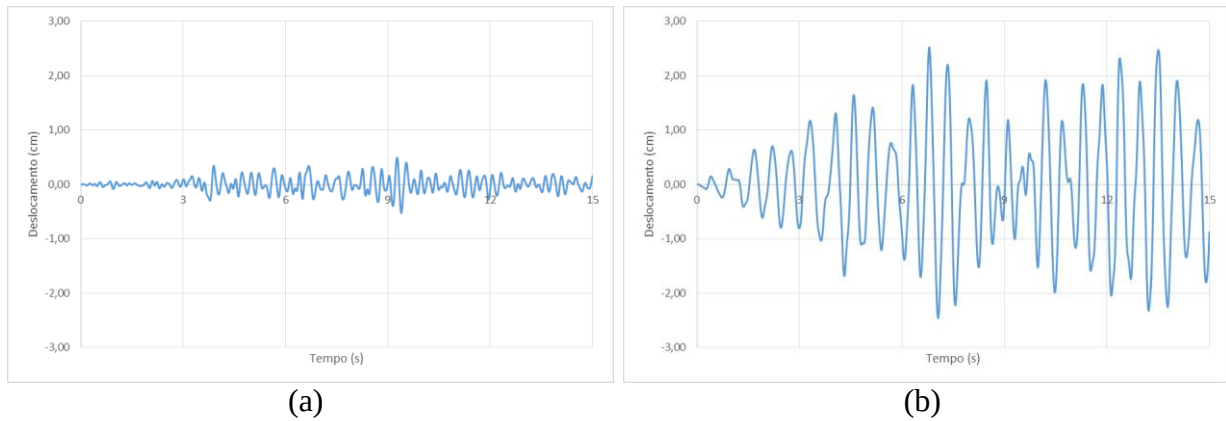


Figura 7 - Deslocamento radial na face montante da crista da barragem $\theta_0 = 14,05^\circ$ no tempo, em cm: (a) estrutura e (b) fluido-estrutura

As Figuras 8 e 9 mostram os envelopes das tensões de tração máximas nas faces montante e jusante, respectivamente.

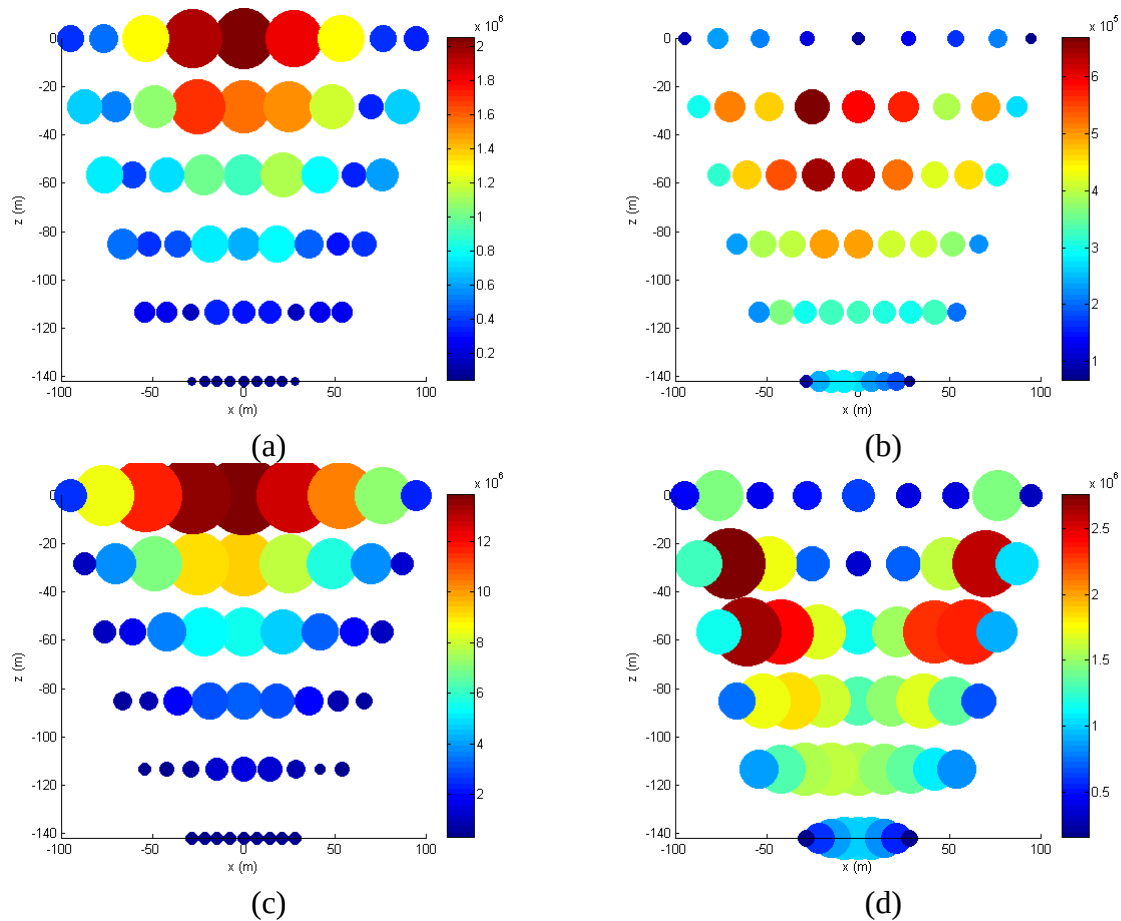


Figura 8 - Envelope dos valores de tensão de tração máxima na face montante: (a) arco e (b) viga em balanço para o caso de reservatório vazio e (c) arco e (d) viga em balanço para o caso de reservatório cheio, em Pa

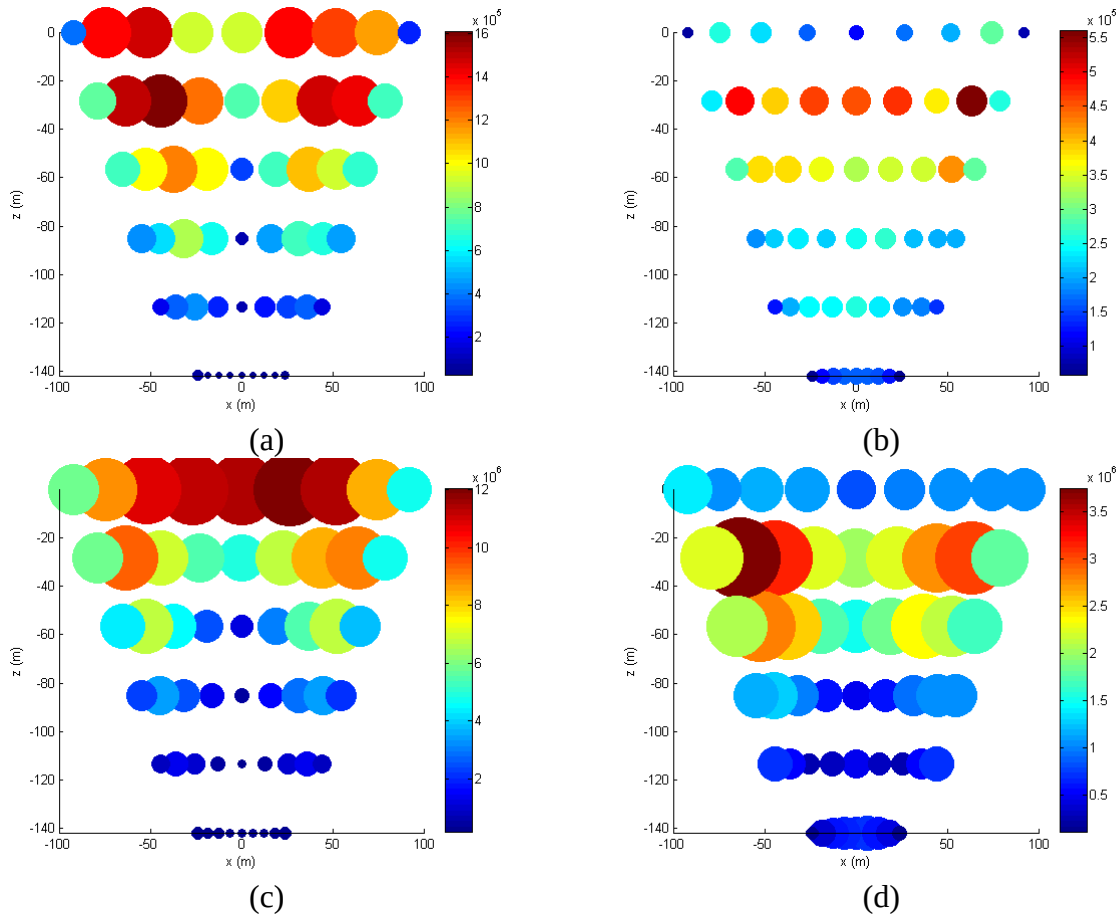


Figura 9 - Envelope dos valores de tensão de tração máxima na face jusante: (a) arco e (b) viga em balanço para o caso de reservatório vazio e (c) arco e (d) viga em balanço para o caso de reservatório cheio, em Pa.

Os gráficos de contorno das tensões de arco e viga em balanço máximas representam a maior tensão de tração (positiva) computada em todos os pontos da barragem durante o tremor de terra. Gráficos de contorno de tensões de arco e viga em balanço máximas proporcionam um meio conveniente para a identificação de áreas sobrecarregadas onde as tensões máximas se aproximam ou excedem da resistência a tração do concreto. Com base nessas informações, a extensão e a gravidade das tensões de tração são determinadas, e se necessário, uma avaliação adicional que represente a natureza tempo-dependente das tensões deve ser feita.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo parte da análise sísmica de uma barragem real, a barragem *Morrow Point* submetida a um sismo real, o terremoto de *Taft Lincoln School Tunnel*. Os estudos foram feitos a partir de resultados obtidos via ANSYS. Para validação destes resultados, procedeu-se a um comparativo, com resultados da literatura técnica especializada, das frequências naturais do modo simétrico da barragem em arco para os casos de reservatório vazio (Caso 1) e cheio (Caso 2), através da análise das curvas de amplitude do deslocamento radial na face montante da crista da barragem, à seção transversal vertical central, devido à componente montante-jusante do movimento resultante da aceleração harmônica unitária do

solo. Esses resultados, mostraram-se com diferenças de 0,23 e 2,13% em relação à Tan e Chopra (1996) para os Casos 1 e 2, respectivamente, validando os modelos.

Os resultados da resposta apresentados foram: as variações no tempo do deslocamento radial no ponto da crista da barragem onde ocorreu o deslocamento radial máximo e os envelopes de tensões de tração máximas, devido às três componentes simultaneamente, para os casos de reservatório vazio e completamente cheio. Dos resultados numéricos apresentados, observa-se que as respostas da barragem ao terremoto sofreram aumentos devido à interação barragem-reservatório: o deslocamento radial máximo foi 3,8 vezes maior, e as tensões de tração máximas de arco e viga em balanço nas faces montante e jusante foram 5,7; 3,1; 6,5 e 5,7 vezes maiores, respectivamente.

A relevância desse estudo reside na influência de aspectos das interações fluido-estrutura e estrutura-estrutura no comportamento dinâmico de um sistema barragem em arco-reservatório de água-rocha de fundação submetido a um sismo, contribuindo assim para uma ampliação da bibliografia disponível no meio a respeito do tema, e o desenvolvimento de uma metodologia adequada que forneça o suporte técnico para a prática de projetos seguros e confiáveis, preocupação importante na engenharia de barragens.

Dando prosseguimento a este trabalho, pode-se: examinar nas análises barragem-reservatório, a interação barragem-fundação, considerando a inércia, o amortecimento e a flexibilidade da rocha e a absorção acústica do material constituinte do leito do reservatório.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelos recursos recebidos nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. *Manual de Segurança e Inspeção de Barragens* - Ministério da Integração Nacional - Secretaria de Infra - Estrutura Hídrica. Brasília, DF, julho 2002.
- Chopra, A. K. (2008). Earthquake Analysis of Arch Dams: Factors to be Considered. In: *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*. Outubro 12-17, 2008, Beijing, China.
- Hall, J. F. e Chopra, A. K. (1983). Dynamic Analysis of Arch Dams Including Hydrodynamic Effects. In: *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 109, N°1, February, 1983. DOI: 0733-9399/83/0001-0149.
- Korea Institute of Nuclear Safety (2009). KINS/RR-685. *Seismic Analysis of Mechanical Components by ANSYS*.
- Melo, C. A. E. (2009). *Estudo do Acoplamento Comporta-Reservatório Sob Ações Sísmicas*. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, E.DM 012A/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 107p.
- Mendes, N.B., 2013. *Estudo comparativo analítico-numérico de aspectos da interação fluido-estrutura em cascas com aplicações a barragens em arco*. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. Publicação E.DM-12A/13. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 318 p.

Oliveira, F.F. (2002). *Análise de Tensões e Estabilidade Global de Barragens de Gravidade de Concreto*. Dissertação de Mestrado, Publicação E.DM-015A/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 169p.

Pedroso, L.J. (2003). “*Interação Fluido-Estrutura.*” In: *Notas de Curso e Apostila Didática*, UnB-FT/ENC, Vs.3 - Brasília, DF.

Porter, C. S. e Chopra, A. K. (1981). Hydrodynamic Effects in Dynamic Response of Simple Arch Dams. In: *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 10. 417431.

Ribeiro, P. M. V. (2006). *Uma Metodologia Analítica para a Avaliação do Campo de Tensões em Barragens Gravidade de Concreto Durante Terremotos*. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM - 003A/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 140p.

Ribeiro, P. M. V. (2010). *Soluções Analíticas para Cavidades Acústicas Bidimensionais com Aplicação ao Estudo de Problemas de Interação Dinâmica Barragem-Reservatório*. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD-004A/10, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 306p.

Salajegheh, J., Salajegheh, E., Seyedpoor, S. M. e Gholizadeh, S. (2008). Arch Dam Optimization Considering Fluid-Structure Interaction with Frequency Constraints using Artificial Intelligence Methods. In: *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*. Outubro 12-17, 2008, Beijing, China.

Sevim, B., Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Adanur, S., Akköse, M. (2010). Dynamic Characteristics of a Prototype Arch Dam. In: *Experimental Mechanics*. DOI 10.1007/s11340-010-9392-9.

Silva, S. F. (2007). *Interação dinâmica barragem-reservatório: modelos analíticos e numéricos*. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD-05A/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 220p.

Souza, S.M. (2007). *Contribuição para uma Metodologia de Análise Acoplada Fluido-Estrutura para Cavidades Acústicas de Paredes Flexíveis*. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-004A/07. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 177p.

Souza Junior, L. C. (2006). *Uma Aplicação dos Métodos dos Elementos Finitos e Diferenças Finitas à Interação Fluido-Estrutura*. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-008A/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197p.

Souza, Z. de, Fuchs, R. D., Santos, A. H. M. (1983). *Centrais Hidro e Termelétricas*. São Paulo: E. Blücher: Centrais Elétricas Brasileiras S/A - ELETROBRÁS: Escola Federal de Engenharia de Itajubá.

Tan, H. e Chopra, A.K. (1996). Dam-Foundation Rock Interaction Effects in Earthquake Response on Arch Dams. In: *Journal of Structural Engineering*, Vol. 122, N° 5. 0733-9445/06/0005-0528.

USACE (1994). *Engineering and Design – ARCH DAM DESIGN*. Department of the Army. U. S. Army Corps of Engineers. EM 1110-2-2201. Washington.

Sites:

<http://nisee.berkeley.edu/data/strong_motion/caltech/volume1.d/taft_1952_vert> Acesso em: 07/abr/2013.

<http://nisee.berkeley.edu/data/strong_motion/caltech/volume1.d/taft_1952_n21e> Acesso em: 07/abr/2013.

<http://nisee.berkeley.edu/data/strong_motion/caltech/volume1.d/taft_1952_s69e> Acesso em: 07/abr/2013.

<http://www.usbr.gov/projects/Facility.jsp?fac_Name=Morrow+Point+Dam&groupName=General> Acesso em: 07/abr/2013.