

# IMPACTO HIDROLÓGICO DA BARRAGEM OESTE EM TAIÓ, BRASIL, NO AMORTECIMENTO DE CHAIAS DO RIO ITAJAÍ DO OESTE

Carolina Natel de Moura<sup>1</sup>, Laís Gonçalves Fernandes<sup>1</sup>, Júlio Gomes<sup>1</sup>,  
Guilherme Xavier de Miranda Jr.<sup>2</sup> e Everton Vieira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, Brasil.

<sup>2</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural – EPAGRI.

E-mail: carolina.natel@gmail.com, laisgfernades@gmail.com, jgomes.dhs@ufpr.br, gmiranda@epagri.sc.gov.br,  
evertonvieira@epagri.sc.gov.br

## Introdução

A barragem Oeste em Taió é a principal medida estrutural de proteção contra enchentes utilizada na bacia do Rio Itajaí do Oeste no Estado de Santa Catarina (SC), Brasil. De acordo com Cordero et al. (2003), o reservatório de controle de enchentes retém parte do volume da água que constitui a onda de cheia por um certo tempo, reduzindo às vazões em comparação ao que ocorreria naturalmente naquela bacia hidrográfica e, em consequência disso, prolonga-se a duração de cheia neste rio, mas alcança-se valores toleráveis de vazão e nível de água no rio à jusante.

Atualmente, o maior desafio dos tomadores de decisão é definir as manobras de abertura e fechamento de comportas da barragem Oeste de Taió de forma a maximizar a proteção das áreas localizadas a jusante da barragem. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo comparar os hidrogramas efluentes e os níveis de água na Barragem Oeste, localizada em Taió/SC, no Vale do Rio Itajaí nos eventos de cheia observados entre 26/02/2013 e 10/11/2017. Foram analisadas duas situações extremas hipotéticas de operação das comportas: totalmente fechadas (sem comportas) ou totalmente abertas (sem controle). Estas duas situações representariam situações limites para a definição de regras de operação.

## Materiais e métodos

A Barragem Oeste está localizada no município de Taió, Santa Catarina, Brasil, com a finalidade de atenuar os efeitos das cheias do rio Itajaí do Oeste, afluente da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí. Os dados hidrológicos (telemétricos) utilizados foram obtidos da Agência Nacional de Água (ANA). Os eventos extremos estudados são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.-** Descrição dos eventos extremos.

Evento	Período (d/m/a)	Precipitação observada na barragem (mm)	Vazão de pico (m <sup>3</sup> /s)
1	10/09 a 03/10/2013	306,6	1.187
2	01/01 a 24/01/2014	361,8	1.017
3	03/06 a 09/07/2014	510,8	1.549
4	20/09 a 01/11/2015	527,8	1.211

A barragem Oeste possui sete comportas localizadas no corpo da barragem e que, em épocas de cheia, com níveis altos no reservatório, operam como orifícios. Uma das comportas da barragem é mantida sempre aberta, a fim de garantir vazão à jusante na condição de baixas e médias vazões.

A barragem Oeste também possui em seu corpo um vertedor de soleira livre, portanto sem controle, e cuja cota da crista é superior à cota das comportas. O vertedor começa a operar quando o nível de água no reservatório atinge a cota da crista. Nesta condição, diz-se que houve vertimento da barragem e representa a possibilidade de uma situação crítica para as regiões à jusante da barragem. Neste estudo, foram analisadas duas situações de operação da barragem:

**Caso 1:** Operação da barragem com todas as comportas abertas durante a ocorrência do evento de cheia;

**Caso 2:** Operação da barragem com apenas uma comporta aberta durante a ocorrência do evento de cheia.

## Método

O Método de *Puls* é um dos métodos mais conhecidos para simulação da propagação da onda de cheia em reservatórios. A metodologia consiste em uma discretização da Equação da Continuidade Concentrada e na relação entre armazenamento (S) e vazão efluente (Q) do reservatório. Descrição do método, apresentada a seguir, pode ser encontrada em Tucci (2012).

A Equação da Continuidade Concentrada é representada de modo discreto pela Equação 1:

$$\frac{S_{t+1}-S_t}{\Delta t} = \left( \frac{I_t+I_{t+1}}{2} \right) - \left( \frac{Q_t+Q_{t+1}}{2} \right) \quad [1]$$

onde  $I_t$  e  $I_{t+1}$  são as vazões afluentes ao reservatório em  $t$  e  $t+1$ ;  $Q_t$  e  $Q_{t+1}$  são as vazões efluentes do reservatório em  $t$  e  $t+1$ ;  $S_t$  e  $S_{t+1}$  são os armazenamentos nos referidos tempos e  $\Delta t$  é o intervalo de tempo. Supondo-se conhecidos: o hidrograma afluente (I) para qualquer tempo e os valores de Q e S no instante  $t$ , a Equação 1 apresenta duas incógnitas  $Q_{t+1}$  e  $S_{t+1}$ . Isolando-se as incógnitas da Equação 1, tem-se a Equação 2:

$$Q_{t+1} + \frac{2S_{t+1}}{\Delta t} = I_t + I_{t+1} - Q_t + \frac{2S_t}{\Delta t} \quad [2]$$

Para a solução da Equação 2 no instante  $t+1$ , necessita-se de uma segunda equação, resultante da relação entre a vazão efluente do reservatório (Q) e o armazenamento (S) e que pode ser obtida a partir da curva cota x volume do reservatório e das curvas de descarga das estruturas hidráulicas da barragem.

O procedimento para a solução da Equação 2 envolve a determinação de uma função relacionando  $Q = f_1(Q + \frac{2S_t}{\Delta t})$ , expressa na forma tabular. Conhecidas as condições no instante  $t$ , pode-se determinar o valor da soma  $Q + \frac{2S_t}{\Delta t}$  no instante  $t+1$  e, a partir deste valor, calcular Q por interpolação numérica e finalmente calcular S, todos relativamente ao instante  $t+1$ .

## Resultados e discussão

A comparação entre o hidrograma afluente e os hidrogramas efluentes, obtidos para as situações de operação de barragem analisadas, mostraram amortecimento da onda de cheia e atraso na vazão de pico, como era de se esperar.

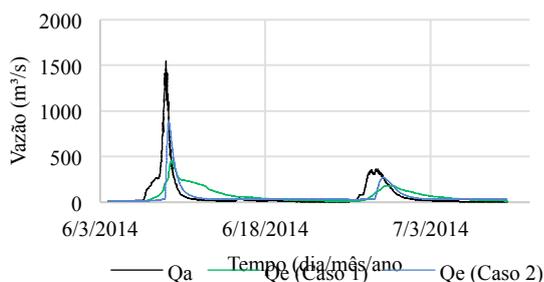
Em relação às cotas no interior do reservatório, os resultados mostraram que, em nenhum momento, o nível de água encontrou-se abaixo da cota da geratriz inferior das comportas de tal modo que a operação da comportas não interferisse no hidrograma efluente. Este resultado é função da hipótese de escoamento permanente como condição inicial do problema.

Observou-se que as cotas obtidas no Caso 1 resultaram sempre inferiores às cotas obtidas no Caso 2. No Caso 1, após se atingir o nível de água máximo, há uma redução rápida dos níveis do reservatório, enquanto que, para o Caso 2, a redução dos níveis ocorre de forma gradual, mais lenta. Este comportamento observado para o Caso 2 pode vir a se tornar um problema na hipótese da ocorrência de um segundo evento logo em seguida ao primeiro, pois encontrará o reservatório ainda relativamente cheio e com menor capacidade de amortecimento da onda de cheia.

Os efeitos foram mais significativos para a situação de operação da barragem com todas as comportas abertas (Caso 1). Na referida condição de operação, no evento 1 houve uma redução de 50,2% na vazão de pico e um atraso no pico. Por outro lado, as vazões à jusante permaneceram elevadas por um maior período em comparação à operação da barragem com apenas uma comporta aberta (Caso 2).

O evento 2 foi o evento de menor magnitude, o que pode ser demonstrado pela menor precipitação observada na barragem (68,2 mm) e conseqüentemente menor vazão de pico. Em razão disso, não foram observadas grandes diferenças entre os resultados obtidos nos Casos 1 e 2. Ainda assim, o Caso 2 apresentou uma vazão de pico maior, pois o nível de água no reservatório atingiu a cota da crista do vertedor, resultando em vertimento da barragem. No Caso 1, há uma liberação constante das vazões durante o evento, o que leva a um aumento nas cotas à jusante do reservatório por um maior tempo, mas não resulta em vertimento da barragem, uma vez que o nível de água do reservatório não atinge a cota da crista do vertedor.

O evento 3 (Figura 1) mostra uma situação peculiar em que ocorreu um primeiro pico, com vazão mais alta, e um segundo pico, com uma vazão mais baixa, em um intervalo de tempo de aproximadamente 20 dias.



**Figura 1.-** Hidrogramas de entrada (Qa) e saída (Qe) para os casos 1 e 2 do evento 3.

Para este evento, a operação da barragem com apenas uma comporta aberta resultou em dois vertimentos da barragem com diferença de poucos dias, pois o reservatório não teve tempo suficiente para produzir um volume de espera suficiente para armazenar o volume da cheia associada ao segundo pico.

O evento 4 aponta a interferência de vazões médias que proporcionam uma elevação gradual e contínua do nível de água no interior do reservatório, o que acarreta no vertimento da barragem se todas as comportas não estiverem em operação (Caso 2). Este evento aconteceu sob a influência do episódio El Niño 2015/16, sendo que o número de dias seguidos com precipitação significativa é maior (9 dias) que nos demais eventos e a precipitação acumulada na barragem também é mais expressiva, chegando a 350 mm. Sabe-se que a precipitação em Santa Catarina é fortemente influenciada por este fenômeno (GRIMM et al., 1998). Os demais eventos de cheia aconteceram em períodos sem El Niño e ainda assim acarretaram em picos de vazão tão expressivos quanto o pico do evento 4.

## Conclusão

O Método de *Puls* permitiu a representação do amortecimento

das ondas de cheia pela Barragem Oeste, localizada em Taió/SC, no Vale do Rio Itajaí nos eventos de cheia observados entre 26/02/2013 e 10/11/2017, sendo possível estimar as vazões efluentes à jusante com base na vazão afluente. Os resultados obtidos indicaram que a operação do reservatório com a abertura das comportas da barragem favorece o controle das vazões. Esta simulação associada a dados de nível de água no interior da barragem e previsões meteorológicas podem auxiliar na prevenção e minimização dos danos causados pelas cheias.

A operação meramente empírica de barragens é passível de muitos erros e subjetividade. Neste sentido, a pesquisa aplicada à operação de barragens é muito importante. Algumas considerações podem ser feitas a partir da análise dos resultados das simulações para a barragem Oeste:

- O reservatório deve ser operado de modo que a vazão natural escoe sem interferência da operação da barragem até que o nível de água à jusante atinja cotas limites;
- A partir do alcance da cota limite à jusante, deve-se utilizar o volume do reservatório para manutenção das vazões à jusante;
- As condições de operação dependem de características hidráulicas do reservatório (orifícios de fundo e vertedor) e da cota acima destas estruturas;
- Há amortecimento na onda de cheia, porém após o extravasamento pelo vertedor, vertimento da barragem, não há mais como controlar as vazões à jusante;
- O conhecimento das relações entre abertura/fechamento de comportas e amortecimento de onda de cheia é fundamental para o controle operacional da barragem Oeste para o controle das cheias no vale do rio Itajaí.

No presente estudo, não se considerou a possibilidade de operações de abertura ou fechamento das comportas durante o evento de cheia, sendo etapa a ser considerada em estudos futuros. Portanto, sugere-se para trabalhos futuros, a simulação dos eventos para diferentes cenários de operação de comportas, assim como, a utilização de técnicas de otimização para a definição das regras de operação dado um hidrograma afluente.

De acordo com o Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (MIN, 2002), a operação de barragens sob condições de cheias é normalmente baseada na cota do reservatório, na taxa de elevação desta cota, precipitação pluviométrica, estação do ano e previsão do tempo. Por isso, o conhecimento da resposta hidrológica do reservatório é fundamental para complementar essas informações, durante a ocorrência dos eventos de cheia.

Convém ressaltar ainda que este trabalho considerou um cenário otimista de operação da Barragem Oeste para os eventos analisados, ocorridos entre 2013 e 2015, pois adotou a altura do vertedor após a sobrelevação da barragem, obra que foi finalizada somente no final do ano de 2015. Esta sobrelevação da barragem foi uma das medidas propostas pelo Governo Federal como forma de amenizar as cheias na região, aumentando a capacidade do reservatório de 83 hm<sup>3</sup> para 99,3 hm<sup>3</sup>.

## Referências bibliográfica

- Cordero, A.; Silva, H. S.; Severo, D. L.** (2000) "Análise da capacidade de armazenamento das ondas de cheia pela barragem norte e suas implicações nas comunidades do Vale do Itajaí (SC)". In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2000. Anais 1980 – 2006. Disponível em: <http://www.cbmet.com/index.php>. Acesso em: 16 dez. 2017.
- Grimm, A. M. et al.** (1998) "Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events". *Journal of Climate*, v.11, p. 2863-2880, 1998.
- Tucci, C. E. M.** (2012) Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre: UFRGS. 4ª ed. Pp. 943.