



APLICAÇÃO DO MÉTODO DE PULS NO AMORTECIMENTO DE CHEIAS – CARANGOLA (MG)

*Ana Carolina da Silva Araujo¹; Marcel Pereira de Andrade²; Celso Bandeira de Melo Ribeiro³
Vinicius Bignoto da Rocha Cândido⁴; George de Cassia Mendes⁵; Thais Therezinha Rezende de
Melo⁶; Luis Gustavo Abdo Gante⁷*

RESUMO – Com a ocupação das regiões próximas às várzeas dos rios e com a ocorrência de um crescimento urbano sem planejamento, há grandes probabilidades de ocorrer uma enchente e causar grandes prejuízos à população daquele local. Para minimizar essas consequências, podem ser realizadas ações que levam ao amortecimento da cheia do rio e, assim, minimizar os impactos gerados pela mesma. Um dos meios de aplicar e calcular essas soluções é o método de Puls que consiste em um rearranjo da equação da continuidade, a qual pode ser utilizada com o objetivo de auxiliar no dimensionamento de reservatórios de amortecimento de cheias. Este artigo aborda sobre a aplicação desse modelo matemático em um pré-dimensionamento de um reservatório de cheia para a cidade de Carangola - MG, explicando os passos realizados e a metodologia adotada.

ABSTRACT– With the occupation of regions close to the river floodplains and the occurrence of unplanned urban growth, there is a high probability of a flood occurring and causing great damage to the population of that place. To minimize these consequences, actions can be taken that lead to the dampening of the river flood and, thus, minimize the impacts generated by it. One of the means of applying and calculating these solutions is the Puls method, which consists of a rearrangement of the continuity equation, which can be used to assist in the design of flood dampening reservoirs. This article discusses the application of this mathematical model in a pre-dimensioning of a flood reservoir for the city of Carangola - MG, explaining the steps taken and the methodology adopted.

Palavras-Chave – Drenagem urbana; Bacias de contenção de cheias.

INTRODUÇÃO

¹) Aluna de Graduação em Eng. Civil - UFJF, Faculdade de Engenharia, Campus da UFJF (MG), ana.araujo@engenharia.ufjf.br

²) Aluno de Mestrado PEC/UFJF, Faculdade de Engenharia, Campus da UFJF (MG), marcel.pdandrade@gmail.com

³) Professor do Dep. de Eng. Sanit. e Ambiental - ESA, Faculdade de Engenharia, Campus da UFJF, celso.bandeira@ufjf.br

⁴) Aluno de Mestrado PEC/UFJF, Faculdade de Engenharia, Campus da UFJF (MG), vinicius.bignoto@estudante.ufjf.br

⁵) Aluno de Graduação em Eng. Ambient. e Sanitária - UFJF, Faculdade de Engenharia, Campus da UFJF (MG), george.mendes@engenharia.ufjf.br

⁶) Aluna de Graduação em Eng. Civil - UFJF, Faculdade de Engenharia, Campus da UFJF (MG), thais.melo@estudante.ufjf.br

⁷) Engenheiro da Prefeitura de Carangola (MG), Praça Cel. Maximiano, 88 - Centro, Carangola - MG luisgabdo@gmail.com



Por um longo período, a drenagem urbana não foi abordada com grande importância por várias cidades, sendo que, para a ocorrência do crescimento urbano, houve uma ocupação nas zonas próximas às várzeas de rios, em rumo às colinas e morros, assim, as várzeas foram incorporadas aos sistemas viários, fazendo com que córregos fossem retificados e canalizados, para possibilitar a construção das vias. Conseqüentemente, locais sujeitos ao alagamento sazonal foram urbanizados, o que levou ao aumento do escoamento e dos picos de vazão, e, desse modo, em muitos casos gerando inundações (CANHOLI, 2005).

Há diversos métodos que podem ser utilizados para evitar as inundações e suas conseqüências, dentre eles o amortecimento de cheias através de reservatórios, que consiste no armazenamento temporário de um volume de água, para que a vazão do rio não aumente muito, já que isto pode gerar uma enchente.

Existem diversos meios de realizar o dimensionamento de um reservatório, sendo que um deles é o método de Puls, que pode ser considerado um modelo numérico amplamente utilizado para o cálculo de reservatórios de detenção (SOBRINHA, 2012). Este artigo aborda a avaliação do amortecimento de cheias, utilizando o método de Puls, para verificar o amortecimento de vazões de pico no Córrego Maranhão, que consiste em um dos principais afluentes do rio Carangola, sendo que esse provoca inundações frequentes na cidade de Carangola - MG.

MATERIAL E MÉTODOS

Amortecimento de cheias em reservatórios

O amortecimento de cheias consiste na redução da vazão máxima, de um hidrograma de uma onda de cheia, que passa por um determinado reservatório. Dessa forma, os reservatórios são comumente utilizados para diminuir os impactos das cheias, reduzindo as vazões de pico.

Estruturas de descarga dos reservatórios: vertedor e descarregador de fundo

O vertedor é uma estrutura localizada normalmente na parte superior da barragem, de forma a permitir a passagem das maiores cheias de forma segura, sem comprometer a segurança da barragem.

Além do vertedor, é comum que os reservatórios, especialmente os pequenos reservatórios de controle de cheias, tenham uma estrutura para esvaziar o volume acumulado após uma cheia. Essa estrutura é um descarregador de fundo (Collishconn e Dorlles, 2015).

A vazão de um vertedor livre (não controlado por comportas) é dependente da altura da água sobre a soleira, conforme a equação (1) a seguir e a Figura 1.

$$Q = C \cdot L \cdot (H)^{3/2} \quad (1)$$

em que: L é o comprimento da soleira; h é a diferença de altitude ou cota entre o nível de água (NA) e a soleira; e C é o coeficiente de descarga, com valores entre 1,4 e 1,8.

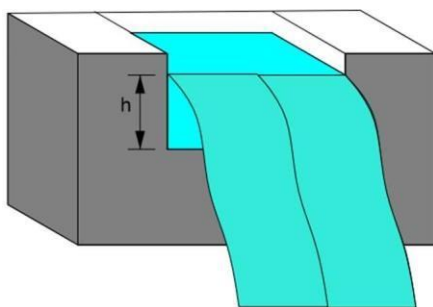


Figura 1 – Ilustração de um vertedor livre destacando a diferença de cota (h) entre o nível da água no reservatório e a cota da soleira do vertedor.

Os descarregadores de fundo são estruturas que permitem a passagem da água na parte inferior da barragem, e são instalados para possibilitar o esvaziamento completo da barragem ou para permitir a passagem controlada de vazões para jusante quando o reservatório não estiver vertendo.

Para estimar a vazão de um descarregador de fundo pode ser utilizada uma equação de descarga de um orifício, conforme apresentado a seguir:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (2)$$

em que: A é a área da seção transversal do orifício; g é a aceleração da gravidade; e C é um coeficiente empírico com valor que depende da relação entre h e o diâmetro do orifício; sendo h a diferença de altura entre o NA e o eixo do descarregador de fundo. Quando o valor de h é maior do que 3 vezes o diâmetro do orifício, o valor de C se aproxima de 0,6. E quando o valor de h é próximo ao diâmetro do orifício, o valor de C se aproxima de 0,5 (Collishconn e Dorlles, 2015).

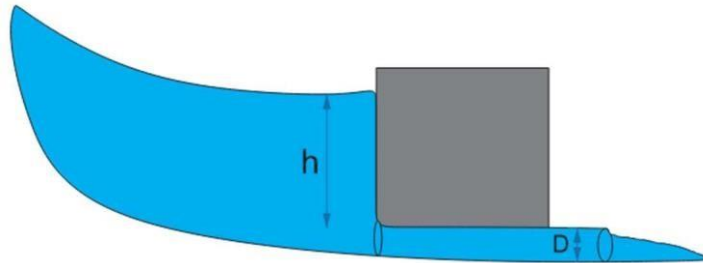


Figura 2 – Ilustração de um descarregador de fundo destacando a diferença de cota (h) entre o nível da água no reservatório e a cota do eixo do descarregador de fundo.

Propagação de cheias em reservatórios

Essa análise é realizada para estimar o hidrograma de saída, considerando conhecido o hidrograma de entrada no reservatório, bem como as dimensões do reservatório (relação cota x volume) e as estruturas de saída localizadas na barragem (Collishconn e Dorlles, 2015).

O método de cálculo da propagação de cheias em reservatórios utiliza, normalmente, a equação da continuidade, que descreve que: a variação do armazenamento, no reservatório, em função do tempo é igual à diferença das vazões de entrada e saída do reservatório, na unidade de tempo, ou seja:

$$\frac{dS}{dt} = I - Q \quad (3)$$

Método de Puls

O método Puls advém da equação da continuidade (equação 3), fazendo os ajustes necessários e deixando no lado esquerdo da equação os termos desconhecidos e os termos conhecidos ficam do lado direito da equação:

$$\frac{2.S_{t+\Delta t}}{\Delta t} + Q_{t+\Delta t} = I_t + I_{t+\Delta t} + \frac{2.S_t}{\Delta t} - Q_t \quad (4)$$

A cada passo de tempo a equação anterior é aplicada, considerando conhecidos todos os valores do lado direito da igualdade, e obtendo um valor para o termo à esquerda do sinal da igualdade $(\frac{2.S}{\Delta t} + Q)$. A partir desse termo, o valor de $Q_{t+\Delta t}$, pode ser obtido por interpolação de uma curva, ou tabela, que relaciona o termo $(\frac{2.S}{\Delta t} + Q)$ com o valor de S .

De acordo com Tucci (2007), o escoamento em reservatórios pode ser caracterizado por linha de água horizontal, grande profundidade e baixa velocidade, fazendo com que os termos dinâmicos



do escoamento possam ser desprezados, e, nessas condições, o método modificado de Puls pode ser utilizado como ferramenta matemática para estimar o amortecimento das ondas de cheias.

O método modificado de Puls é amplamente utilizado em projetos e estudos sobre amortecimento de ondas de cheia em reservatórios. Esse método foi desenvolvido por Puls (1928) e Puls (1947) e posteriormente modificado por Butler (1957), tornando a metodologia mais ampla.

Para a aplicação do método de Puls algumas premissas são consideradas:

- A superfície da água é horizontal;
- A vazão efluente é uma função única do volume de armazenamento;
- A vazão efluente varia linearmente com o tempo, durante cada período.

Exemplos práticos de aplicações do método de Puls

De acordo com SOBRINHA (2012), o Método de Puls é um dos métodos mais conhecidos para a realização da simulação de propagação de cheia em reservatórios e já foi utilizado para alguns estudos como para casos combinados de vertedor e orifício no dimensionamento do reservatório de detenção.

Canholi (2005) utilizou o método Puls para o cálculo de diferentes estruturas de saída de bacias de detenção, com exemplos em inundações urbanas, como análise para a determinação do volume do reservatório para o controle de cheias na Av. Pacaembu, sendo que as galerias existentes na época não apresentavam a capacidade adequada para a vazão existente. As inundações aconteciam de modo abrupto, surpreendendo a população. As que ocorreram em 1993 e em outros anos provocaram grandes danos materiais aos moradores e comércios locais, desse modo, foi apresentado a criação de um reservatório de retenção, de modo a diminuir a vazão existente no período de chuva.

O método também foi utilizado por Lima *et al.* (2006) para determinar o volume da bacia de retenção e auxiliar no gerenciamento do escoamento da água armazenada. Além disso, o método numérico ajudou na simulação do comportamento dinâmico. Para a realização desta simulação, foi considerado alguns métodos expeditos, sendo que somente o Hidrograma Triangular Simplificado (HTS) e o Wycoff e Singh (RWS) convergiam entre si, mostrando um bom desempenho no dimensionamento da bacia. Com isso, o autor concluiu que, para projetos, os métodos expeditos



apresentam a limitação da sua utilização para a fase de estudo prévio, já para a fase de execução é importante a aplicação do modelo número, neste caso, o Level Pool Routing.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba também cita a equação da continuidade como forma de solução para realizar a análise para a utilização das Galerias de Águas Pluviais (GAP), que são recomendadas quando não há a possibilidade da construção de uma bacia de detenção concentrada ou distribuída na calha.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a realização da análise sobre os impactos positivos nos hidrogramas nas bacias de detenção da cidade de Carangola - MG a partir do Método Puls, foi proposta a construção de uma barragem de amortecimento no Córrego Maranhão. Como base para esse estudo, o hidrograma de entrada fornecido é correspondente ao evento de inundação que aconteceu em fevereiro de 2021 na cidade, considerado o maior já registrado no local.

O processo de cálculo seguiu-se da seguinte maneira: primeiramente, foi calculado o gráfico cota *versus* volume da bacia de amortecimento no Córrego Maranhão e de forma paralela, o hidrograma do evento de vazão máxima de fevereiro de 2021, para o Córrego em questão. Esses dados foram usados como dados de entrada para o cálculo com o Método Puls, além desses, foi preciso definir também o diâmetro dos descarregadores da barragem, além das cotas da soleira e do descarregador. Esses parâmetros do modelo são apresentados a seguir.

Barragem de Amortecimento no Córrego Maranhão (características):

As principais características do hidrograma de entrada, curva cota *versus* volume e da estrutura da barragem de amortecimento utilizada, para amortecer as cheias, são:

- Largura do Vertedor: 10 m; Coef. de Descarga = 1,8 adm; Altitude do vertedor: 569 m; Hidrograma de cheia (entrada), Figura 3; Curva cota x volume (Figura 4); Diâmetro do descarregador de Fundo (2 un.): 1m; Altitude do Eixo do Desc.de Fundo: 558 m; Coef. de descarga do Desc. de Fundo: 0,6.



Figura 3. Hidrograma de projeto.

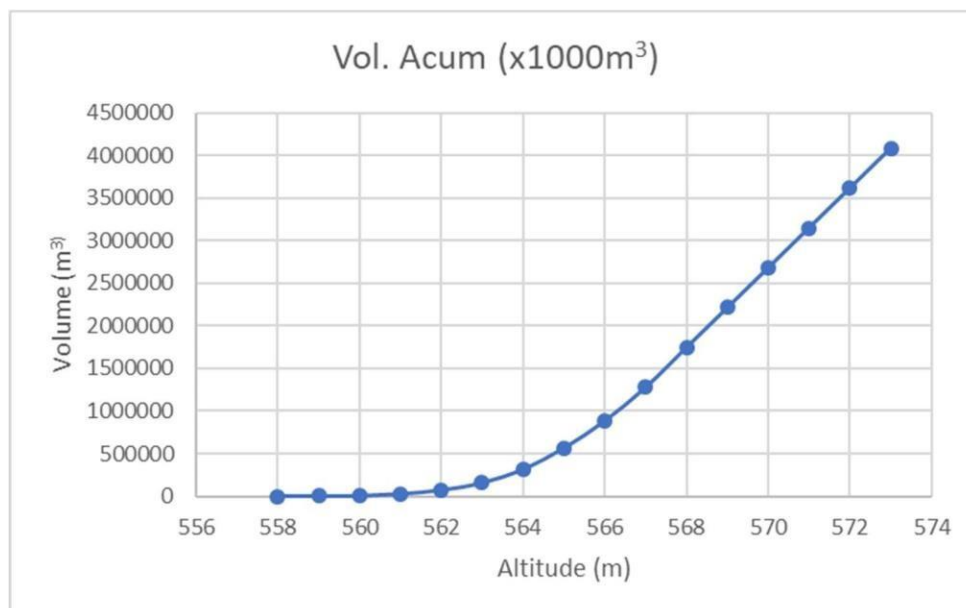


Figura 4. Gráfico cota x volume da barragem de amortecimento do Córrego Maranhão.

O resultado gerado pelo efeito do barramento é apresentado na Figura 5, onde pode-se avaliar o efeito do amortecimento da cheia com a análise dos hidrogramas de entrada e saída do reservatório de amortecimento.

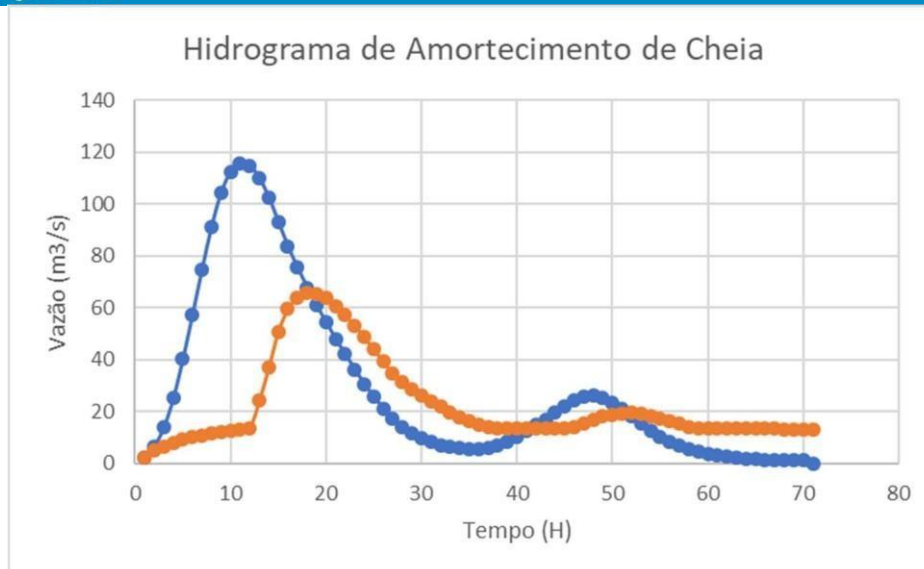


Figura 5. Hidrograma de projeto amortecido.

Pela análise da Figura 5 é possível perceber que o efeito do amortecimento da cheia com a utilização do reservatório de amortecimento, no Córrego Maranhão, possibilita a diminuição da vazão de pico, de $120 \text{ m}^3/\text{s}$ para aproximadamente $65 \text{ m}^3/\text{s}$.

CONCLUSÃO

A partir dos dados analisados, pode-se observar que o emprego do método de Puls possibilitou a realização do dimensionamento do reservatório que promoveu um abatimento da vazão de pico de $120 \text{ m}^3/\text{s}$ para aproximadamente $65 \text{ m}^3/\text{s}$ no córrego Maranhão, afluente da margem direita do rio Carangola – MG, localizado próximo à cidade de Carangola (MG).

AGRADECIMENTOS

À Prefeitura Municipal de Carangola e seu corpo técnico pela confiança, comprometimento e solicitude e à Universidade Federal de Juiz de Fora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUTLER, S. Engineering Hydrology. [S.l.]: Prentice-Hall, 1957.

CANHOLI, A.P. Drenagem urbana e controle de enchentes. 2ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos. 2014. 384p.



COLLISHCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2ª impressão, 2015.

CURITIBA. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba. v. 2- volume técnico. 219p. Disponível em: <https://mid.curitiba.pr.gov.br/2021/00314182.pdf>. Acesso em 21 jan. 2022

LIMA, Herlander Mata; SILVA, Evaristo Santos; RAMINHOS, Cristina. Bacias de retenção para gestão do escoamento: métodos de dimensionamento e instalação. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 1, n. 59, p. 97-109, mar. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/xndZLswjWn68zvfNBSCVXjy/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022

Prefeitura de Curitiba, Plano Diretor de Drenagem Urbana. Curitiba, v.2.

PULS, L. Bureau of Reclamation Manual. [S.l.]: U.S. Department of the Interior, Denver, 1947.

PULS, L. Flood Regulation of the Tennessee River. [S.l.]: 70th Congress, 1st Session, U.S. Government Printing Office, 1928.

SOBRINHA, Lôide Angelini. **Monitoramento e Modelagem de um Poço de Infiltração de Águas Pluviais em Escala Real e com Filtro na Tampa**. 2012. 147 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4324/4369.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 jan. 2022.

SOUZA, Marcos Ferreira de; COELHO, Márcia M. L. P.; MOURA, Priscilla Macedo; BAPTISTA, Márcio Benedito; MENEZES, Marcos Veloso de. **CUSTOS DE MANUTENÇÃO DE BACIAS DE DETENÇÃO PARA CONTROLE DE CHEIAS NA CIDADE DE BELO HORIZONTE-MG**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2003, Bento Gonçalves. Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

TAVARES, Luiza Paula da Silva. **ESTUDO DE PROPOSTAS DE MITIGAÇÃO DE CHEIAS DO RIO MACAÉ COMO SUBSÍDIO AO PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA VIII**. 2017. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Ambiental Modalidade Profissional, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Macaé, 2017.

TUCCI, C.E.M. (1995). Enchentes Urbanas. In: Drenagem Urbana, cap.1 Editora da Universidade, ABRH.