

ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO E BACIAS DE AMORTECIMENTO EM DRENAGEM URBANA COMO MEDIDA DE REDUÇÃO DE DESASTRES HIDROLÓGICOS: AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE CRITÉRIOS DE PROJETO

Lucas Camargo da Silva Tassinari¹; Daniela Guzzon Sanagiotto²; Hildo Stefani³ & Marcelle Nonnenmacher Colferai⁴

ABSTRACT - Drainage systems consist of civil works employed to prevent and mitigate impacts caused by urban floods. Pumping stations are components of these systems used in places where there is a need to elevate water and they may present a significant impact on the costs associated with the system. Higher pumping stations design discharges result in big costs, while a system with undersized pumping will have to include reservoirs with a large capacity to damp the peak flow. Thus, this work aims to verify the economic effect of the design discharge, in order to contribute to the definition of hydrological guidelines used in projects of macrodrainage systems. The project flow is established by the hydrological risk, defined by the return period (RP), a criterion that usually varies from 10 to 100 years, according to Brazilian agencies, for this type of structure. Determining the most optimized pumping design flow / reservoir volume configuration requires a technical-economic analysis, which considers scenarios with different flow rates and related costs. To this end, the project hydrographs were developed for the 10, 25 and 50 years of return period for an elevation with a contributing drainage area of 5 km², by using the SCS-CN method to estimate effective rainfall and the SCS Unit Hydrograph to turn effective precipitation into flow. In relation to the estimated costs of the system, unit costs were considered, based on budget data of an urban drainage system and reservoir project. Scenarios were simulated with flow rates for different return periods and pumping capacity equal to 50%, 75% and 100% of peak flow. Analysis of the results showed that it is more economically feasible to invest in water storage than in pumping capacity. Also, the results pointed out that the economic investments in systems designed for greater return periods may be 42% higher in comparison to the reference return period of 10 years. Finally, this study has shown that there is significant savings in projects when upstream reservoirs are used, but the availability of areas for construction of such structures in urban centers may limit such application.

Palavras-Chave – Estações de bombeamento de drenagem, critérios de projeto, avaliação econômica.

1) Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – IPH/UFRGS; Eng. Civ. Na Magna Engenharia Ltda, AC Campus da UFRGS – Agronomia, Porto Alegre/RS, lucascstassinari@gmail.com, (55) 98125-2004

2) Professora Adjunta da UFRGS, AC Campus da UFRGS – Agronomia, Porto Alegre/RS, dsanagiotto@ufrgs.br, (51) 3308-7930

3) Eng. Agríc. na Magna Engenharia Ltda, Rua Dom Pedro II, 331, Porto Alegre/RS, hildo.stefani@magnaeng.com.br, (51) 2104-0000

4) Eng^a Amb. na Magna Engenharia Ltda, Rua Dom Pedro II, 331, Porto Alegre/RS, marcecolferai@gmail.com, (51) 2104-0000

1 - INTRODUÇÃO

As cheias urbanas, caracterizadas pelo Ministério da Integração Nacional (2012) como sendo desastres hidrológicos, constituem-se num dos principais desafios às cidades grandes, impactando diversos setores urbanos, tais como saúde pública, saneamento, transporte e habitação (Miguez et al., 2015). Dessa forma, os sistemas de drenagem devem ser implantados como soluções a esses desastres hidrológicos, devendo, obrigatoriamente, contemplar a bacia como um todo.

Projetos de drenagem urbana contam com diferentes componentes, tais como canais, galerias e reservatórios, e em diferentes escalas (drenagem na fonte, microdrenagem e macrodrenagem). Quando os sistemas por gravidade, em função de peculiaridades da topografia local ou da necessidade imposta por obstáculos artificiais, tais como diques, por exemplo, não são capazes de conduzir o escoamento pluvial devido à necessidade de se vencer desníveis, torna-se necessário o uso de estações de bombeamento para elevar a água.

Tais estruturas apresentam custos bastante significativos nos sistemas de drenagem, tanto na fase de implantação quanto na operação e manutenção. Dessa forma, quanto maior for a vazão de projeto de uma estação elevatória, maior é o custo de aquisição e implantação dos conjuntos motobombas, obras civis e demais equipamentos e maior será o custo de operação dos conjuntos.

Por outro lado, se a estação elevatória não tiver capacidade de recalcar a vazão de pico de um determinado evento de chuva, haverá armazenamento de água na bacia, podendo resultar desastres tais como inundações por insuficiência hidráulica no sistema. Para que isso não ocorra, para um determinado hidrograma afluente, quanto menor for a vazão da elevatória, maior deverá ser o reservatório de amortecimento do hidrograma.

Buscando-se definir diretrizes para o projeto de estações de bombeamento para macrodrenagem, sendo elas instrumentos para evitar ou solucionar desastres hidrológicos em bacias urbanas, este artigo estima o custo relacionado à definição da vazão de projeto das estações. Assim, como a vazão de projeto de uma estação elevatória é definida a partir do hidrograma de projeto que contribui a ela, questiona-se:

- Qual é o efeito/impacto econômico da definição do tempo de retorno para o hidrograma afluente?
- A partir do hidrograma afluente à elevatória, qual deverá ser a vazão da elevatória? A vazão de pico ou uma parcela da vazão de pico?

Este trabalho apresenta, portanto, características técnicas e econômicas de estações de bombeamento típicas de macrodrenagem como ferramenta para a definição de critérios hidrológicos necessários ao projeto destas estruturas.

2 - CRITÉRIOS RELACIONADOS À ESCOLHA DA VAZÃO DE PROJETO DA ELEVATÓRIA

O risco adotado em um projeto de drenagem, definido a partir do tempo de retorno (TR) escolhido, define o tamanho dos investimentos necessários e a segurança quanto às enchentes (PMPA, 2005). A seguir, são apresentados os tempos de retorno a serem considerados em projetos de macrodrenagem de acordo com diferentes órgãos públicos relacionados à aprovação destes.

- A PMPA (2005) sugere que projetos de macrodrenagem sejam feitos considerando-se tempos de retorno entre 10 e 25 anos, sendo o valor frequente igual a 10 anos. No entanto, havendo grandes riscos de prejuízos materiais ou interferências em infraestrutura urbana, deve-se utilizar 25 anos, e, quando houver risco de perdas de vida humana, deve-se utilizar 100 anos;
- O Ministério das Cidades (2012) recomenda a utilização de TR igual a 25 anos, e;
- A PCRJ (2010) recomenda que os projetos de canais não revestidos sejam feitos considerando-se TR igual a 10 anos, os projetos de canais revestidos sejam feitos com TR igual a 25 anos e, adicionalmente, seja feita uma verificação no último caso com um TR igual a 50 anos desconsiderando-se a borda livre.

Observa-se, a partir disso, que no Brasil os TR a serem considerados variam de 10 a 100 anos, em função das possíveis consequências decorrentes das falhas das estruturas de macrodrenagem e das suas características.

Tomaz (2010) comenta que, mesmo havendo uma boa quantidade de informações na literatura brasileira a respeito do dimensionamento de estações elevatórias, não há explicações satisfatórias a respeito do critério para a escolha da vazão de dimensionamento da elevatória, sendo citado, pelo autor, a circular de engenharia hidráulica nº 24 do *Federal Highway Administration* (FHWA) denominada *Highway Stormwater Pump Station Design*.

O FHWA (2001) apresenta três critérios para estimar a capacidade e número de bombas em uma estação elevatória, sendo que a partir do critério escolhido será determinado o procedimento de cálculo. Nestes critérios, o projeto se baseia em: (i) uma vazão efluente (das bombas) fixa e pré-determinada; (ii) um volume de armazenamento fixo, e; (iii) capacidades das bombas e de armazenamento ótimos.

Nos casos (ii) e (iii) o procedimento proposto se baseia na Figura 1, onde é determinado um volume inicial de armazenamento e, após, é realizada uma propagação do hidrograma no reservatório, considerando-se a retirada de vazão do reservatório a partir da operação das bombas.

Para se obter a configuração vazão de bombeamento/volume do reservatório mais otimizada, faz-se necessário realizar esse procedimento considerando-se diferentes vazões para as bombas, seguido de uma análise econômica para cada alternativa. Esse trabalho se propõe,

portanto, a apresentar o resultado de um estudo técnico-econômico para um caso hipotético, considerando-se custos levantados com base em um anteprojeto de uma elevatória com características típicas de macrodrenagem urbana.

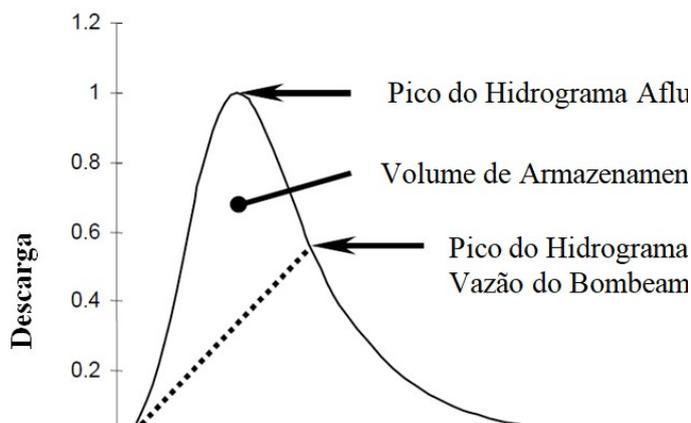


Figura 1. Estimativa do volume de armazenamento necessário para uma determinada vazão máxima de bombeamento. Adaptado de: FHWA, 2001, p. 7-4.

3 - METODOLOGIA

A metodologia utilizada se divide em três etapas. Primeiramente, foram definidos os hidrogramas de projeto hipotéticos que serviram de base para todas as análises deste trabalho. Após, foram levantados os custos de implantação de uma estação elevatória de drenagem e de um reservatório de amortecimento. Por último, foram feitas propagações de vazão no reservatório de forma a confirmar que o volume adotado inicialmente está adequado.

De posse da vazão de projeto necessária à elevatória e do volume necessário ao reservatório, foram definidas as dimensões das infraestruturas e estimados os seus custos.

3.1 - Hidrograma de projeto

Para determinar os hidrogramas de projeto, considerou-se a equação IDF do Aeroporto de Porto Alegre, apresentada em Bemfica (1999). A área de contribuição à elevatória é de 5,00 km², possui um comprimento de drenagem de aproximadamente 2,5 km e desnível igual a 4,0 m, resultando em um tempo de concentração de aproximadamente 1,5 horas, calculado através da equação de Kirpich (Silveira, 2005). A área em questão foi caracterizada com um CN (*Curve Number*) igual a 90 e o modelo chuva-vazão foi considerado concentrado, tendo a elevatória como exutório.

Dessa forma, aplicando-se o Método dos Blocos Alternados para distribuição temporal da chuva com pico em 50% da duração da chuva, uma duração de 3,0 horas (duas vezes o tempo de concentração), o método SCS-CN para o cálculo da precipitação efetiva e o Hidrograma Unitário Triangular do SCS para a propagação do escoamento da bacia, chegou-se a hidrogramas afluentes

ao sistema reservatório/elevatória para diferentes tempos de retorno, conforme apresentado na Figura 2. Todos os métodos de cálculo descritos aqui foram retirados de PMPA (2005).

Os volumes totais dos hidrogramas são, respectivamente, 150.860 m³, 183.610 m³ e 212.010 m³, para os tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos.

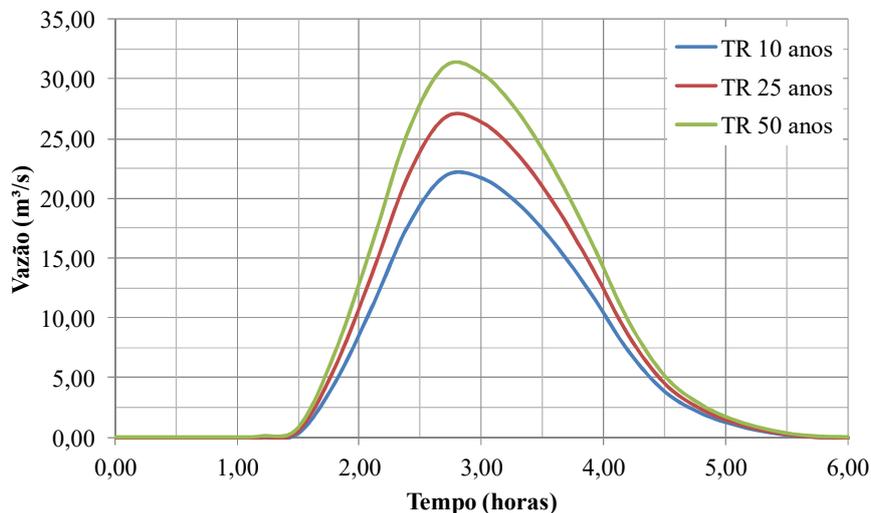


Figura 2. Hidrogramas afluentes ao sistema reservatório/elevatório para diferentes tempos de retorno (TR).

3.2 - Custos unitários relacionados ao sistema elevatória-reservatório

Para a análise de custos utilizada neste trabalho, considerou-se o custo unitário de vazão (m³/s) de elevatória, com base na estimativa de custo de uma elevatória para drenagem urbana, citada neste trabalho como *elevatória padrão*. O anteprojeto e o orçamento desta estrutura foram elaborados pela empresa Magna Engenharia Ltda para a Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional (METROPLAN).

A elevatória padrão foi concebida com bombas verticais, tipo turbina, instaladas em poço úmido e acionadas por motores elétricos. Esta elevatória conta com um sistema de *by-pass* para ser utilizado quando o nível de água no corpo hídrico receptor, a jusante da elevatória está baixo, válvulas tipo *flap* e dois modelos de bombas: duas bombas de menor porte, com capacidade de 1,0 m³/s, e; três bombas com 4,5 m³/s, cada uma. Foram previstos inversores de frequência numa bomba de menor porte e numa bomba de maior porte, possibilitando operações diversas.

O custo estimado para esta elevatória, na fase de anteprojeto, foi de R\$29.158.000,00, para uma vazão total de 15,5 m³/s, refletindo num custo unitário de R\$1.881.161,00/(m³/s). Este valor engloba custos relacionados a movimentos de terra, fornecimentos de materiais, transporte, fundações, estruturas, desapropriação de terras, aquisição e instalação de equipamentos mecânicos e elétricos, custos eventuais e BDI. A data base deste orçamento é junho de 2016.

De forma similar, para a análise econômica, considerou-se o custo das obras das bacias de amortecimento que antecedem as elevatórias a partir de uma bacia de detenção padrão, cujo anteprojeto e orçamento foram cedidos pela Magna Engenharia Ltda. Esta bacia é uma estrutura

retangular, com cerca de 2.000 m² de área e lâmina útil de 1,50 m. A partir do custo total desta estrutura, composto de forma similar ao que foi descrito para a elevatória, chegou-se a um custo unitário de R\$1.100,00/m², considerando-se uma lâmina útil igual a 1,50 m.

3.3 - Cálculos hidráulicos

Neste trabalho, foram estudados cenários para diferentes tempos de retorno e para elevatórias de capacidades diversas, sendo esta última característica um valor relativo à vazão de pico do hidrograma de projeto. Assim, combinando tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos e vazões de projeto do bombeamento de 50%, 75% e 100% da vazão de pico, foram gerados 9 cenários para a análise.

Para a verificação do volume da bacia de amortecimento foi utilizado o algoritmo de Puls (TUCCI, 2005), considerando a bacia vazia no início do evento de chuva e uma lâmina d'água máxima de 1,50 m. A vazão efluente da bacia ocorre devido ao bombeamento, sendo esta uma vazão constante e igual à capacidade da elevatória, para cada simulação, iniciando a partir do nível de 0,75 m dentro da bacia, com o objetivo de considerar os critérios de submergência mínima. Esta é uma simplificação da análise executada, pois, na realidade, as vazões bombeadas serão variáveis, em função das bombas em operação, podendo variar desde a capacidade de uma bomba de pequeno porte até a capacidade plena da elevatória.

4 - RESULTADOS E ANÁLISE

A Tabela 1 apresenta os resultados das simulações. Para cada cenário, composto por um hidrograma afluente com um determinado tempo de retorno e uma vazão de projeto para a elevatória, foi determinado o volume necessário para amortecimento da cheia, de modo que o nível de água dentro do reservatório não ultrapasse 1,50 m. Com isso, foi possível estimar o custo necessário à implantação tanto da elevatória quanto da bacia de amortecimento.

Percebe-se que o custo da bacia de amortecimento é pequeno, quando comparado ao custo da elevatória, representando cerca de 23% do investimento total nas alternativas onde a elevatória possui vazão igual a 50% da vazão de pico do hidrograma afluente. Isso indica que ao investir em armazenamento de água, há economia, de maneira geral, o que é comprovado ao analisar a última coluna da Tabela 1, onde se observa uma economia de 35% ao aumentar o volume do reservatório, possibilitando a redução da capacidade do bombeamento para 50% da vazão de pico do hidrograma.

A Figura 3 mostra o crescimento dos investimentos necessários ao se considerar tempos de retorno maiores para o projeto. Foi observado um aumento de 22% no investimento nas infraestruturas de drenagem para TR 25 anos e de 42% para TR 50 anos, ao compará-los com o necessário para TR 10 anos.

Esses percentuais são indicativos do aumento nos custos necessários à redução da probabilidade de falha do sistema de 10% para 4% e para 2% (tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos, respectivamente).

Tabela 1 – Resumo das simulações realizadas e seus custos

Cenário	TR (anos)	Vazão Total da Elevatória (m ³ /s)	Área da Bacia de Amortec. (m ²)	Custo da Elevatória (x R\$1000,00)	Custo do Reservatório (x R\$1000,00)	Custo Total (x R\$1000,00)	Relação com TR 10 anos e Cenário com Vazão de Pico (%)
1	10	21,9	0,0	R\$41.197,43	R\$0,00	R\$41.197,43	100%
2	10	16,4	2533,3	R\$30.898,07	R\$2.786,67	R\$33.684,74	82%
3	10	11,0	5600,0	R\$20.598,71	R\$6.160,00	R\$26.758,71	65%
4	25	26,8	0,0	R\$50.415,11	R\$0,00	R\$50.415,11	122%
5	25	20,1	3066,7	R\$37.811,34	R\$3.373,33	R\$41.184,67	100%
6	25	13,4	6800,0	R\$25.207,56	R\$7.480,00	R\$32.687,56	79%
7	50	31,0	0,0	R\$58.315,99	R\$0,00	R\$58.315,99	142%
8	50	23,3	3600,0	R\$43.736,99	R\$3.960,00	R\$47.696,99	116%
9	50	15,5	7933,3	R\$29.158,00	R\$8.726,67	R\$37.884,66	92%

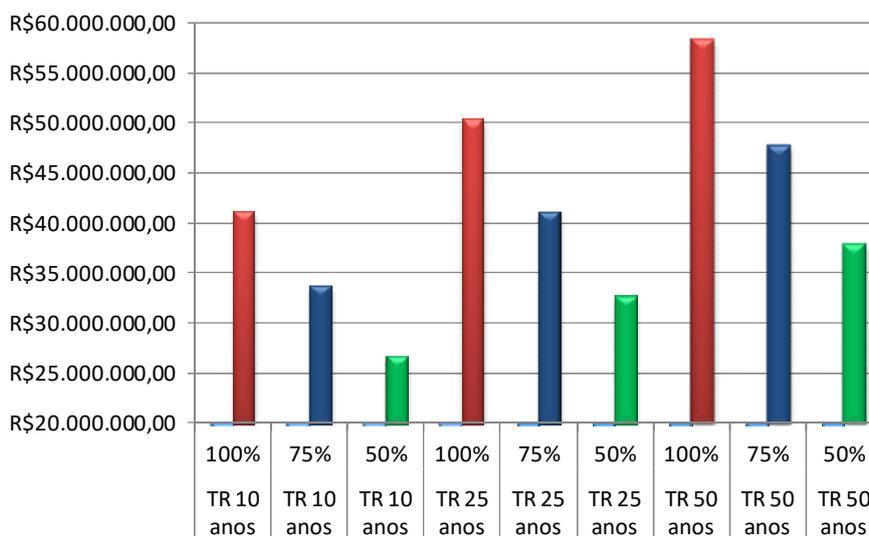


Figura 3. Investimentos estimados para cada cenário analisado.

5 - CONCLUSÕES

Esse trabalho buscou quantificar, em termos de custos, as decisões necessárias para a realização de estudos e projetos de sistemas de bombeamento antecedidos, ou não, por reservatórios na macrodrenagem, os quais servem como medidas estruturais para combate às inundações urbanas, consideradas desastres hidrológicos.

Os resultados apresentados mostraram que é interessante, economicamente e tecnicamente, investir em armazenamento de água a montante da elevatória, pois, nos cenários onde foram previstos os maiores reservatórios, quando a capacidade da estação de bombeamento era de 50% da vazão de pico do hidrograma afluente, os reservatórios representaram apenas 23% do investimento total e permitiram uma redução de 35% nos investimentos globais, quando comparado ao cenário sem reservatório.

No entanto, a aplicabilidade de reservatórios a montante das elevatórias fica limitado aos locais onde há áreas suficientes e adequadas, pois, conforme apresentado na Tabela 1, são necessários grandes espaços para estas estruturas. Em cidades que sofrem com problemas de enchentes devido à urbanização, poderá ser difícil dispor de áreas suficientes para tais estruturas e, dessa forma, o armazenamento de água deverá ser feito de maneira distribuída ao longo da bacia. Por outro lado, a economia obtida a partir do amortecimento das cheias em reservatórios poderá ser ainda mais substancial quando as condições topográficas forem favoráveis para a implantação destes.

Este trabalho utilizou custos de estruturas de amortecimento e recalque definidos com base em anteprojetos. Dessa forma, ao se considerar custos levantados em etapas posteriores, de projeto básico, por exemplo, esperam-se diferenças superiores a 10%. No entanto, tais diferenças resultariam alterações nos valores apresentados, mas, não nas análises e conclusões.

AGRADECIMENTOS

Estes autores agradecem à empresa Magna Engenharia Ltda. e à METROPLAN pelos dados de custos e anteprojetos disponibilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEMFICA, D. C. (1999). *Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto a Porto Alegre*. Dissertação de mestrado. IPH/UFRGS, Porto Alegre, RS.
- FHWA. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (2001). *Hydraulic Engineering Circular Nº 24 – Highway Stormwater Pump Station Design*. Washington, D. C.
- MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. (2015). *Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade*. Elsevier, Rio de Janeiro/RJ, 109 p.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES (2012). *Manual para apresentação de propostas para sistemas de drenagem urbana sustentável e de manejo de águas pluviais: Programa – 2040*.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (2012) *Instrução Normativa Nº01*, de 24 de agosto de 2012. Anexo I – Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE).
- PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO (2010). *Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana*. Subsecretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas – Rio-Águas, Rio de Janeiro/RJ, 55 p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE (2005). *Plano Diretor de Drenagem Urbana. Manual de Drenagem Urbana. Volume VI*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 223 p.
- SILVEIRA, A. L. L.(2005). “Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais”. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.10, n. 1, p. 5–23.
- TOMAZ, P. (2010). “Bombeamento de Águas Pluviais”, in Curso de Manejo de Águas Pluviais. Org. por Plínio Tomaz, 45 p.
- TUCCI, C. E. M. (2005). *Modelos Hidrológicos*. 2 ed. ABRH, Porto Alegre/RS, 678 p.