

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

AVALIAÇÃO TÉCNICA DE MEDIDA DE MANEJO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA PLUVIAL COM ORIFÍCIO REGULADOR DE VAZÃO

* João Marcos Bosi Mendonça de Moura ¹
Bruna Luiza Steffen ²

ASSETEMENT OF SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEM WITH CONTROL PIPING

Recibido el 25 de mayo de 2022. Aceptado el 11 de octubre de 2022

Abstract

Compensatory techniques (CTs) are sustainable urban drainage system that temporarily reserve rainwater to reduce the risk of flash flooding. Most CT design methods do not consider the use of control piping, because they assume total infiltration of water into the soil. In this context, the study evaluated the hydraulic and hydrological impact of a CT with a control piping implanted in an urban area in the city of Blumenau, Santa Catarina state. An experimental module allowed estimating the flow rate of the control piping with a nominal diameter of 50 mm and a length of 1.50 meters. Puls's method was used to evaluate the reduction of the flood wave made by CT. The experiment showed that the discharge coefficient of the control piping was 0.60 ± 0.01 , being 10% lower than the value reported by the literature. It was estimated that the maximum flow rate reached by the control piping was 1.5 l/s. The TC reduced the contribution maximum flow of 16.8 l/s to 2.0 l/s. The analysis demonstrated the importance of the control piping verify for that the TCs contribute to the sustainable urban drainage management.

Keywords: rainwater, permeable pavement, piping control, sustainable urban drainage system.

¹ Departamento de Engenharia Civil, Campus Alto Vale, Universidade do Estado de Santa Catarina, Ibirama, Santa Catarina, Brasil.

² Departamento de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, Santa Catarina, Brasil.

* Autor correspondente: Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Estado de Santa Catarina. Rua Dr. Getúlio Vargas, 2822 - Bela Vista - Ibirama. CEP: 89.140-000. Brasil. Email: joao.moura@udesc.br

Resumo

Técnicas compensatórias (TCs) são medidas de manejo sustentável da água pluvial capazes de reservar temporariamente a água pluvial para fins de redução do risco de inundação brusca. A maior parte dos métodos de concepção de TCs não considera o uso de orifícios reguladores de vazão, porque pressupõem infiltração total da água no solo. Nesse contexto, o estudo avaliou o impacto hidráulico e hidrológico de uma TC com orifício regulador de vazão implantada em lote urbano no município de Blumenau, Santa Catarina. Um módulo experimental permitiu estimar a vazão do orifício regulador com diâmetro nominal de 50 mm e comprimento de 1.50 metros. A aplicação do método de Puls possibilitou avaliar o amortecimento da onda de cheia promovido pela TC. O experimento apontou que o coeficiente de descarga do orifício regulador de vazão foi de 0.60 ± 0.01 , sendo 10% menor que o valor reportado na literatura. Estimou-se que a vazão máxima alcançada pelo orifício foi de 1.5 l/s. A TC reduziu a vazão máxima de contribuição do lote de 16.8 l/s para 2.0 l/s. A análise demonstrou a importância da verificação da vazão do orifício regulador para que as TCs contribuam efetivamente com o manejo sustentável da água pluvial.

Palavras-chave: água da chuva, drenagem, manejo sustentável de água pluvial, orifício regulador, pavimento permeável.

Introdução

As inundações bruscas são os desastres socioambientais que provocaram os maiores danos ao estado de Santa Catarina entre os anos de 1995 e 2014 (CEPED/UFSC, 2016). A abordagem tradicional de enfrentamento desses eventos danosos tem se mostrado limitada, porque prioriza medidas que levam à rápida expulsão da água drenada, transferindo impactos negativos para regiões a jusante da bacia hidrográfica (Righetto, 2009).

Uma abordagem sustentável (*Sustainable Urban Drainage Systems*) é criada em meados da década de 80 como alternativa à abordagem tradicional (Gonçales e Texeira, 2021). Ela leva em conta vários princípios incorporados posteriormente na Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997), dentre eles:

- A bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento (*Integrated River Basin Management*);
- A manutenção das condições hidrológicas naturais das cidades (*zero negative impact*);
- A reservação da água em detrimento da sua rápida expulsão.

Esses princípios se materializam com a concepção e o uso das técnicas compensatórias (TCs) de manejo de água pluvial, como: pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração, poços de infiltração, jardins de chuva e reservatórios de detenção. As TCs recebem e reservam a chuva excedente, “compensando” o aumento do escoamento superficial ocasionado pela impermeabilização do solo nos espaços urbanos (Malutta *et al.*, 2021).

A reservação da água pluvial é o processo que permite o amortecimento das ondas de cheia em eventos de chuva intensa. Deste modo, as TCs podem reduzir o risco de inundações bruscas em bacias hidrográficas pequenas e fortemente urbanizadas quando aplicadas em larga escala e integradas a outras medidas de conservação ambiental, planejamento urbano, monitoramento, alerta e educação ambiental (Montagna *et al.*, 2021).

A drenagem da água reservada se faz necessária quando o subleito apresenta baixa condutividade hidráulica ou quando, em contato com a água, o subleito é suscetível a produzir manifestações patológicas construtivas (Moura *et al.*, 2019). Também são empregados drenos quando se deseja conduzir a água pluvial para sistemas de aproveitamento (Silveira e Goldefum, 2007).

Vale ressaltar que o mecanismo de “compensação hidrológica” pode ser prejudicado caso os drenos apresentem uma vazão de saída grande demais, que impeça a reservação, ou pequena demais, que demande um grande volume a ser reservado. Portanto, o dimensionamento de drenos em TCs deve levantar em conta aspectos hidráulicos e hidrológicos.

As metodologias mais recentes relacionadas à concepção de TCs têm se resumido a determinação do volume de reservação, sem detalhar o processo de dimensionamento dos drenos, pressupondo infiltração total da água no subleito e vazão de saída constante (Silveira e Goldefum, 2007; ABNT, 2015). Chen *et al.* (2021) menciona várias pesquisas que se dedicam ao estudo de TCs em regiões de clima subtropical e nenhuma delas avalia o comportamento hidráulico de orifícios reguladores de vazão (drenos). Kesgin, Agaccioglu e Dogan (2020) investigaram o comportamento de drenos subterrâneos sob chuva simulada em campos esportivos, porém não discutem a calibração de parâmetros hidráulicos. Outras pesquisas que avaliam o comportamento hidráulico de orifícios e drenos acabam não contemplando o arranjo físico encontrado no interior de uma TC (Liang, Ma e Zheng, 2021; Vatankhah e Rafeifar, 2020; Kitsikoudis *et al.*, 2021; ; Rubinato *et al.*, 2017). Embora o estudo hidráulico de bocas de lobo seja encontrado em literatura recente, os resultados não se aplicam a drenos submetidos ao escoamento forçado (Gómez, Russo e Tellez-Alvarez, 2019; Cosco *et al.*, 2020).

Os municípios de Blumenau (Santa Catarina, Brasil) e Curitiba (Paraná, Brasil) têm sugerido a aplicação de uma tabela que correlaciona o volume de armazenamento da técnica compensatória com o diâmetro nominal requerido ao dreno (Blumenau, 2020; Curitiba, 2007). Contudo, não se apontam diretrizes para estimar a vazão produzida e muito menos se a considera como um *output* na análise hidrológica dos lotes urbanos. Nesse contexto, há estudos que propõem o emprego do método de Puls associado ao uso da equação de bocais para dimensionar hidráulicamente TCs com drenos, mas também não validam experimentalmente os parâmetros hidráulicos adotados (Baptista e Paz, 2018; Freire, Souza e Mannich, 2021).

Deste modo, o objetivo desta pesquisa é avaliar o impacto hidráulico e hidrológico de técnicas compensatórias com orifício regulador de vazão em um lote urbano. Conduziu-se um estudo experimental para estimar o coeficiente de descarga e a vazão do orifício regulador por meio da reprodução, em pequena escala, do sistema de reservação e drenagem de TCs. Os dados obtidos foram aplicados na análise do impacto hidráulico e hidrológico de um pavimento permeável hipoteticamente aplicado em um lote no município de Blumenau, Santa Catarina.

Metodologia

As duas principais etapas metodológicas da pesquisa são apresentadas na Figura 01. Na primeira etapa, o estudo experimental visou estimar o coeficiente de descarga, o que permitiu calcular a vazão do orifício regulador por meio da equação de bocais. Embora haja vários estudos sobre bocais, nenhuma das pesquisas os avalia nas condições encontradas nas TCs, isto é, com um sistema de drenos corrugados, perfurados, envoltos por manta geotêxtil e enterrados em camada granular (Azevedo Netto, 2015).

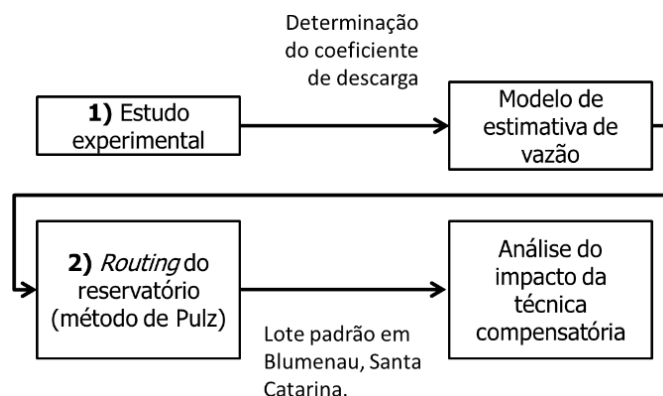


Figura 1. Fluxograma metodológico da pesquisa.

Na segunda etapa, simulou-se o impacto que uma TC com orifício regulador de vazão teria sobre as condições hidráulicas e hidrológicas de um lote com 360 m² localizado no município de Blumenau-SC (Figura 01). A simulação consistiu na aplicação de um *routing* hidrológico (método de Puls), o que permitiu validar o pré-dimensionamento da TC. Levou-se em conta que todo o escoamento superficial da área construída seria encaminhado para um pavimento permeável implantado no lote.

Estudo experimental

A determinação da descarga livre de uma TC pode ser feita aplicando a equação geral de descarga nos bocais em orifícios pequenos (Equação 1), onde:

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Equação 1

Sendo, Q (m^3/s) é a vazão, C_d (-) é o coeficiente de descarga, A (m^2) é a área da seção de escoamento, g (m/s^2) é a aceleração da gravidade, h (m) é a carga disponível, medida do centro do orifício até a superfície livre de água do reservatório.

O coeficiente de descarga corrige a redução da velocidade do escoamento e da vazão devido à contração da veia líquida na tubulação. O C_d pode ser estimado em função da relação entre o comprimento (L) e o diâmetro (D) da tubulação. Os valores recomendados de C_d variam devido às diferentes condições estabelecidas nos estudos experimentais (Azevedo Netto, 2015). Nesse trabalho, o coeficiente de descarga foi estimado a partir da medição do tempo de esvaziamento de um reservatório contido em uma caixa tronco-cônica de polietileno (Figura 02).

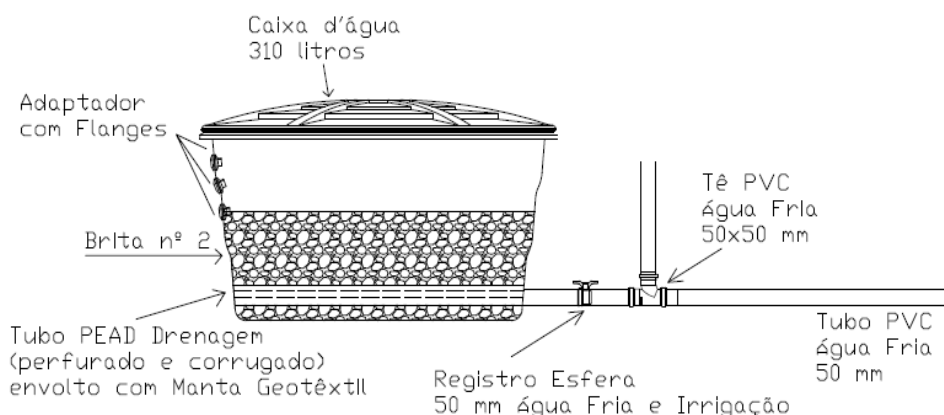


Figura 2. Módulo experimental para determinação do coeficiente de descarga de drenos em técnicas compensatórias.

Considerando que uma dada vazão de saída (Q) durante um intervalo dt , corresponde a um decréscimo de volume dV no reservatório tronco-cônico, temos que:

$$Q \cdot dt = dV \therefore Q \cdot dt = A_r \cdot dh \therefore \quad \text{(Equação 2)}$$

$$C_d \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g} \int_{t_1}^{t_2} dt = A_r \cdot \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{\sqrt{h}} \quad \text{(Equação 3)}$$

Sendo, $A_r = (\pi/3) \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2)$, uma vez que o reservatório possui um formato de tronco de cone (Figura 02). Assim, para o esvaziamento total do reservatório:

$$C_d = \frac{4\pi}{A \cdot t} \sqrt{\frac{h}{2 \cdot g}} \left(\frac{[R-r]^2}{5} + \frac{r^2}{6} \right)$$

(Equação 4)

Onde, C_d (-) é o coeficiente de descarga, A_r (m^2) é um fator associado ao volume de um tronco de cone, R (m) é o raio da circunferência superior do reservatório, r (m) é o raio da circunferência inferior do reservatório, t (s) é o tempo de esvaziamento, A (m^2) é a seção de escoamento, g (m/s^2) é a aceleração da gravidade e h (m) é a carga disponível.

Determinou-se o C_d por meio de dez medições do tempo de esvaziamento para um nível d'água de 20 cm (medido do centro do orifício até a superfície livre). O módulo experimental foi concebido para reproduzir as condições encontradas nas TCs, sendo formado por uma caixa de polietileno responsável por acondicionar a camada granular (brita nº 2) de reservação da água pluvial (Figuras 02 e 03). O índice de porosidade da camada granular foi determinado de acordo com a NBR 16.917 (ABNT, 2021a) e a NBR 16.972 (ABNT, 2021b).

O nível h (= 20 cm) corresponde à distância do centro do tubo de drenagem até a superfície livre de água no reservatório. Esse nível era controlado em cada medição por orifícios laterais (adaptadores com flanges) existentes na caixa (Figuras 02, 03a e 03b).



Figura 3. Módulo experimental: a) com camada granular e água; b) com camada granular e sem água; c) visualização do tubo de drenagem envolto por manta geotêxtil; d) detalhe do ponto de descarga livre.

Routing do reservatório

A propagação do escoamento em reservatórios (*routing*) foi realizada pelo método de Puls, o que permite pressupor que a vazão do orifício regulador varia em função do nível d'água existente no reservatório. O método é baseado no princípio da conservação da massa, desprezando a variação longitudinal da vazão e contribuições laterais (Tomaz, 2011). Deste modo, temos que:

$$(I_1 + I_2) + \left(\frac{2 \cdot S_1}{\Delta t} - O_1 \right) = \left(\frac{2 \cdot S_2}{\Delta t} + O_2 \right) \quad \text{(Equação 5)}$$

Sendo, I_1 a vazão de entrada no tempo t , I_2 a vazão de entrada no tempo $t+1$, Δt o intervalo de tempo avaliado, S_1 o volume armazenado no tempo t , S_2 o volume armazenado no tempo $t+1$, O_1 a vazão de saída no tempo t e O_2 a vazão de saída no tempo $t+1$.

Considerando que os lotes urbanos formam bacias contribuintes relativamente pequenas, o hidrograma de entrada foi definido como triangular com tempo de pico (t_p) de 5 minutos, conforme recomenda Porto (1995). Determinou-se a vazão máxima pelo método racional, onde:

$$Q_{\text{máx}} = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,600} \quad \text{(Equação 6)}$$

Sendo, $Q_{\text{máx}}$ (l/s) vazão, C (-) coeficiente de escoamento superficial determinado conforme Tabela 01, A (m^2) área da bacia de contribuição e i (mm/h) intensidade da chuva, calculada para um período de retorno de 25 anos com base no estudo de Back e Bonetti (2014) – estação localizada em Blumenau-SC com código 02649007.

Tabela 1. Coeficiente de escoamento superficial - "C".

Tipologia da área ocupada	Valor de "C"
Matas, parques e área preservada.	0.10
Gramado, jardins, vegetação rasteira, solo compactado.	0.30
Área edificada.	0.80
Área pavimentada.	0.95

Fonte: Adaptado de ASCE (1997 apud TOMAZ, 2011).

Com o hidrograma de entrada e o volume inicial de armazenamento, os termos I_1 , I_2 , O_1 e S_1 podem ser conhecidos. A correlação entre um volume armazenado S qualquer com a vazão de saída (O) do reservatório permite determinar as duas variáveis restantes (O_2 e S_2). O parâmetro Δt foi igual a $t_p/7$, conforme recomenda Tomaz (2011).

Resultados e discussão

Na primeira parte deste capítulo, apresentam-se os resultados do estudo experimental, enquanto que na segunda parte, apresentam-se os resultados obtidos com a avaliação do impacto da TC (pavimento permeável) em um lote no município de Blumenau-SC.

Estudo Experimental

Na Tabela 02 se observam os resultados alcançados com o teste do módulo experimental, o qual visou estimar o coeficiente de descarga de drenos em TCs. O valor médio de C_d foi igual a 0.60 ± 0.01 (Tabela 02) para uma relação L/D igual a 34 ($L = 1.50$ metros e $D = 0.044$ metros). Aplicando a Equação (1), temos que a vazão máxima alcançada pelo orifício regulador foi de 1.5 l/s. Nota-se que o desvio amostral foi pequeno, revelando boa reprodutibilidade das medições.

Tabela 2. Coeficiente de descarga medido em módulo experimental com nível d'água inicial de 20 cm ($n = 10$).

Parâmetros	t (s)	C_d (-)
\bar{x}	33.3	0.60
s	0.4	0.01

Nota: n = número de medições; t = tempo de esvaziamento; \bar{x} = média; s = desvio padrão amostral; C_d = coeficiente de descarga.

Na literatura, o valor de C_d para a mesma relação L/D é estimado em 0.66 (AZEVEDO NETTO, 2015), portanto, 10.0% maior que o valor obtido nesse estudo. A diferença pode ser explicada pela particularidade do experimento em relação às demais pesquisas, como o uso tubos poliméricos (PEAD e PVC), manta geotêxtil e reservatório com camada granular. A rigor, são aspectos que alteram as condições de escoamento e, portanto, modificam o coeficiente de descarga medido. A diferença no valor do C_d impacta a estimativa da vazão do dreno na mesma ordem de grandeza (equação 1). A sua correta estimativa permite uma mais precisa avaliação do impacto hidrológico de uma TC.

Concepção e análise da técnica compensatória

A análise de uma TC foi realizada em um lote localizado em Blumenau/SC com área total de 360 m², sendo 60% da área ocupada pela edificação, 20% por área verde preservada e 20% por pavimento convencional. Considera-se que a vazão máxima que qualquer empreendimento pode produzir e encaminhar à rede pública de drenagem seja restringida a 64 l/(s.ha) e que a municipalidade avalie a situação para um período de retorno de 25 anos.

Se nenhuma medida de controle na fonte for realizada, a vazão máxima que o lote produzirá ($Q_{\text{máx, lote}}$) devido ao escoamento superficial pode ser calculada pelo método racional (Equação 6), conforme segue:

$$Q_{\text{máx, lote}} = \frac{0.73 \cdot 230 \frac{\text{mm}}{\text{h}} \cdot 360\text{m}^2}{3,600} = 16.8 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Essa vazão supera a máxima permitida hipoteticamente pelo município ($Q_{\text{máx, perm.}}$), que seria de:

$$Q_{\text{máx, perm.}} = 64 \frac{\text{l}}{\text{s} \cdot \text{ha}} \cdot \frac{360\text{m}^2}{10,000 \text{m}^2/\text{ha}} = 2.3 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Constata-se que é preciso executar alguma medida de manejo da água pluvial no lote. A opção escolhida foi a de substituir o pavimento convencional por um pavimento permeável com camada granular de 20 cm de altura e índice de porosidade de 42%. Logo, o volume total de reservação (V) é de:

$$V = (360 \text{m}^2 \cdot 20\%) \cdot 0,2 \text{m} \cdot 42\% = 6,048 \text{m}^3$$

Definiu-se que apenas o escoamento superficial da área construída será encaminhado ao pavimento permeável. O escoamento superficial produzido na área verde não será captado, evitando maior transporte de sedimentos à TC e a colmatação de seus poros.

Nesse novo cenário, a vazão produzida pelo lote resulta da soma da parcela escoada superficialmente ($Q_{\text{esc.}}$) pela área verde e da parcela descarregada pelo orifício regulador de vazão no interior do pavimento ($Q_{\text{orif.}}$). Deste modo:

$$Q_{\text{máx., perm}} \geq Q_{\text{esc.}} + Q_{\text{orif.}} \quad \therefore$$

$$2.3 \frac{\text{l}}{\text{s}} \geq \frac{0.10 \cdot 230 \frac{\text{mm}}{\text{h}} \cdot (360\text{m}^2 \cdot 20\%)}{3,600} + Q_{\text{orif.}} \quad \therefore$$

$$2.3 \frac{\text{l}}{\text{s}} \geq 0.5 \frac{\text{l}}{\text{s}} + Q_{\text{orif.}} \quad \therefore$$

$$Q_{\text{orif.}} \leq 1.8 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Portanto, para atendimento da vazão de restrição, o orifício regulador deve produzir uma vazão menor ou igual a 1.8 l/s.

A aplicação do método de Puls permite verificar se essa condição é atendida, conforme mostra a Figura 04. Nela se observa o hidrograma de entrada (*input*) sobre o pavimento permeável e o hidrograma de saída (*output*) controlado pelo orifício regulador de vazão.

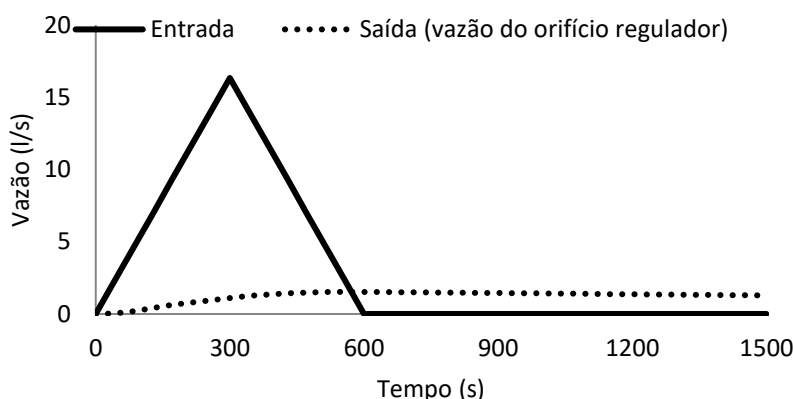


Figura 4. Hidrograma de entrada (escoamento superficial da área construída) e de saída (vazão do orifício regulador) do lote avaliado.

Para o cenário simulado, a vazão máxima alcançada pelo orifício regulador foi de 1.5 l/s, ou seja, valor menor que a vazão máxima permitida ao componente (1.8 l/s). Portanto, o lote não mais produziria uma vazão de 16.8 l/s e sim de 2.0 l/s (0.5 + 1.5 l/s) - queda de 840%. Trata-se de uma redução substancial que, caso seja ampliada para outros lotes, pode promover melhorias significativas para a gestão de risco de inundação brusca no município.

Importante ressaltar que a vazão de restrição poderia ser superada caso se optasse pelo uso de dois ou mais drenos. Aqui se releva a importância da verificação da vazão dos drenos como um *output* na análise hidrológica do lote. Do contrário, o amortecimento da onda de cheia poderia ser insuficiente e pouco eficaz para a redução do risco de inundação brusca.

A aplicação do método de Puls também permitiu constatar que o pavimento permeável foi pré-dimensionado adequadamente, já que o volume máximo de armazenamento alcançado na simulação foi de 4.338 m³, ou seja, inferior ao volume máximo pré-definido ao pavimento permeável (6.048 m³). Verificou-se que o tempo de esvaziamento do reservatório ($St = 0$) foi igual a 3.9 horas. Após este período, o pavimento permeável estaria preparado para o próximo evento de chuva intensa.

Conclusão

A presente pesquisa avaliou o impacto hidráulico e hidrológico de uma TC com orifício regulador de vazão, tendo em vista a sua aplicação hipotética na forma de um pavimento permeável sobre um lote em Blumenau-SC. O estudo experimental apontou divergência entre o coeficiente de descarga medido e o reportado pela literatura técnico-científica, o que demonstra a relevância da validação experimental de TCs com orifícios reguladores de vazão. Outras pesquisas podem abordar a estimativa da vazão para diferentes condições experimentais (alteração de diâmetros, materiais, extensão do dreno etc).

A avaliação hidráulica e hidrológica da TC em um lote urbano apontou uma redução significativa da onda de cheia, resgatando as condições hidrológicas “naturais”. Este estudo também demonstrou como o pré-dimensionamento da TC (incluindo os drenos) pode ser validado, garantindo uma redução substancial da vazão descarregada nos sistemas de drenagem e cursos d’água.

Ressalta-se a importância de que mais municípios definam critérios e parâmetros que permitam restringir o aumento do escoamento superficial ocasionado pela impermeabilização do solo nos lotes urbanos. Nesse sentido, a TC com orifício regulador de vazão pode mitigar os impactos negativos gerados pela impermeabilização do solo e contribuir para o manejo sustentável da água pluvial nas cidades.

Agradecimentos

À Universidade Regional de Blumenau (FURB) pelo financiamento da pesquisa.

Referencias bibliográficas

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015). *NBR 16416 – Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos*. 24 pp.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021a). *NBR 16917: agregado graúdo: determinação da densidade e da absorção de água*. 6 pp.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021b). *NBR 16972: agregados: determinação da massa unitária e do índice de vazios*. 6 pp.
- Azevedo Netto, J. M. (2015). *Manual de hidráulica*. 9a ed. São Paulo: Blucher, Brasil, 632 pp.
- Back, A. J., Bonetti, A. V. (2014) Chuva de projeto para instalações prediais de águas pluviais de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **19**(4), 260-267, 2014. Acesso em 20 de dezembro de 2021, disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/173/c069ef51691f6878eeaf2f67cee8859f_ae342d42d4f4443fc316cb0d10daca1c.pdf
- Baptista, V. S. G., Paz, A. R. da. (2018) Cost-efficiency analysis of a runoff detention reservoir with integrated hydraulic and structural dimensioning. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **23** (e36): <https://doi.org/10.1590/2318-0331.231820170168>
- Blumenau (2020). *Manual de Drenagem*. Requerimento – Condomínios. Blumenau, 2p.

- Brasil (1997) *Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Acesso em 12 de outubro de 2021, disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm
- CEPED/UFSC (2016). *Relatório de Danos Materiais e Prejuízos Decorrentes de Desastres Naturais no Brasil*. Universidade Federal de Santa Catarina. Acesso em 04 de junho de 2021, disponível em: <https://www.ceped.ufsc.br/relatorio-de-danos-materiais-e-prejuizos-decorrentes-de-desastres-naturais-no-brasil-1995-2014/>
- Chen, S. S., Tsang, D. C., He, M., Sun, Y., Lau, L. S., Leung, R. W., Lau, E. S. C., Hou, D., Liu, A., Mohanty, S. (2021) Designing sustainable drainage systems in subtropical cities: Challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, **280**, 124418. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124418>
- Cosco, C., Gómez, M., Russo, B., Tellez-Alvarez, J., Macchione, F., Costabile, P., Costanzo, C. (2020) Discharge coefficients for specific grated inlets. Influence of the Froude number. *Urban Water Journal*, **17**(7), 656-668. Acesso em 25 de setembro de 2022, disponível em: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1811881>
- Curitiba (2007). *Decreto nº 176/2007 – Dispõe sobre os critérios para implantação dos mecanismos de contenção de cheias*. Acesso em 09 de novembro de 2021, Acesso em 9 nov 2021, disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/decreto/2007/17/176/decreto-n-176-2007-dispoe-sobre-os-criterios-para-implantacao-dos-mecanismos-de-contencao-de-cheias>
- Freire, F. B., Souza, R. C. C., Mannich, M. (2021) Design guidelines for on-site stormwater detention. *Ciência e Natura*, **43**, e70. <https://doi.org/10.5902/2179460X63494>
- Gómez, M., Russo, B., Tellez-Alvarez, J. (2019) Experimental investigation to estimate the discharge coefficient of a grate inlet under surcharge conditions. *Urban Water Journal*, **16**(2), 85-91. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1634107>
- Gonçalves, L. S. M., Teixeira, B. A. do N. (2021) Identificação de publicações sobre dispositivos de drenagem urbana sustentáveis e chuvas de projeto, Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana. Porto Alegre, Brasil. <https://doi.org/10.46421/singeurb.v3i00.1105>
- Kesgin, E., Agaccioglu, H., Dogan, A. (2020) Experimental and numerical investigation of drainage mechanisms at sports fields under simulated rainfall. *Journal of Hydrology*, **580**, 124251. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124251>
- Kitsikoudis, V., Ercicum, S., Rubinato, M., Shucksmith, J. D., Archambeau, P., Pirotton, M., Dewals, B. (2021) Exchange between drainage systems and surface flows during urban flooding: Quasi-steady and dynamic modelling in unsteady flow conditions. *Journal of Hydrology*, **602**, 126628, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126628>
- Liang, J., MA, Y., Zheng, Y. (2021) Characteristics of air-water flow in an emptying tank under different conditions. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, **11**(6), 100300. <https://doi.org/10.1016/j.taml.2021.100300>
- Malutta, S., Silveira, R. B., Cavion, R., Vieira, A. P. S. D. (2021) Diagnóstico da implantação das medidas estruturais e não estruturais para a prevenção e combate a inundação no município de Joinville–Santa Catarina. *Brazilian Journal of Development*, **7**(10), 100770-100795, <https://doi.org/10.34117/bjdv7n10-406>
- Montagna, T., Vieira, R., Kaufmann, V., Pinheiro, A., Michel, J. P. (2021) Simulação do uso de pavimento permeável e trincheira de infiltração em espaços públicos de mobilidade. *Sustentabilidade em Debate - Brasília*, **12**(1), 170-191. Acesso em 02 de novembro de 2021, disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/download/30006/29557/101923>
- Moura, J. M. B. M., Peixer, N., Muniz, P. P. (2019) Análise técnica de pavimentos permeáveis: aspecto físico, hidráulico e manifestações patológicas. *MIX Sustentável*, **5**(1), 75-84. <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/3389>
- Porto, M. F. A. (1995) *Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas*. ABRH: 1995, 1a ed.. 428p. ISBN85-7025-364-8.
- Righetto, A. M. (2009) *Manejo de Águas Pluviais*. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

- Rubinato, M., Martins, R., Kesserwani, G., Leandro, J., Djordjević, S., Shucksmith, J. (2017) Experimental calibration and validation of sewer/surface flow exchange equations in steady and unsteady flow conditions. *Journal of Hydrology*, **552**, 421-432. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.024>
- Silveira, A. L. L., Goldefum, J. A. (2007) Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **12**(2), 157-168. Acesso em 02 de outubro de 2021, disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/files/2018/09/Silveira-e-Goldefum-2007-RBRH-v.12-n.2-2007.pdf>
- Tomaz, P. (2011) *Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais: piscinões, galerias, bueiros, canais: métodos SCS*, Denver, Santa Bárbara Racional, TR-55. São Paulo: Navegar, 2011, 2ªed. 592 pp.
- Vatankhah, A. R., Rafeifar, F. (2020) Analytical and experimental study of flow through elliptical side orifices. *Flow Measurement and Instrumentation*, **72**, 101712. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2020.101712>