

XII ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS

RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO COMO MEDIDA DE CONTROLE NA MACRODRENAGEM: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE TUBARÃO/SC

*Juliana Andrade Campos¹ ; Daniele Feitoza Silva²; Joel Avruch Goldenfum³ & Fernando
Dornelles⁴*

RESUMO – Alagamentos são caracterizados pela sobrecarga dos condutos da rede de drenagem. Esses problemas são frequentes na cidade de Tubarão, SC, e o corpo técnico responsável pelo Plano Municipal de Macrodrenagem já identificou os pontos críticos e apontou soluções propostas a evitá-los. Nesse sentido, esse trabalho tem como objetivo apresentar e discutir reservatórios de detenção como medida estrutural à mitigação de alagamentos em uma sub-bacia urbana no município. A simulação da rede atual evidencia a ocorrência de alagamentos em todos os condutos, com redução em mais de 75% quando reservatórios de detenção são considerados. Essas estruturas se mostraram eficientes na redução de pontos críticos de alagamentos, além de amortecer a vazão de pico e redistribuir o escoamento, reduzindo os impactos à jusante da bacia.

ABSTRACT– Flooding arised by the overloading of the drainage networks conduits. This problems are common in Tubarão city, SC. The technicians responsible by the Drainage Master Plan already identify the critical areas and pointed out solutions for eliminate them. This work proposed to presente and to discuss detention basin as BMP for flooding mitigation in a urban watershed in Tubarão city. The simulation of the current network presents flooding in all the conduits, with reduction at 75% more when detention based are considered. This structures were eficiente for reducing flooded áreas, beside the peak flow, redistributing the hydrograph flow, damping the impacts downstream of watershed.

Palavras-Chave – alagamentos; medidas de controle; reservatórios de detenção.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização traz profundas modificações no uso do solo, causando impactos permanentes nas respostas hidrológicas das áreas urbanizadas, apresentando efeitos mais notáveis no aumento do escoamento superficial e diminuição da infiltração (Fontes e Barbassa, 2003; Mejía e

1) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – IPH/UFRGS. Aluna de mestrado. E-mail: juliana_esa@outlook.com

2) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – IPH/UFRGS. Aluna de doutorado. E-mail: pariconha@gmail.com

3) Professor Titular IPH/UFRGS. E-mail: joel@iph.ufrgs.br

4) Professor Adjunto IPH/UFRGS. E-mail: fds_eng@yahoo.com.br

Moglan, 2010). Esses impactos se traduzem em alagamentos, caracterizados pela sobrecarga dos condutos do sistema de macrodrenagem.

Para contornar os problemas causados por alagamentos e/ou inundações, alguns municípios têm discutido a proposição de Planos Diretores de Drenagem Urbana, estes abrangendo o diagnóstico das redes e soluções aos problemas encontrados. Um dos municípios que recentemente aderiu a proposta de possuir o plano é o de Tubarão, em Santa Catarina.

O município de Tubarão se encontra em uma região extremamente plana da bacia hidrográfica do rio Tubarão, e a baixa declividade da região dificulta o escoamento das águas. Além disso, devido à proximidade com o oceano, os rios e canais naturais retificados, que atravessam o município em direção às lagoas litorâneas, são fortemente influenciados pelo remanso das marés. Como resultado, as águas pluviais ficam retidas no próprio sistema de drenagem do município, resultando em graves problemas de alagamento.

O referido plano contempla, entre outras atividades, a proposição de alternativas de controle do escoamento da macrodrenagem, visando a mitigação de alagamentos. Como solução aos alagamentos simulados em Tubarão, reservatórios de detenção são propostos, dadas as características do município. Por se tratar de uma área parcialmente consolidada, a implantação de reservatórios de detenção se mostra a opção acessível, porém, envolvem apenas o amortecimento das vazões e sua redistribuição no tempo. Medidas compensatórias que consideram infiltração foram desconsideradas devido a um lençol freático alto, o que limita a eficiência desses tipos de técnicas.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar uso de reservatórios de detenção como medida de controle do escoamento em uma sub-bacia urbana do município de Tubarão-SC.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho é apresentada como segue: (i) definição da área de estudo; (ii) cenários de avaliação; (iii) modelagem hidrológica; e (iv) dimensionamento dos reservatórios de detenção.

Área de estudo

A área de estudo corresponde a uma sub-bacia urbana, localizada no município de Tubarão, Santa Catarina, cuja localização é apresentada na Figura 01. A bacia possui uma área de, aproximadamente, 10,5 km² e engloba os bairros Santo Antônio de Pádua e Recife, e parte dos bairros Centro, Oficinas e Vila Moema. Estima-se que residem 25.768 pessoas em 8.884 domicílios, de acordo com o último Censo Demográfico (IBGE, 2010).

A rede de macrodrenagem existente na área de estudo é composta por condutos e valas. O sentido do escoamento ocorre, majoritariamente, no sentido Norte-Sul, em direção às valas laterais da ferrovia. Ao Sul, as valas se unem, desaguando no rio Congonhas. Ao longo dos estudos de elaboração do Plano Diretor de Macrodrenagem de Tubarão, foi constatado que todos os condutos desta sub-bacia estão subdimensionados, necessitando de ampliação do sistema.

Esta região apresenta baixa declividade, o que dificulta o escoamento das águas pluviais. Além disso, o rio Congonhas é fortemente influenciado pelo comportamento das marés. O remanso, causado pelas marés, diminui a velocidade de escoamento das águas pluviais, elevando o nível d'água nos condutos e valas e favorecendo a ocorrência de alagamentos.

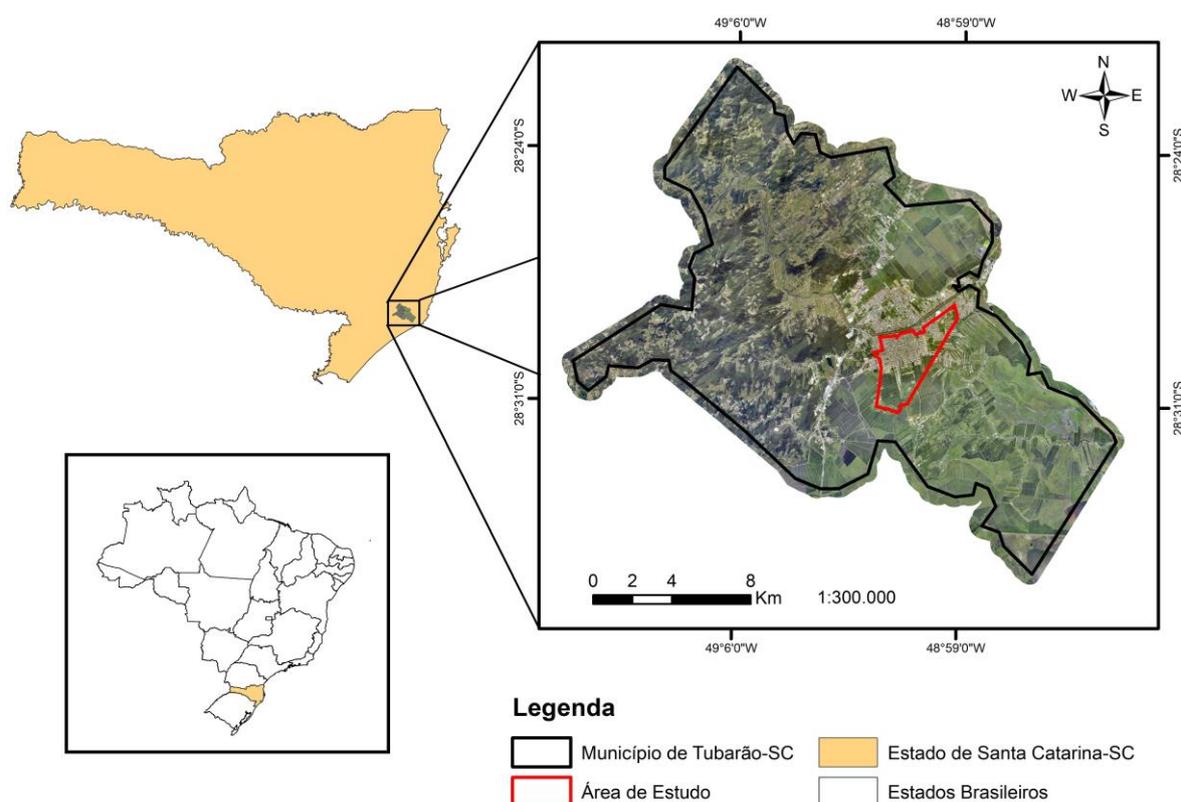


Figura 1 – Localização da área de estudo

Cenários de avaliação

De modo a aferir o diagnóstico e a eficiência de reservatórios de retenção como medida de controle do escoamento, foram considerados 02 cenários de simulação, sendo eles:

- Cenário 1 – Simulação do Cenário atual, considerando a rede de macrodrenagem existente;
- Cenário 2 – Simulação da rede de macrodrenagem associada a 7 reservatórios de retenção, com localização apontada pela equipe técnica do município.

Modelagem hidrológica

As simulações foram realizadas com o modelo hidráulico SWMM (*Storm Water Management Model*) 5.1. A área de estudo foi discretizada em sub-bacias ainda menores, para fins de simulação hidrológica e estimativa da vazão que entra na macrodrenagem. Na discretização foi considerada a rede de macrodrenagem existente, as variações topográficas, as características urbanas e de uso e ocupação do solo, além dos divisores de água artificiais presentes na área urbana (elevações de aterros de ruas, ferrovia, etc.).

No SWMM, os dados de entrada necessários para cada sub-bacia são: área, perímetro, largura característica, declividade, percentual de área impermeável, coeficiente de rugosidade de Manning para as áreas permeáveis e impermeáveis, altura do armazenamento em depressões e parâmetros de infiltração.

Os parâmetros área, perímetro e declividade foram obtidos a partir das ferramentas de geoprocessamento. Para a estimativa do parâmetro CN, as sub-bacias foram divididas em áreas permeáveis e impermeáveis, de acordo com o uso do solo. A classe “Urbanização” foi considerada impermeável e as demais classes (Solo exposto, Floresta, Grama ou Campo e Rizicultura) permeáveis. O CN médio de cada sub-bacia foi estimado, ponderando-se o CN de cada feição pela área. Parte da região ao sul desta área compõe a zona de expansão urbana do Município, e, por este motivo, considerou-se estas áreas como “Urbanização”.

A largura equivalente das sub-bacias foi estimada através da largura do retângulo equivalente, que relaciona o perímetro e a área da bacia, por meio das Equações 1 e 2.

$$Le = \frac{K_C \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_C} \right)^2} \right] \quad (1)$$

$$K_C = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Onde: Le é a largura equivalente (m); A é a área da sub-bacia (m²); P é o perímetro da sub-bacia (m); e Kc é o coeficiente de compacidade.

A altura do armazenamento em depressões e o coeficiente de rugosidade de Manning foram definidos de acordo com faixas de valores sugeridas em Rossman (2015).

Em relação aos condutos e valas, os dados de entrada necessários para o modelo são: comprimento, seção transversal, rugosidade e *offset* de entrada e saída (altura ou cota do conduto acima do radier do nó de montante e jusante, respectivamente).

As informações sobre a rede de macrodrenagem da área estudada foram levantadas por meio de um cadastro do sistema de drenagem, fornecido pela própria prefeitura de Tubarão. Os condutos modelados compreendem valas, galerias, travessias e tubulações de diâmetro superior a 800 mm. Os nós foram admitidos aos locais onde há poços de visita, bem como em pontos de controle, em função de mudança de diâmetro e forma dos condutos e valas, mudança de direção do fluxo, mudança abrupta na elevação do terreno e na entrada e saída de bueiros. As cotas dos nós foram obtidas a partir de um MNT (modelo numérico do terreno) com resolução espacial de 1 metro, disponibilizado pelo Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC).

O coeficiente de rugosidade dos condutos e valas foi definido conforme faixas de valores sugeridas em Rossman (2015), de acordo com as características de campo.

A chuva de projeto utilizada neste estudo foi obtida a partir da equação IDF proposta por Back (2013). A equação IDF de Back (2013) é representada por duas equações distintas, válidas para determinadas faixas de duração de chuva. Conforme Helfer *et al.* (2017), a utilização de duas ou mais equações IDF, ajustadas para diferentes faixas de duração de chuva, podem implicar em anomalias nos hietogramas de projeto. Por este motivo, optou-se por ajustar uma única equação IDF à equação IDF de Back (2013), apresentada a seguir.

$$i = \frac{1123,22 T^{0,194}}{(t + 14,685)^{0,792}} \quad (3)$$

Onde: i é a intensidade da chuva (mm/h); T é o tempo de retorno (anos); e t é a duração da precipitação (minutos).

A chuva de projeto foi calculada para um tempo de retorno de 25 anos, conforme determinação do Plano Diretor Municipal, com duração total de 24 horas e utilizada neste trabalho, considerou-se um tempo de retorno de 25 anos, discretizada a cada 5 minutos pelo método dos Blocos Alternados.

Dimensionamento dos reservatórios de detenção

A Prefeitura Municipal indicou 07 áreas para alocação de reservatórios na zona estudada. Os reservatórios seriam implantados no ponto ligeiramente anterior ao ingresso do escoamento na macrodrenagem. Dessas áreas se analisou o nível do lençol freático nas proximidades, de modo a definir a cota passível de escavação. Essas informações foram fornecidas pela equipe técnica municipal. Com base na cota e na máxima área disponível, obteve-se o volume máximo do reservatório.

Todos os vertedores dos reservatórios foram dimensionados com uma altura de 0,3 m, com exceção ao reservatório 3, que teve altura fixada em 0,2 m devido à altura disponível. Após ter a altura fixada, o comprimento foi calculado pela fórmula:

$$L = \frac{Q_{\text{máx}}}{(1,71 * H_{\text{máx}}^{1,5})} \quad (4)$$

Onde: L – Comprimento do vertedor (m); $Q_{\text{máx}}$ – Vazão de pico (m^3/s); $H_{\text{máx}}$ – Altura máxima da lâmina d'água desejada no vertedor (m).

Posteriormente, os reservatórios pré-dimensionados foram inseridos no modelo SWMM utilizando o módulo de “Unidade de Armazenamento”, alocando condutos de entrada, orifício de saída e vertedouro na rede de macrodrenagem da área estudada.

Aos diâmetros dos descarregadores de fundo foram estabelecidos 50 mm, de modo a facilitar a limpeza e evitar situações adversas, como entupimento do orifício por folhas, etc.

A Figura 2 apresenta a modelagem realizada, com alocação dos reservatórios.

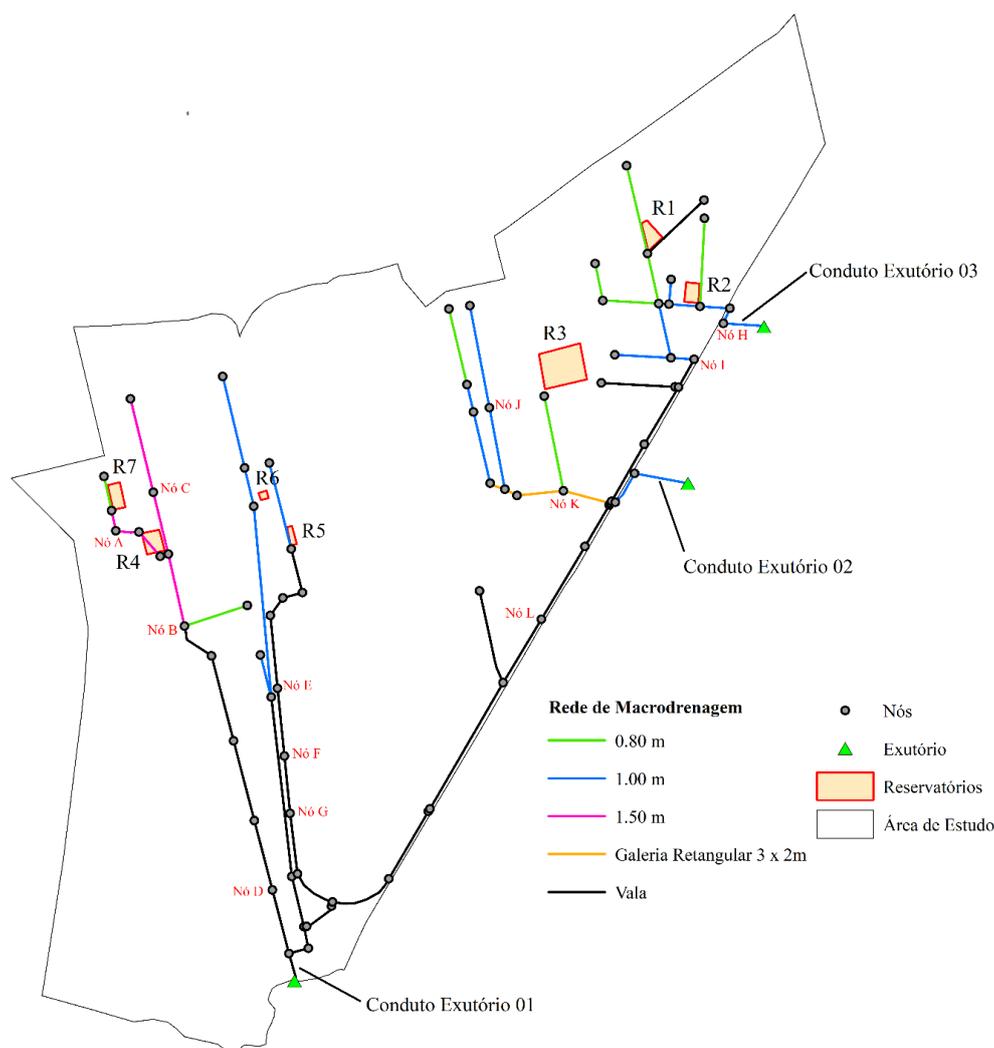


Figura 2 – Rede de Macrodrenagem e reservatórios de retenção propostos para a sub-bacia estudada em Tubarão-SC

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos quando da implantação de reservatórios de detenção, adicionados a algumas discussões quanto à redução de áreas alagadas, entre outras observações no decorrer do texto.

Na Tabela 1 são apresentadas as características dos reservatórios, bem como as dimensões obtidas para os vertedores.

As Figuras 03, 04 e 05 apresentam os hidrogramas nos condutos exutórios para os cenários estabelecidos. Observa-se que nos três condutos exutórios, a utilização dos reservatórios de detenção reduziu a vazão de pico durante as simulações. A redução observada nos exutórios 1, 2 e 3 é de 25,68%, 26,65% e 39,58%, respectivamente. Os resultados apresentam maior volume de controle à montante do exutório 3.

Tabela 1 – Características dos reservatórios de detenção

Reservatório	Coordenadas (UTM)		Área (m ²)	Altura escavada (m)	Volume (m ³)	Vertedor		Orifício de saída
	X	Y				Altura (m)	Comprimento (m)	Diâmetro (m)
01	696308	6847870	8816,00	1,80	15868,80	0,30	14,56	0,50
02	696560	6847560	7553,00	2,00	15106,00	0,30	27,90	0,50
03	695871	6847260	42932,00	0,50	21466,00	0,20	4,97	0,30
04	693690	6846200	10876,00	2,30	25014,80	0,30	46,02	0,50
05	694436	6846250	2966,00	2,00	5932,00	0,30	31,32	0,50
06	694276	6846460	1718,00	2,60	4466,80	0,30	36,55	0,50
07	693516	6846487	8816,00	1,70	14987,20	0,30	30,50	0,50

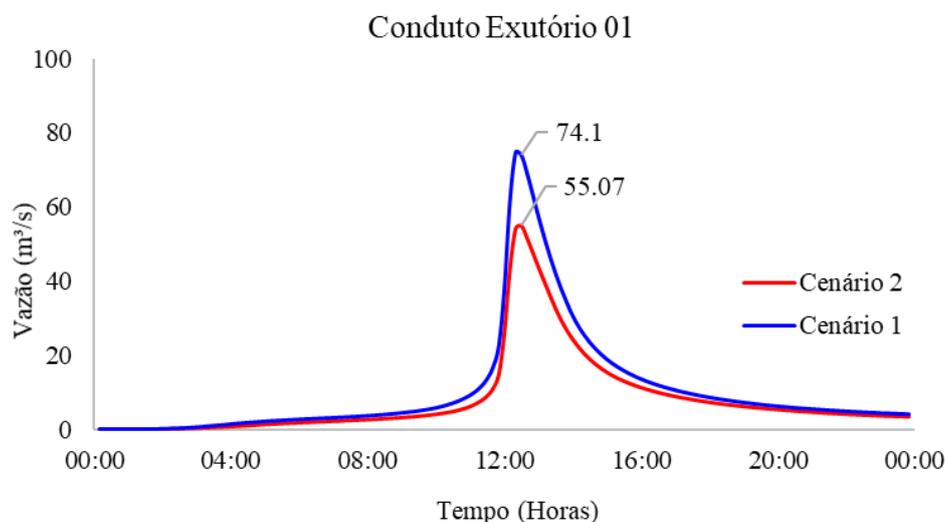


Figura 3 – Hidrogramas no conduto exutório 01 – Cenário 1 e Cenário 2

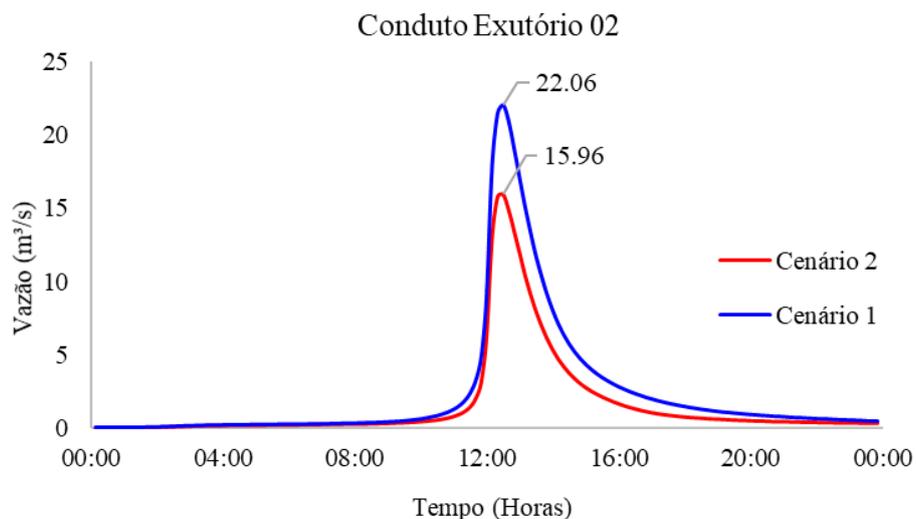


Figura 4 – Hidrogramas no conduto exutório 02 – Cenário 1 e Cenário 2

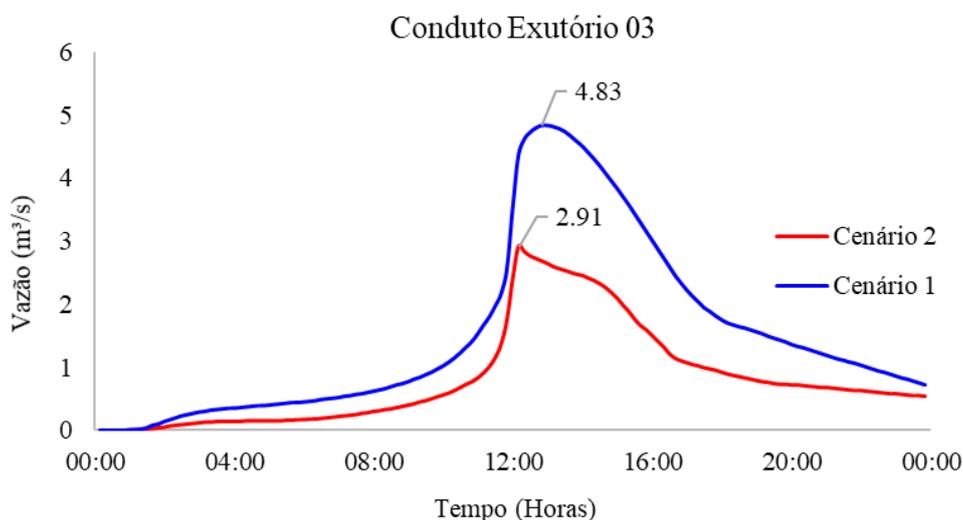


Figura 5 – Hidrogramas no conduto exutório 03 – Cenário 1 e Cenário 2

Na Tabela 2 são apresentadas as reduções dos volumes de alagamentos quando reservatórios de retenção são implantados à montante. Todos os nós apresentaram redução do volume extravasado, no entanto, para alguns condutos e nós na rede o uso de reservatórios de retenção não foi suficiente para evitar a ocorrência de alagamentos. Os nós D e F são exemplos de nós com sobrecarga antes (com maiores volumes de sobrecarga) e depois, mesmo após inclusão de reservatórios de retenção.

Tabela 2 – Influência dos reservatórios nos condutos da macrodrenagem

Nós com sobrecarga	Alagamento Total (m ³)		Redução (%)	Reservatórios influentes
	Cenário 1	Cenário 2		
Nó A	16,0	0,0	100	R4 e R7
Nó B	82,0	0,0	100	R4 e R7
Nó C	764,0	0,0	100	R4 e R7
Nó D	1.686,0	194,0	88,5	R4 e R7
Nó E	1.194,0	0,0	100	R5 e R6
Nó F	2.219,0	177,0	92	R5 e R6
Nó G	578,0	0,0	100	R5 e R6
Nó H	188,0	0,0	100	R1 e R2
Nó I	308,0	0,0	100	R1 e R2
Nó J	38,0	0,0	100	R3
Nó K	222,0	0,0	100	R3
Nó L	56,0	0,0	100	R3

CONCLUSÕES

Este trabalho se propôs a apresentar a rede de drenagem de parte da zona urbana da cidade de Tubarão, SC, bem como soluções à ocorrência de alagamentos. Além da rede de drenagem existente, apresentou-se a rede de drenagem com implantação de reservatórios de retenção como medida de controle ao escoamento gerado à montante.

De maneira geral, os reservatórios se mostraram de grande eficiência, eliminando a formação de áreas alagáveis em mais de 75% dos nós simulados. Os reservatórios avaliados no Cenário 2 foram capazes de amortecer as vazões de pico nos condutos exutório da bacia estudada e promover consideráveis reduções nos volumes extravasados pelos nós. Estas estruturas, além de reduzir o escoamento a jusante devido ao armazenamento, contribuiu para reduzir e/ou eliminar a sobrecarga das tubulações de montante.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Capes e a Prefeitura Municipal de Tubarão pela concessão de bolsa de produtividade e pesquisa.

REFERÊNCIAS

BACK, A. J.; HENN, A.; OLIVEIRA, J. L. R. (2013). “Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil”. Revista Brasileira de Ciência do Solo 35 (6), pp. 2127-2134.

FONTES, A. R. M.; BARBASSA, A. P. (2003). “*Diagnóstico e prognóstico da ocupação e da impermeabilização urbanas*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 8 (2), pp. 137-147.

HELPER, A. L.; DORNELLES, F; GOLDENFUM, J, A. (2017). “*Implications of discontinuous IDF equations in generation of runoff hydrographs. Case study: IDF-Porto Alegre*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 22 (52) 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1288#resultado>>.

MÉJIA, A. I.; MOGLEN, G. E. (2010). “*Spatial patterns of urban development from optimization of flood peaks and imperviousness-based measures*”. Journal of Hydrology 14, pp. 416-424.

ROSSMAN, L. A. (2015). *Storm Water Management Model User's Manual, Version 5.1*.