

IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO SOBRE O SISTEMA DE DRENAGEM DE UMA BACIA URBANA EM IBIRAMA, SC

Guilherme Censi^{1}; Franciele Zanandrea²; Gean Paulo Michel³*

O crescimento desordenado e a ocupação predatória dos espaços urbanos tem efeito direto sobre os sistemas de drenagem e as inundações urbanas. Nesse contexto, a pesquisa buscou analisar o comportamento do sistema de drenagem de águas pluviais de uma bacia hidrográfica urbana, localizada no município de Ibirama, Santa Catarina, com uso da ferramenta computacional SWMM. O estudo considerou o comportamento do sistema para o cenário atual de ocupação da bacia e para o cenário futuro, com 80% de impermeabilização das áreas. Os resultados gerados a partir das simulações para chuvas de projetos com variados períodos de retorno mostraram que, para o cenário atual, o sistema de macrodrenagem é capaz de escoar adequadamente as vazões. Por outro lado, os resultados para o cenário futuro indicam que o sistema poderá se tornar subdimensionado, caso medidas de controle da urbanização não sejam realizadas. Dessa forma, verifica-se que a impermeabilização da bacia gera condições para a ocorrência da sobrecarga nos condutos de drenagem e problemas de alagamentos.

Palavras-Chave – Drenagem urbana, SWMM, cenários

URBANIZATION IMPACTS ON DRAINAGE SYSTEM OF AN URBAN BASIN IN IBIRAMA, SANTA CATARINA STATE

The disorderly growth and predatory occupation of urban spaces has a direct effect on drainage systems and urban floods. In this context, the research sought to analyze the behavior of the rainwater macrodrainage system of an urban hydrographic basin, located in the city of Ibirama, State of Santa Catarina, using the SWMM computational tool. The study considered the behavior of the system for the current scenario of soil waterproofing and for the future scenario, when the waterproofing reaches 80%. Considering the current scenario the simulations results for design rains using varied return periods showed the macrodrainage system is able to adequately flow runoff. Nevertheless, the results for the future scenario indicate that the system may become undersized if urbanization control measures are not performed. Thus, the soil waterproofing generates conditions for the occurrence of overload in drainage conduits and flooding problems.

Keywords – Urban drainage, SWMM, scenarios

¹ Mestrando do Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – UFRGS/IPH, guilherme.censi@hotmail.com

² Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – UFRGS/IPH, franciele.zanan@gmail.com

³ Professor do Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – UFRGS/IPH, gean.michel@ufrgs.br

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização tem grande impacto sobre o ambiente, com efeitos diretos sobre os ciclos naturais, sobretudo sobre o ciclo hidrológico local. Isso acontece porque a urbanização modifica a paisagem natural através do processo de impermeabilização do solo e canalização do escoamento que, por consequência, geram o aumento do escoamento superficial. Esse processo somado à ocupação desordenada das áreas, além do comprometimento dos sistemas de drenagem, transforma o ambiente urbano em um cenário favorável à ocorrência de desastres, como inundações urbanas (Fontes e Barbassa, 2000).

Conforme o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, as inundações bruscas e alagamentos representam grande parcela das ocorrências de desastres naturais que atingem o Brasil (CEPED, 2012). O Vale do Itajaí, onde se encontra o município de Ibirama, é uma das mesorregiões que acumulam mais registros de desastres dessa natureza à nível nacional.

A área urbana de Ibirama possui infraestrutura básica de drenagem pluvial implantada nas principais vias da cidade como forma de evitar ou diminuir os prejuízos causados por inundações. Por outro lado, a administração municipal carece de documentos de cunho técnico sobre as características do sistema de drenagem de águas pluviais, assim como de um plano diretor que defina diretrizes para a expansão urbana adequada. Conseqüentemente, o município sofre com a falta de planejamento integrado do seu espaço edificado e das infraestruturas que o compõem, prejudicando o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável.

Neste enfoque, buscou-se avaliar o comportamento do sistema de drenagem de uma bacia urbana do município de Ibirama com a utilização da ferramenta computacional *Storm Water Management Model* – SWMM, considerando o cenário atual de ocupação da bacia e um possível cenário futuro com a expansão da mancha urbana.

METODOLOGIA

Área de estudo

A bacia de estudo localiza-se em Ibirama, município da microrregião do Alto Vale do Itajaí, no estado de Santa Catarina (figura 1).

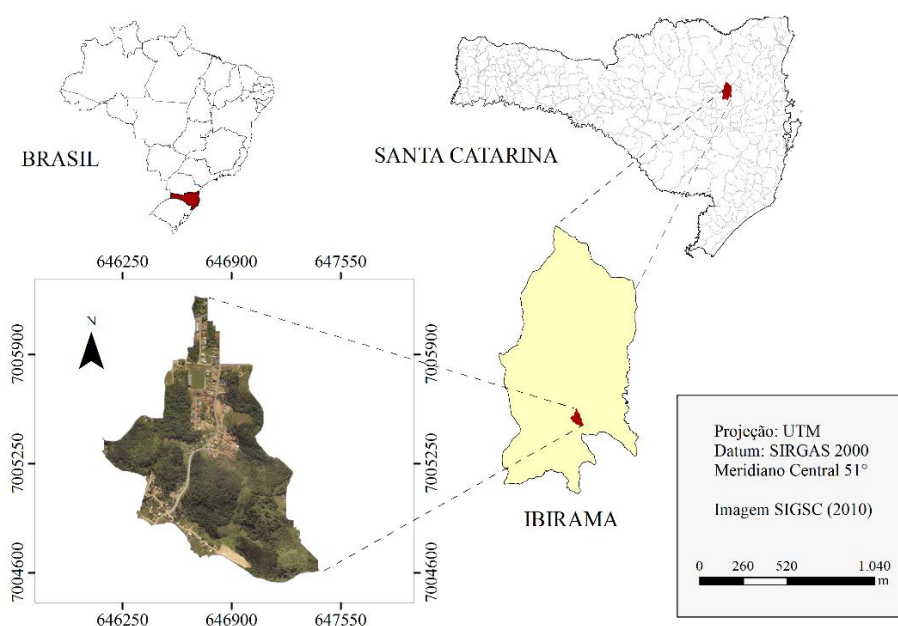


Figura 1 – Localização da área de estudo

A área da bacia está inserida no bairro Centro, região que concentra a maior parcela da população do município. Esta se constitui como uma das áreas mais urbanizadas do município, com densidade demográfica de 907,45 hab/km².

Essa bacia hidrográfica urbana é composta por um córrego principal sem nome especificado, e possui uma área de drenagem de 0,97 km², com altitude variando de 145 m a 360 m. O exutório da bacia é o rio Hercílio, também conhecido como rio Itajaí do Norte.

A temperatura média anual é de 18°C, a umidade relativa média é de 83%, e a precipitação média anual é de 1.300 a 1.500 milímetros, sem períodos secos (Pandolfo *et al.*, 2002). O relevo é de característica montanhosa a ondulada, e dentro dos limites da bacia são encontradas as classes de solo Argissolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Litólico.

Caracterização do sistema de drenagem

Para delimitação da bacia hidrográfica e cursos d'água, foi utilizado o modelo digital do terreno com resolução espacial de 1 metro, cedido pela Prefeitura Municipal de Ibirama.

O sistema de drenagem da bacia é constituído por cursos d'água naturais e também por infraestruturas de micro e macrodrenagem construídas. O sistema de microdrenagem é destinado a realizar a drenagem localizada das águas de chuva e é composto por sarjetas, bocas coletoras e condutos. O sistema de macrodrenagem é composto por uma rede de canais e galerias que drenam a água de chuva, além de escoar as águas que brotam das nascentes da bacia e os esgotos domésticos lançados no sistema pela população.

As características do sistema de drenagem – tal como profundidade, geometria, material de construção, comprimento e declividade dos condutos – foram obtidas por meio de visitas de campo e uso de geoprocessamento.

Determinação do uso do solo para 2010

A avaliação do uso e ocupação do solo foi realizado através de classificação supervisionada, com o uso da ferramenta de geoprocessamento ArcGIS® 10.3, aplicado a imagens com resolução de 0,39 m, provenientes do levantamento aerofotogramétrico realizado em 2010. Essas imagens foram obtidas através do Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina – SIGSC. Por meio de interpretação visual foram aplicadas correções sobre o produto gerado.

APLICAÇÃO DO MODELO SWMM

Para a aplicação do modelo são necessários vários elementos que representam as características da bacia e do sistema de drenagem. No SWMM estes elementos são tratados como sub-bacias, nós e trechos. As sub-bacias são as áreas de contribuição que captam a água da chuva e direcionam o escoamento superficial para um ponto de descarga. Os nós são os elementos que interligam trechos e/ou recebem a contribuição proveniente das sub-bacias. Os trechos representam os canais, galerias ou condutos que conduzem o escoamento.

Para simular a propagação do escoamento nos trechos foi escolhido o método da onda dinâmica.

Discretização da bacia hidrográfica e modelagem do sistema de drenagem

A discretização da bacia hidrográfica resultou em 26 sub-bacias, delimitadas a partir da interpretação visual das variações na topografia e da análise das mudanças nas linhas de fluxo das águas devido à intervenção humana sobre a paisagem. A discretização do sistema de drenagem resultou em 28 nós e 27 trechos de drenagem. Na figura 2 é mostrada a discretização da bacia hidrográfica e do sistema de drenagem.

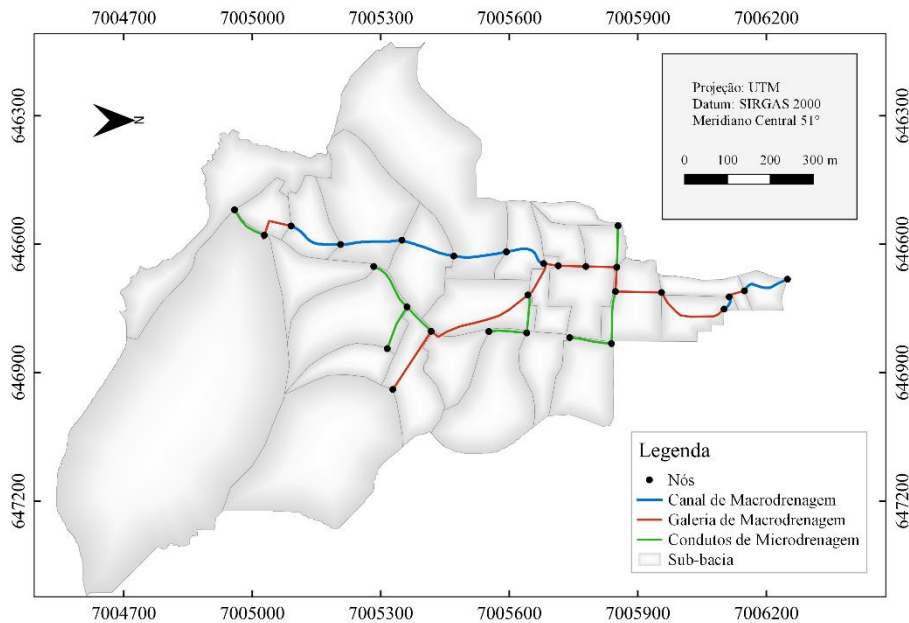


Figura 2 – Discretização da bacia hidrográfica urbana

Definição das chuvas de projeto

As chuvas utilizadas nas simulações foram geradas a partir da equação IDF para Ibirama (1), obtida por meio do programa para cálculo de chuvas intensas de Santa Catarina (Back, 2014).

$$i = \frac{625,580 \times T^{0,171}}{(t + 8,880)^{0,697}} \quad (1)$$

onde, i é a intensidade da chuva (mm.h^{-1}); T é o período de retorno (anos); t é o tempo de duração da chuva (min).

Foram utilizadas quatro chuvas de projeto nas simulações, com períodos de retorno de 5, 10, 25 e 50 anos. Visto que não há consenso quanto ao período de retorno para obras de drenagem, estes foram definidos tendo como referência as diretrizes para drenagem urbana de algumas das principais cidades do Brasil: São Paulo (PMSP, 1999), Belo Horizonte (PMBH, 2004), Porto Alegre (PMPA, 2005) e Rio de Janeiro (PCRJ, 2010).

A duração da precipitação foi adotada em 1 hora, que equivale a 2,85 vezes o tempo de concentração da bacia, considerando a fórmula de Kirpich (Rowe e Thomas, 1942). Devido à simplicidade de aplicação, foi utilizado o método dos Blocos Alternados para elaborar os hietogramas das chuvas de projeto. O evento de chuva foi discretizado em 10 blocos de 6 minutos cada, com pico de intensidade localizado entre $\frac{1}{3}$ e $\frac{1}{2}$ da duração da precipitação, conforme recomenda Akan (1993).

Cálculo da largura característica do escoamento

Para o cálculo da largura da bacia, parâmetro utilizado pelo modelo hidrológico, foi utilizado o método do retângulo equivalente (2), que pode ser determinado em função da área de drenagem da bacia hidrográfica e do seu coeficiente de compacidade (Villela e Matos, 1975).

$$W = \frac{K_C \times \sqrt{A}}{1,12} \times \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_C} \right)^2} \right] \quad K_C = 0,282 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

onde, W é a largura equivalente (m); A é a área da sub-bacia (m^2); e K_c é o coeficiente de compacidade (adimensional); P é o perímetro da bacia (m).

Modelo de infiltração

Para descrever o fenômeno de infiltração nas sub-bacias foi adotado o modelo de infiltração da Curva Número – CN (TR-55, 1986) considerando a proposta de expansão da classificação de solos do Serviço de Conservação de Solo dos Estados Unidos da América para os tipos de solos brasileiros apresentada por Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005). Os valores de CN foram obtidos à partir de tabelas de CN para bacias rurais e urbanas apresentadas por Tucci (1997). Com vistas a avaliar a condição mais desfavorável, que seria a condição de solo saturado, foi aplicado o ajuste dos valores de CN conforme a metodologia proposta por Sobhani (1975). Para obter o parâmetro referente ao número de dias que leva um solo totalmente saturado para secar foi considerada a faixa de valores sugeridos pela literatura, sendo adotado o valor de 7 dias.

Estimativa da vazão de base

Os valores de vazão de base foram obtidos a partir da estimativa da vazão de contribuição de esgotos na bacia (3), com metodologia de cálculo adaptada da NBR 9649 (ABNT, 1986).

$$Q_e = K_1 \times K_2 \times C \times y \times P \times q + T_l \times L + \sum Q_c \quad (3)$$

onde, Q_e é a vazão de esgoto da bacia ($L.s^{-1}$); K_1 é o coeficiente de máxima vazão diária; K_2 é o coeficiente de máxima vazão horária; C é o coeficiente de retorno; y é a fração da população que realiza o lançamento de esgoto no sistema de drenagem; P é a população (hab); q é o consumo de água per capita ($L.hab^{-1}.s^{-1}$); T_l é a taxa de contribuição de infiltração ($L.s^{-1}.km^{-1}$); L é o comprimento da rede de drenagem de águas pluviais (km); Q_c é a contribuição singular ($L.s^{-1}$).

Multiplicando a taxa de contribuição linear (4) pela extensão de rede de drenagem de contribuição referente a cada nó obteve-se a vazão de base para cada nó e trecho.

$$T_x = \frac{Q_e - \sum Q_c}{L} \quad (4)$$

onde, T_x é a taxa de contribuição linear ($L.s^{-1}.km^{-1}$); Q_e é a vazão do trecho de rede ($L.s^{-1}$); Q_c é a contribuição singular ($L.s^{-1}$); L é o comprimento do trecho de rede de drenagem de águas pluviais (km).

Parâmetros do modelo

O parâmetro de Manning, tanto para as sub-bacias como para os trechos, e o valor da profundidade de armazenamento em depressão foram estimados conforme literatura (Akan, 1993), observadas as características de campo.

Simulação de cenários de urbanização

O cenário atual foi modelado para representar a situação atual da bacia hidrográfica de estudo. Para tanto, foram simuladas as características atuais de uso e ocupação da bacia hidrográfica. Já o cenário futuro foi modelado para representar a consolidação do Plano Diretor de Ibirama (Ibirama, 2008), cuja diretriz permite a impermeabilização de até 80% da área superficial dos lotes.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme a avaliação do uso e ocupação do solo, atualmente há o predomínio de vegetação arbórea, gramados, campos e pastagens na área da bacia. Apenas 12% (0,11 km²) da área da bacia encontra-se impermeabilizada. Todavia, se concretizadas as disposições do plano diretor do município, ocorrerá a expansão da mancha urbana na área da bacia com substituição das áreas verdes permeáveis por superfícies impermeáveis.

No cenário atual, os resultados das simulações para os períodos de retorno considerados indicam que o volume de água transformado em escoamento superficial pode chegar a 41% do volume total precipitado sobre a bacia hidrográfica. Já no cenário futuro, o volume de água transformado em escoamento superficial pode chegar até a 87%. Enquanto que no cenário atual, grande parcela de água precipitada é infiltrada no solo, no cenário futuro, devido à impermeabilização, uma maior porção de água é transformada em escoamento superficial.

O efeito gerado sobre o sistema de drenagem pela parcela de água que é transformada em escoamento superficial pode ser observado por meio de hidrogramas da figura 3, onde também segue representada por uma linha vermelha contínua a vazão máxima de cada trecho. Os hidrogramas apresentados representam os 5 trechos de macrodrenagem que se mostram críticos no cenário futuro de impermeabilização. Na figura 4 esses trechos estão localizados na bacia.

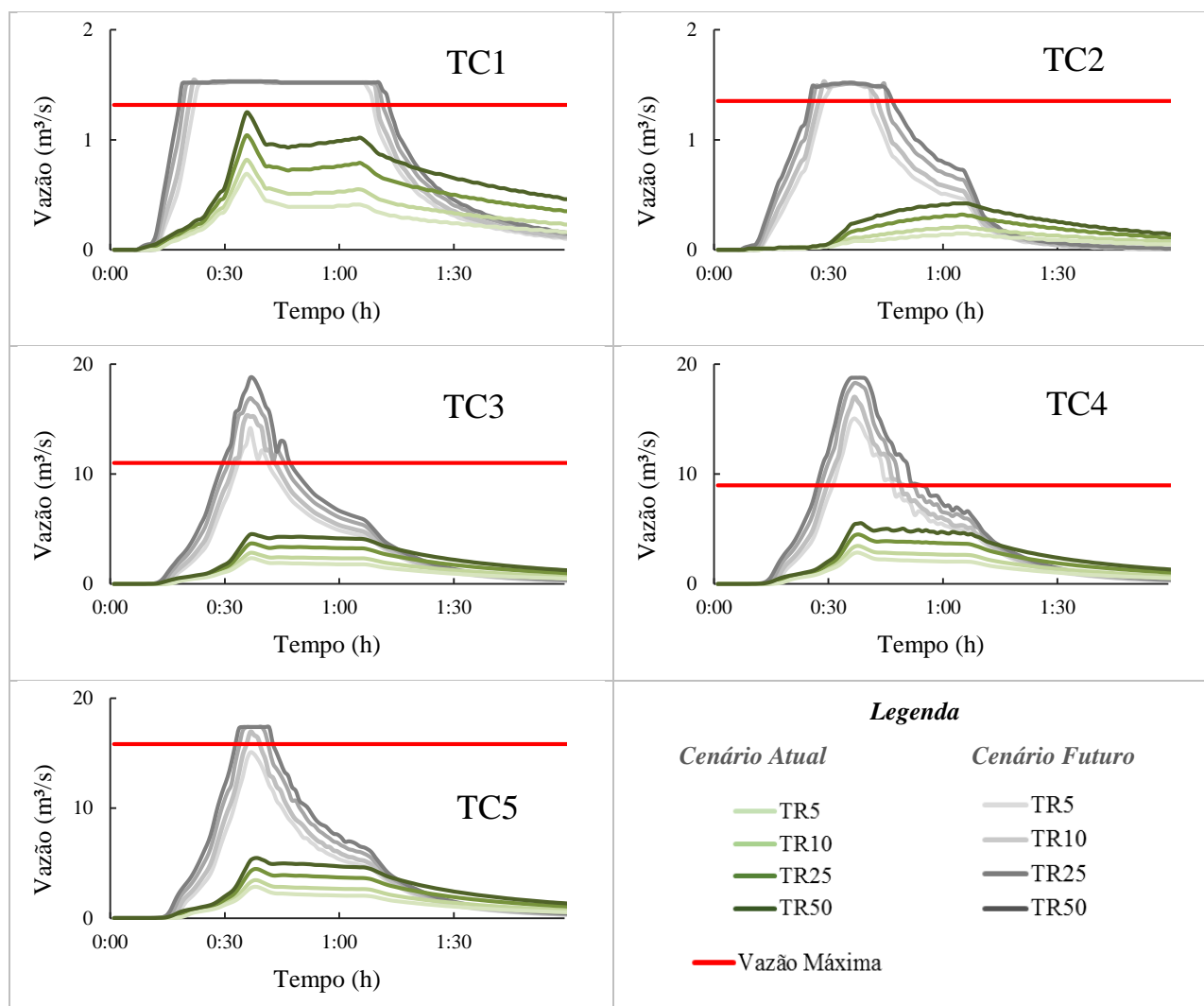


Figura 3 – Hidrogramas dos trechos críticos

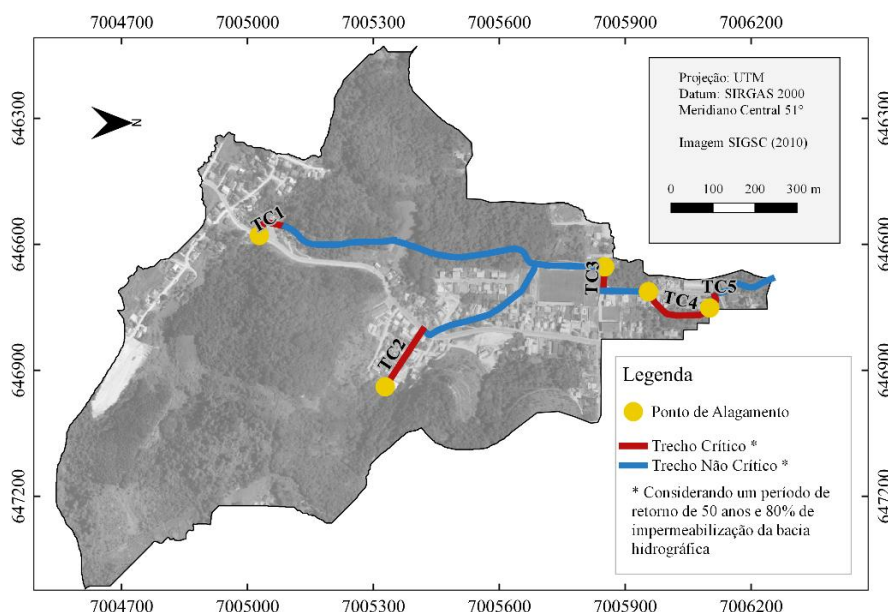


Figura 4 – Trechos de drenagem críticos para a bacia no cenário futuro

Comparando-se as vazões para os trechos no cenário atual e no cenário futuro, verifica-se que as vazões de pico aumentaram em média 3,5 vezes, considerando o período de retorno de 50 anos. Tendo em vista os maiores níveis de impermeabilização e, por consequência, aumento do escoamento superficial, é esperado o aumento do pico de vazão nos trechos do sistema de drenagem.

Quando a vazão dos trechos de galeria supera a vazão máxima, a tubulação passa a operar em carga, podendo ocorrer colapso da estrutura. Nos canais, quando a vazão máxima é superada, a água extravasa a calha de escoamento, causando alagamento na região entorno. No cenário futuro, alagamentos também ocorrem nos pontos críticos em que o sistema possui comunicação com a superfície (bocas coletoras).

Verifica-se que no cenário atual o sistema de macrodrenagem é capaz de escoar as vazões de forma adequada. Por outro lado, a infraestrutura de macrodrenagem não é capaz de suportar o aumento da impermeabilização da bacia ao nível de 80% da superfície, como previsto nas diretrizes de planejamento urbano vigentes no município de Ibirama. No cenário futuro, a maioria dos trechos se mostram críticos até mesmo para períodos de retorno menores que 25 anos, valor mínimo recomendado pelo Ministério das Cidades para obras de macrodrenagem (Miguez, Rezende e Veról, 2015).

CONCLUSÃO

Para o cenário atual de impermeabilização o sistema de drenagem apresenta-se adequadamente dimensionado para escoar as vazões simuladas. Contudo, os resultados gerados para o cenário futuro demonstram que o sistema de drenagem, da forma como está dimensionado atualmente, não é capaz de escoar adequadamente as novas vazões decorrentes do aumento da impermeabilização da bacia urbana conforme as diretrizes de planejamento do município de Ibirama. Neste caso, a modificação da paisagem com substituição das áreas verdes por superfícies impermeáveis torna o sistema de drenagem subdimensionado, e expõe a população ao risco de desastres na forma de inundações urbanas.

Ressalta-se o fato de as políticas públicas da área serem orientadas no sentido de expandir essas áreas urbanas, incentivando a impermeabilização da bacia. Essas políticas permitem o adensamento populacional, como forma de otimizar a infraestrutura disponível. Porém os resultados obtidos para

o cenário futuro demonstraram a ineficiência hidrológica das taxas de permeabilidade adotadas para a área de estudo no Plano Diretor do município, o que acabará por gerar problemas na drenagem urbana existente. Esse fato ainda é agravado por não haver um plano de drenagem urbana para o município, onde se oriente a expansão da urbanização compatibilizada com a infraestrutura de drenagem.

Apesar da não realização da calibração e validação do modelo em função da indisponibilidade de dados, os resultados podem ser vistos como um alerta aos gestores públicos, pois reforçam o consenso de que o não planejamento adequado pode gerar condições para a ocorrência de alagamentos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (1986). *NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário*. Rio de Janeiro, RJ.
- AKAN, O. A. (1993). *Urban storm water hydrology: a guide to engineering calculations*. CRC Press.
- BACK, A. J. (2014). HidroChuSC: um programa de computador para estimativas de chuvas de projeto de drenagem superficial para o Estado de Santa Catarina. In SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12, Natal, RN. *Anais*. Rio de Janeiro: ABES, 2014. pp. 1-14.
- CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES (CEPED). (2012). *Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil*. Florianópolis, SC: UFSC.
- FONTES, A. R. M.; BARBASSA, A. P. (2000). Análises de parâmetros urbanísticos de drenagem pluvial. In *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Porto Alegre, Aracajú: ABRH.
- IBIRAMA (2008). *Lei Complementar n. 73, de 22 de Dezembro de 2008*: Dispõe sobre a avaliação, revisão e atualização do plano diretor físico territorial de Ibirama, (SC) e sua adequação ao estatuto da cidade e dá outras providências. Ibirama, SC.
- MIGUEZ, M.; REZENDE, O.; VERÓL, A. (2015). *Drenagem Urbana: Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade*. Elsevier, Brasil.
- PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JÚNIOR, V. P.; MASSIGNAN, A. M.; PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F. V. (2002). *Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri.
- PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO (PCRJ). (2010). *Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana*. Rio de Janeiro, RJ. 101 p.
- PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO (PMSP). (1999). Secretaria de Vias Públicas. *Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológicos - Período de Retorno: DP-H01*. São Paulo, SP. 12 p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (PMBH). (2004). *Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem Urbana do Município de Belo Horizonte*. Belo Horizonte, MG. 52 p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE (PMPA). (2005). Departamento de Esgotos Pluviais (DEP). *Plano Diretor de Drenagem Urbana: Manual de Drenagem Urbana*. Porto Alegre, RS. 223 p.
- ROWE, R.R.; THOMAS, R.L. (1942). Comparative hydrology pertinent to California culvert practice. In *California Highways and Public Works*, v.20, n.9, pp. 6-11.
- SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. (2005). Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. In *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n. 4, pp. 05-18.
- SOBHANI, G. (1975). *A review of selected small watershed design methods for possible adoption to Iranian conditions*. M.S. Thesis, Utah State University. Logan, UT.
- TECHINAL RELEASE 55 (TR-55). (1986). *Urban Hydrology of Small Watersheds*. USDA, NRCS.
- TUCCI, C. E. M. (1997). Escoamento Superficial. In *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, Org. por Tucci, C. E. M. Editora da Universidade, Porto Alegre, pp. 391-441.
- VILLELA, S. M.; MATTOS A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. McGraw-Hill, São Paulo.