

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

EFEITOS DA TENDÊNCIA EM PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS NA REDE DE MACRODRENAGEM URBANA: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE TUBARÃO/SC

Daniele Feitoza Silva¹ ; Joel Avruch Goldenfum² & Fernando Dornelles³

RESUMO – No Brasil, as tendências de aumento nas precipitações, em volume e frequência, são verificadas para a região Sul, entre outras regiões, de forma pontual por questões de microclima. Consequência dessas mudanças é a amplificação dos alagamentos urbanos. Este trabalho busca identificar e avaliar possíveis tendências na ocorrência de precipitações máximas anuais, usuais para projetos de infraestrutura urbana, como a rede de drenagem pluvial. A metodologia foi aplicada no município de Tubarão, SC, onde alagamentos são frequentes. O uso de teste de hipótese identificou tendência positiva na série de máximas diárias anuais, seguido da sua quantificação. A aplicação da tendência (0,4 mm ao ano) ao longo de diversos horizontes do tempo permitiu quantificar os efeitos na capacidade de escoamento da rede de drenagem para o mesmo risco de projeto, caso essa tendência seja mantida nos próximos 50 anos. Esse valor, ao ser utilizado na atualização das chuvas de projeto, indicou uma pequena influência na redução de capacidade da rede de drenagem, em termos de volume de escoamento e sobrecarga nos condutos, provavelmente devido à sua magnitude. Independente da tendência calculada, a análise atual da rede apresentou sobrecarga em diversos pontos, indicando deficiência da rede para a chuva de projeto adotada.

ABSTRACT – In Brazil, an increase of precipitation trends is observed in South and in other regions, in which which trends are due to microclimate issues. In fact, if the increase occurs, urban floods are expected to be intensified. This study aims to identify and evaluate the effects of trends in the annual maximum precipitation, usually used to urban drainage design. The methodology was applied to Tubarão city, SC, where floods are frequent. A hypothesis test was used to identify positive trends in the maximum annual serie, so it was reasonable to calculate the trend. Next, we apply the trend (0,4 mm/year) for quantify the effects of the performance of drainage network, in case it was preserved in the next 50 years, for the same design risk. The trend reproduces a small effect into the network in terms of volume and conduit surcharge, probably because of the magnitude of the trend. The analysis show surcharge in lots of points of the network, which indicate a system failure regardless the trend.

Palavras-Chave – tendências em precipitação, precipitações intensas, drenagem urbana.

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

2) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – IPH/UFRGS. Professor Titular. E-mail: joel@iph.ufrgs.br

3) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – IPH/UFRGS. Professor Adjunto. E-mail: fernando.dornelles@ufrgs.br

INTRODUÇÃO

Mudanças nos padrões de precipitações extremas têm sido observadas em diferentes partes do mundo, frequentemente associadas à variabilidade e mudança climática (IPCC, 2014). Entender o comportamento e possíveis impactos dessas mudanças são importantes para o planejamento e tomadas de decisão.

Em análises de dados temporais tendências são apresentadas quando a série exibe certa inclinação, de acréscimo ou decréscimo, e podem ser percebidas facilmente a partir da visualização da série. A probabilidade de detectar tendências em uma série temporal depende da sua magnitude, comprimento da série, e período de tempo analisado e propriedades estatísticas da variável de interesse, em particular a variância (KLEIN TANK E KONNEN, 2003), de modo que sua significância envolve o uso de testes de estacionariedade, como é o caso do Teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1970).

Para dados de precipitação e/ou precipitações extremas, tendências são comumente procuradas, de modo que a partir delas pode ser possível inferir sobre um comportamento futuro. Min et al. (2011), utilizando dados de todo o globo, observou aumento na tendência de precipitações máximas diárias em aproximadamente 65% da superfície terrestre, apesar de considerável variação regional (ZHANG *et al.*, 2006). Recentemente, tais tendências têm sido utilizadas na sugestão de estratégias de adaptação à mudança climática (ASFAY *et al.*, 2018).

No contexto de variabilidade e mudanças climáticas, análises de tendências de precipitações extremas, como a máxima anual, por exemplo, podem ser úteis na quantificação dos possíveis impactos nos elementos de infraestrutura urbana, como é o caso da rede de drenagem urbana. Quando a tendência é positiva, isso implica no aumento da precipitação e conseqüente volume escoado. Uma vez que a rede de drenagem é dimensionada para condições climáticas anteriores, é provável que o incremento do escoamento estimule a formação de alagamentos, dada a incapacidade dos condutos em suportar fluxos superiores aqueles para os quais foram dimensionados. Ainda, a combinação das mudanças de cobertura do solo com a da precipitação pode causar problemas de maior magnitude e, portanto, justifica tal avaliação.

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar as estimativas de tendências de precipitações máximas anuais e seus impactos na rede de drenagem urbana no cenário de manutenção de uso do solo atual, no intuito de avaliar isoladamente o potencial da tendência de alteração do padrão de precipitações. Para tal, utilizou-se como área de estudo a rede de macrodrenagem do município de Tubarão, SC. O município de Tubarão está localizado em uma região extremamente plana da bacia hidrográfica do rio Tubarão, cuja baixa declividade dificulta o escoamento das águas pluviais. Além disso, trata-se de um município costeiro e, por isso, as águas dos rios e canais são fortemente

influenciadas pelo remanso de marés, resultando em redução da capacidade de escoamento da rede pluvial (CAMPOS *et al.*, 2018).

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho está organizada em quatro itens: (i) definição da área de estudo; (ii) análise da tendência de precipitações máximas; (iii) modelagem hidrológica; e (iv) análise dos impactos de tendência no desempenho da rede de drenagem.

Área de estudo

O município de Tubarão está localizado na região Sul do Estado de Santa Catarina, inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão. O município possui uma área de 301.755 km² e população de 97.235 habitantes (IBGE, 2010).

A área de estudo adotada neste trabalho compreende a rede de macrodrenagem do município de Tubarão/SC, compreendida por 30 sub-bacias urbanas (Figura 1). Na figura destacam-se as sub-bacias S04 e S13, utilizadas para uma análise mais detalhada.

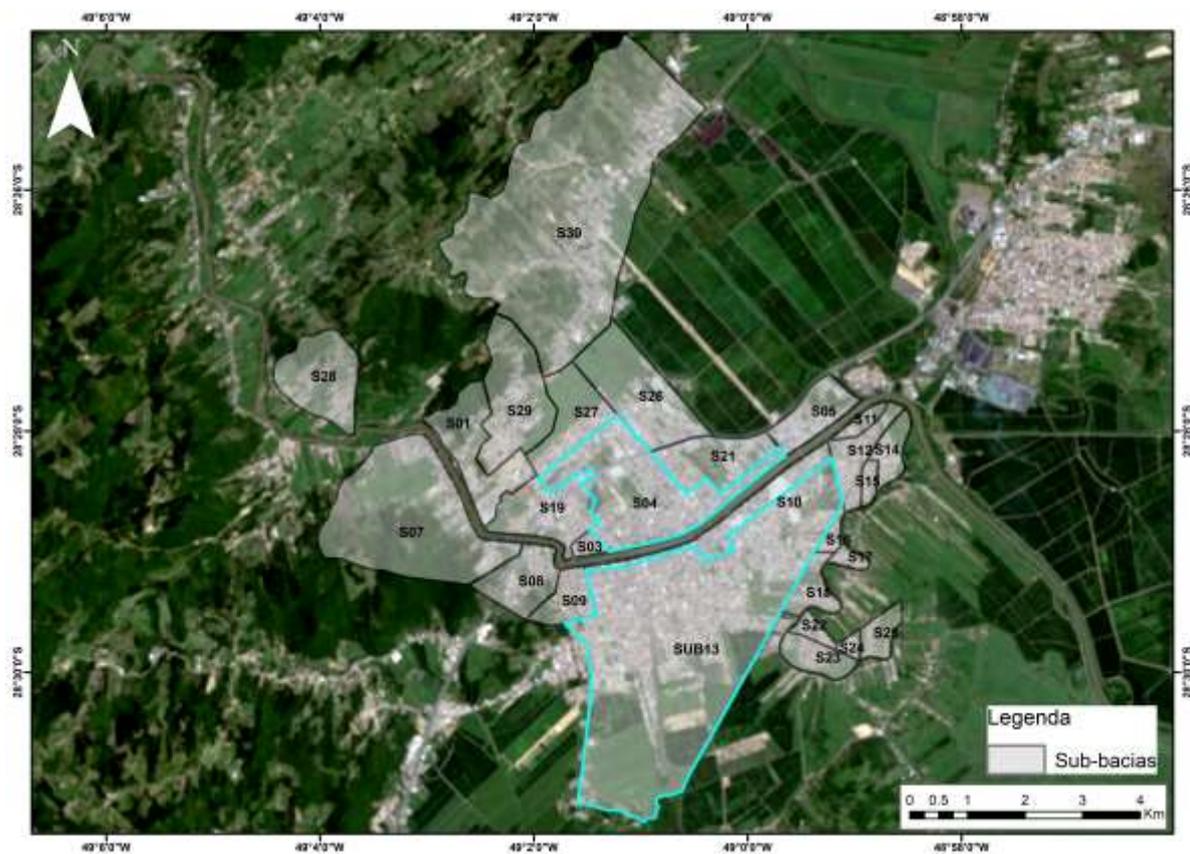


Figura 1 – Sub-bacias urbanas de macrodrenagem do município de Tubarão, SC

Análise de tendência de precipitações máximas

Nesta etapa, realizou-se análise de tendência das precipitações máximas anuais a partir dos dados de um posto pluviométrico representativo para a região. Recentemente, a CPRM realizou a produção de uma nova IDF (intensidade-duração-frequência) para o município, através do projeto

“Atlas Pluviométrico” (CPRM, 2016). A IDF foi produzida com base nas precipitações máximas diárias da estação pluviométrica Rio do Pouso, (código 02849000), de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), e desagregação para precipitações de duração sub-diária. A estação pluviométrica Rio do Pouso está localizada dentro dos limites municipais de Tubarão, e se encontra em atividade desde 1939 até os dias atuais (total de 80 anos), sendo operada pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). A IDF da CPRM (2016) admite uma série de 64 anos sem falhas (de 1946 a 2015), na qual foi realizado teste de hipótese para detecção de tendência. Além dessa série, considerou-se a série estendida até o ano de 2017, totalizando 66 anos.

A detecção da tendência foi avaliada com base no teste de hipótese de Mann-Kendall, comumente utilizado para essa finalidade (MANN, 1940; KENDALL, 1975). A magnitude da tendência foi calculada a partir da declividade da linha de ajuste aos dados. Para isso, utilizou-se o Método dos Mínimos Quadrados, conforme citado em Hartmann *et al.* (2013).

Modelagem hidrológica

As simulações foram realizadas com o modelo hidrológico *SWMM (Stormwater Management Model) 5.1*, de acordo com as características especificadas em Campos *et al.* (2018). A modelagem foi realizada com base na rede de macrodrenagem existente. Parâmetros como área, perímetro e declividade foram obtidos por ferramentas de geoprocessamento. O parâmetro CN, para cálculo da infiltração, foi estimado por ponderação das áreas permeáveis. A largura equivalente das sub-bacias foi estimada com base no Método do Retângulo Equivalente (VILLELA E MATTOS, 1975), com base na área e perímetro. Informações sobre a rede, como condutos e nós, foram obtidas junto à prefeitura do município. Os condutos compreendem valas, galerias, travessias e tubulações de diâmetro superior a 800 mm, e os nós representam os poços de visita ou pontos de controle, cujas cotas foram obtidas a partir do MNT (Modelo Numérico do Terreno), de resolução de 1 metro, disponibilizado pelo Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC) (CAMPOS *et al.*, 2018). Demais parâmetros como altura do armazenamento em depressões e coeficiente de Manning das superfícies e condutos foram definidos de acordo com a faixa de valores sugeridas em Rossman (2015).

Tabela 1 - Número total de elementos presentes na modelagem da rede de macrodrenagem do município de Tubarão

Elementos do modelo	Número Total
Sub-bacias	27
Condutos	486
Nós	482
Exutórios	49

Cenários de análise de impactos

Para todos os cenários assumidos, utilizou-se a série de máximas anuais diárias, disponíveis em CPRM (2016), acrescentados os anos de 2016 e 2017, obtidos junto à ANA por meio do portal *Hidroweb*. A série foi ajustada para a distribuição de probabilidade de Gumbel, com parâmetros estimados pelo método dos Momentos-L. Estimou-se a precipitação máxima diária para tempo de retorno de 10 anos.

Uma vez que os dados são diários, utilizou-se a desagregação dos quantis diários em outras durações estabelecidas por Weschenfelder *et al.* (2013) para o município de Urussanga/SC (CPRM, 2016), distante alguns quilômetros do município de Tubarão (Tabela 2). A partir dos valores da Tabela 2 foi possível estabelecer uma relação entre a chuva de diária e qualquer duração inferior, permitindo estimar a magnitude da tendência da precipitação diária para durações iguais ou inferiores a 24 horas.

Tabela 2 – Relações entre durações para o município de Urussanga, SC. Fonte: Weschenfelder *et al.* (2013) apud CPRM (2016)

24h/ 1 dia	14h/ 24h	8h/ 24h	4h/ 24h	3h/ 24h	2h/ 24h	1h/ 24h	45min/ 1h	30min/ 1h	15min/ 1h	10min/ 1h	5min/ 1h
1,13	0,86	0,73	0,59	0,53	0,49	0,42	0,93	0,82	0,53	0,37	0,22

Uma vez que a tendência calculada remete a precipitações máximas anuais diárias, para os cenários com tendência assumida, novas séries foram estimadas a cada 10 anos de horizonte. De modo a promover análise de impactos, alguns cenários de avaliação foram considerados. Todos os cenários admitidos se aplicam à rede de macrodrenagem existente, com precipitação de projeto de TR igual a 10 anos. O que difere os cenários é a aplicação e magnitude da tendência, de acordo com o horizonte de projeto. São eles: (i) Cenário 1 – chuva de projeto atual; (ii) Cenário 2 – com tendência a um horizonte de 10 anos; (iii) Cenário 3 – com tendência a um horizonte de 20 anos; (iv) Cenário 4 – com tendência a um horizonte de 30 anos; (v) Cenário 5 – com tendência a um horizonte de 40 anos; e (vi) Cenário 6 – com tendência a um horizonte de 50 anos.

Além dos impactos gerais provocados pelo aumento da precipitação, algumas considerações foram realizadas em duas sub-bacias urbanas, dada a importância para a segurança e bem-estar social.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos neste estudo, acrescidos de comentários e discussões quanto à presença de tendências e potenciais impactos na produção de escoamento e capacidade de escoamento da rede de drenagem do município.

Detecção e magnitude de tendência

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos quanto à detecção e magnitude de tendência. Inicialmente, o teste foi realizado para a série de máximas precipitações diárias anuais com a qual a IDF da CPRM (2016) fora produzida (1946-2015). Uma vez que a tendência detectada não apresentou significância ao nível de 95%, o teste foi reaplicado para a série ampliada de 1946 a 2017 a fim de verificar se as precipitações nestes dois anos a mais indicam comportamento tendencioso.

Os resultados obtidos nesta etapa evidenciam tendência de aumento nas precipitações máximas diárias anuais de, aproximadamente, 4,1 mm a cada 10 anos. Existe uma gama de possibilidades para justificar esse aumento, como (i) extensão da série utilizada; (ii) mudança do clima em escala global; (iii) variabilidade do clima, responsável por El Niño ou outros índices climáticos; e (iv) região costeira onde a área de estudo se encontra. Neste trabalho, apenas a extensão da série foi considerada para análise.

A Figura 2 apresenta a série histórica utilizada com a respectiva linha de regressão, permitindo a percepção visual de tendência positiva aos dados. O valor de tendência calculado permitiu analisar o desempenho da rede de macrodrenagem do município frente o aumento das precipitações intensas. A tendência calculada, quando estimada para os próximos 50 anos (até 2067), permitiu identificar um aumento na chuva de projeto relativamente baixo. Ao ajustar a série contendo 66 dados, obteve-se uma precipitação de projeto de 137,4 mm em 2017. Para 2027, 138,1 mm; 2037, 139,2 mm; 2047, 140,8 mm; 2057, 142,7 mm; e 2067, 144,9 mm, totalizando um aumento máximo de 7,5 mm entre a chuva atual e a extrapolada.

Tabela 3 – Tendência observada nas séries de máximas diárias anuais para o posto Rio do Pouso

Período	N (anos)	P valor*	Tendência
1946-2015	64	0,0509	0,4159
1946-2017	66	0,0374**	0,4064

*estatística para o nível de significância de 5%

**valor com significância

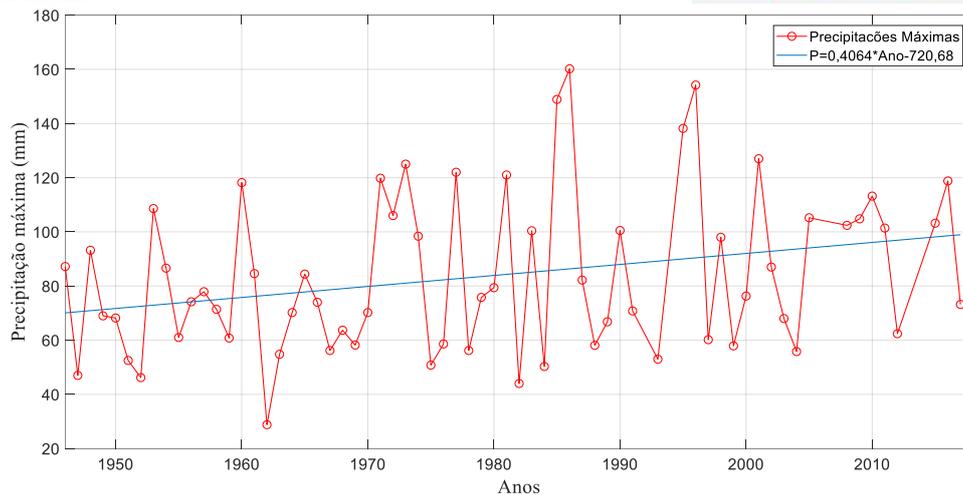


Figura 2 – Série de precipitações máximas diárias anuais e linha de regressão correspondente, estação Rio do Pouso, 1946-2017

Análise do impacto da tendência na rede de macrodrenagem

A Tabela 4 apresenta os impactos dessa tendência ao longo de diversos horizontes de projeto, em termos de número de nós inundados e condutos em sobrecarga, em relação ao total.

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que, mesmo para um cenário sem tendências a rede de macrodrenagem não apresenta desempenho satisfatório frente a eventos de projeto de tempo de retorno de 10 anos, dado que quase 100% da rede é inundada ou entra em carga já no Cenário 1. Além das questões hidráulicas de projeto, devem ser ressaltados possíveis fatores externos, como obstrução de tubulações e ligações clandestinas, desconsiderados na modelagem. De qualquer forma, as tendências as quais a chuva de projeto fora submetida não expressou diferenças significativas do ponto de vista do número de conexões prejudicadas.

Tabela 4 – Análise de impacto do aumento da precipitação na rede de macrodrenagem de Tubarão

Impactos	Cenário					
	1	2	3	4	5	6
Nós inundados	407	407	409	410	410	412
Condutos em sobrecarga	431	431	431	433	433	433

Para as sub-bacias avaliadas com mais detalhamento, optou-se pela (i) S04, por apresentar alta vulnerabilidade à alagamentos devido a sua topografia extremamente plana; (ii) S13, onde se observa grande aglomerado urbano. Os resultados produzidos podem ser verificados na Tabela 5 e Figura 3.

Tabela 5 – Porcentagem de aumento nas características do escoamento da sub-bacia S04 e S13 em comparação ao Cenário 1, atual

Características do escoamento	SUB04					SUB13				
	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
Volume de escoamento (%)	+0,6	+1,5	+2,8	+4,3	+6,1	+0,6	+1,5	+2,8	+4,4	+6,2
Tempo médio de sobrecarga nos condutos (%)	+0,8	+2,2	+3,9	+6,1	+8,5	+0,6	+1,6	+3,0	+4,7	+6,5

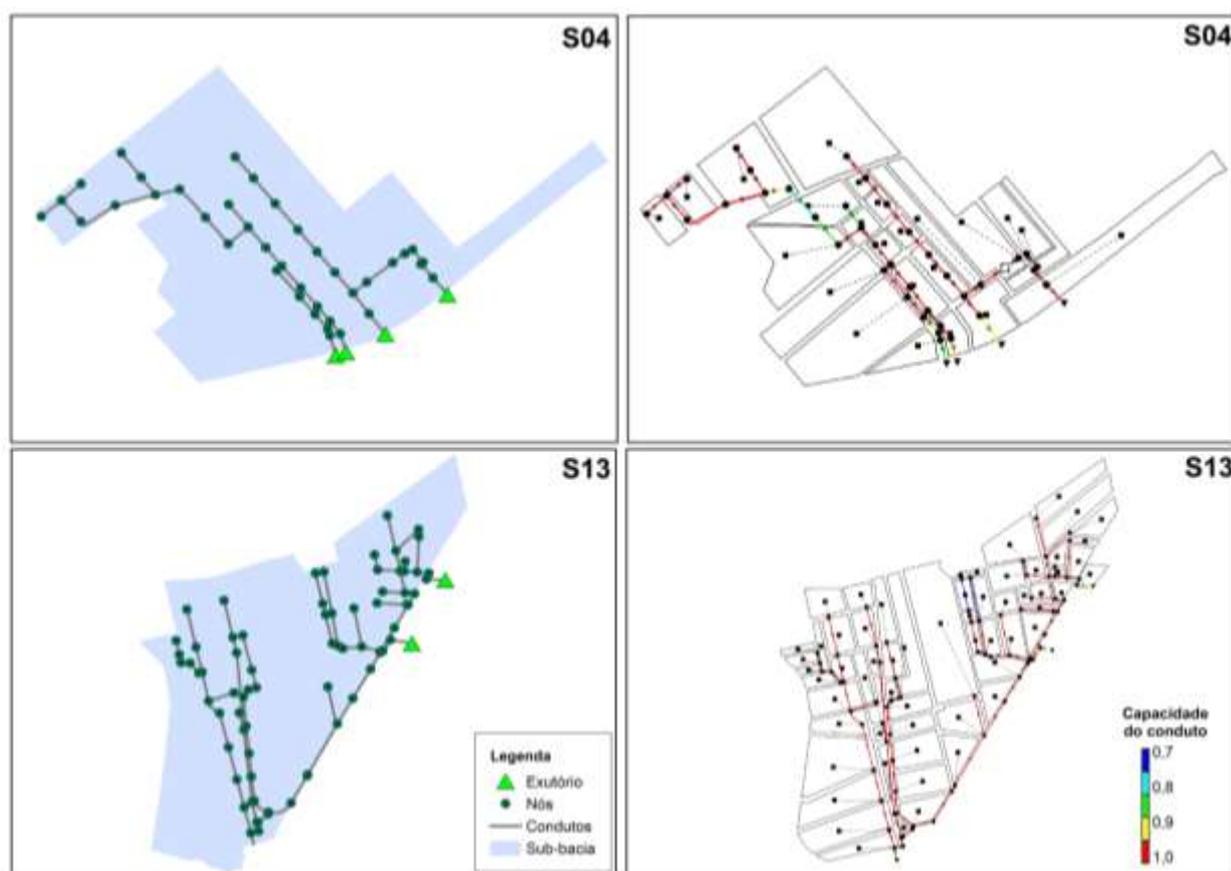


Figura 3 – Resultados para o cenário 6 aplicado à rede de macrodrenagem das sub-bacias S04 e S13

Na SUB04, a admissão da tendência não causou grandes problemas à rede de macrodrenagem. No geral, não houve aumento no número de condutos ou nós em sobrecarga. De acordo com a Tabela 5, percebe-se aumento no volume de escoamento gerado na bacia, embora em pequenas proporções. Percebe-se maior variação no tempo em que os condutos apresentam sobrecarga, de modo que, para o cenário 6, os efeitos se traduziriam em aumento médio de 8,5% no tempo de sobrecarga. Isso ocorre dada a topografia plana da sub-bacia e baixa declividade para escoamento, promovendo a formação de alagamentos. Na SUB13, o aumento na precipitação provocou aumento no volume de escoamento, para todos os cenários. O tempo médio de sobrecarga dos condutos apresentou incremento semelhante, não se mostrando considerável dado o horizonte de tempo admitido. Entretanto, em

condutos em condições mais críticas, observou-se aumento de até 42 minutos, alto em se tratando de alagamentos. Na Figura 3, condutos em vermelho são identificados como em sobrecarga.

Os resultados aqui reportados demonstram a necessidade de maior atenção à produção de escoamento para as áreas planas, bem como dos padrões climatológicos, em especial à precipitação; enfatizando a necessidade de controle do escoamento, seja ele estimulado pela impermeabilização ou pelo aumento da precipitação. Para ambos os casos, uma maneira de controlar o escoamento produzido é a promoção de áreas permeáveis e técnicas de infiltração.

CONCLUSÕES

A detecção de tendência em precipitações máximas é importante para alertar projetistas e gestores públicos quanto à abordagem a ser adotada frente a projetos de engenharia na área urbana. Para a drenagem, tendências positivas produzem efeitos negativos, pois tendem a incrementar o escoamento gerado nas superfícies impermeáveis.

Neste trabalho, foi detectada tendência positiva na série de precipitações máximas anuais diárias para o posto pluviométrico representativo ao município de Tubarão. Isso significa que as precipitações máximas diárias anuais tendem a aumentar, apresentando-se como nova pressão ao sistema de drenagem urbana e, conseqüentemente, com potencial a alterar o desempenho da rede. Para o estudo apresentado, a magnitude da tendência detectada não apresentou grandes efeitos na rede em termos de condutos sobrecarregados e nós inundados, segundo as simulações realizadas.

Em análises à duas sub-bacias, escolhidas pelas peculiaridades apresentadas durante a modelagem, observou-se que os efeitos do aumento da precipitação são mais expressivos em bacias de topografia plana, provocando alagamento em áreas por mais tempo. Em bacias altamente impermeabilizadas, por sua vez, os efeitos do aumento das precipitações intensas tendem a ser menos expressivos, principalmente em volume escoado.

Apesar dos resultados diminutos apresentados, entende-se como importante a investigação de tendências em precipitações intensas, de modo a agregar informações necessárias às tomadas de decisão na concepção da infraestrutura urbana e sua administração. Por outro lado, enfatiza-se que a metodologia adotada de extrapolação da tendência é bastante sensível, destacando-se como apenas metodologia exploratória, ainda mais em se tratando de variáveis climatológicas, de caráter aleatório.

AGRADECIMENTOS

Os autores desse trabalho agradecem a equipe técnica do IPH/UFRGS por disponibilizar a modelagem da rede de macrodrenagem, e a Prefeitura de Tubarão pela disponibilidade de informações que corroboraram a modelagem da rede. Este trabalho recebeu apoio financeiro parcial da Capes-Brasil, além de corroborar apoio financeiro ao autor principal deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ASFAW, A.; SIMANE, B.; HASSEN, A.; BANTIDER, A. (2018). “*Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Etiopia: a case study in Woleka sub-basin*”. *Weather and Climate Extremes*, v. 19, pp. 29-41.
- CAMPOS, J. A.; SILVA, D. F.; GOLDENFUM, J. A.; DORNELLES, F. (2018). “*Reservatórios de retenção como medida de controle na macrodrenagem: estudo de caso do município de Tubarão/SC*” in *Anais do XII Encontro Nacional de Águas Urbanas*, Maceió, Nov. 2018, pp. 1-10.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. (2016). “*Atlas Pluviométrico do Brasil, Equações Intensidade-Duração-Frequência, Município Tubarão, Estação Pluviométrica Rio do Pouso, Código 02849000*”. Cardoso, A. T.; Pickbrenner, K. e Pinto, E. J. A. – Goiânia: CPRM, 2016.
- HARTMANN, D. L.; KLEIN TANK, A.M. G.; RUSTIRUCCI, M; ALEXANDER, L. V.; BRÖNNIMANN, S.; CHARABI, Y.; DENTENER, F. J.; DLUGOKENCKY, E. J.; EASTERLING, D. R.; KAPLAN, A.; SODEN, B. J.; THORNE, P. W.; WILD, M.; ZHAI, P. M. (2013). “*Observations: atmosphere and surface. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis*”. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 96f.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). “*Cidades*”. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=421870&search=santacatarina|tubarao|infograficos:-informacoes-completas>.
- IPCC. (2014). “*Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*”. [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- KENDALL, M. G. (1970). *Rank correlation methods*. Griffin: Oxford, England. 4th edition.
- KLEIN TANK, A. M. G.; KONNEN, G. P. (2003). “*Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99*”. *Journal of Climate*, pp. 3665 – 3680.
- MANN, H. B. (1945). “*Nonparametric tests against trends*”. *Econometrica*, v. 13, n. 3, pp. 245-259.
- MIN, S. K.; ZHANG, F.; ZWIERS, F. W.; HEGERL, G. C. (2011). “*Human contribution to more-intense precipitation extremes*”. *Nature*, v. 470, pp. 378-391.
- ROSSMAN, L. A. (2015). *Storm Water Management Model User’s Manual, Version 5.1*. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U. S. Environmental Protection Agency, 353p.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.
- ZHANG, X.; ZWIERS, F. W.; SCOTT, P.A. (2006). “*Multimodel multisignal climate change detection at regional scale*”. *Journal of Climate*, v. 19, pp. 4294-4307.