

XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

EXPANSÃO DO PERÍMETRO URBANO E ALTERAÇÕES NOS PARÂMETROS HIDROLÓGICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAMBORIÚ EM SANTA CATARINA

Daniel Augusto da Silva¹; Marcel Jefferson Gonçalves¹; Adilson Pinheiro¹

RESUMO – a modelagem hidrológica permite avaliar as consequências de diferentes cenários de uso e ocupação do solo sobre a bacia hidrográfica. Dentre as ações humanas envolvidas na urbanização, a impermeabilização do solo é uma das que causa maior impacto na vazão de rios. Neste trabalho objetivou-se avaliar o impacto de dois cenários de urbanização sobre a vazão do Rio Camboriú, na cidade de Camboriú. Os cenários de urbanização e impermeabilização atual e futuros foram determinados visualmente a partir de imagens Google Maps e a modelagem hidrológica foi realizada com o modelo IPH 2. Após calibrado com os dados atuais de impermeabilização, foram realizadas simulações com os valores futuros de impermeabilização para verificar as alterações nas vazões máximas, mínimas e médias. Os cenários preveem crescimento linear na área urbana da Bacia, porém pouco expressivos em relação ao tamanho total da Bacia. O modelo IPH 2 apresentou Coeficiente de Nash adequado, mas não conseguiu capturar as variações máximas e mínimas de vazão. Os cenários propostos não causaram alteração nos parâmetros hidrológicos da Bacia de acordo com os dados estudados.

ABSTRACT – the hydrological modeling allows to evaluate the effects of different scenarios of soil use and occupation on the watershed. Between the human actions, the soil waterproofing is one of the most impactful on the river flow rate. In this study we aim to evaluate the urbanization and soil waterproofing scenario's impacts on the flow rate of Camboriú River, in the city of Camboriú. The current and future urbanization and soil waterproofing scenarios were visually determined using Google Maps imagery and the hydrological modeling was done with IPH 2 model. After calibration with current data of soil waterproofing, we run simulations with the future values of waterproofing to verify the changes in the river maximum, minimum and average flow rate. The scenarios predict a linear growth in the urban area of the watershed, however little expressive in relation to the total area of the watershed. The IPH 2 model had an adequate Nash coefficient, but failed to capture the maximum and minimum flow rate variation. The proposed scenarios did not change the watershed hydrological parameters according to the study.

Palavras-chave: iph2, impermeabilização do solo, cenários

¹) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – FURB, Rua São Paulo, 3250, Itoupava Seca, Blumenau – SC, (47) 3221-6077.
marceljgoncalves@hotmail.com; daniel.florestal@live.com; pinheiro@furb.br

INTRODUÇÃO

Atualmente muitos pesquisadores têm abordado estudos hidrológicos em bacias hidrográficas para avaliar o desordenado avanço da urbanização sobre o meio natural. Os cursos d'água inseridos nestas áreas urbanas encontram-se afetados fortemente por essa urbanização, principalmente nas questões de qualidade da água, regime dos sedimentos e vazões (REZENDE e ARAÚJO, 2015).

A urbanização traz várias consequências sobre o ciclo hidrológico da bacia hidrográfica, dentre os principais é possível destacar o aumento do escoamento médio e superficial e consequente aumento de enchentes, redução da evaporação e do escoamento subterrâneo, aumento da produção de sedimentos e material sólido, degradação da qualidade da água e contaminação de aquíferos (TUCCI, 1998). Esses efeitos têm como consequência um aumento na amplitude das vazões máxima e mínima (BENINI E MENDIONDO, 2015), ou seja, a bacia diminui sua capacidade de armazenar água da chuva e converte-a em vazão, aumentando o valor de vazão máxima em períodos de elevada precipitação e diminuindo o valor de vazão mínima em períodos de estiagem. Estas alterações aumentam o risco e frequência de alagamentos, deslizamentos e assoreamento dos rios (ROCHA, 2013).

A geração de cenários de uso e ocupação da terra através de ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permite simular a expansão do perímetro urbano e, com o uso de modelos hidrológicos, estimar as consequências em termos de vazão, cheias, sedimentação, etc. (COSTA, 2013). A previsão dos impactos ajuda na tomada de decisão sobre o ordenamento do uso da terra, definir níveis máximos de impermeabilização ou até mesmo cobrança de taxas por serviços públicos de drenagem (CEMIN E DUCATI, 2015).

Os modelos hidrológicos de precipitação-vazão constituem ferramentas até certo ponto simplificadas, porém importantíssimos para predição de alterações impostas dentro da bacia em estudo. A acuidade dos resultados modelados é dependente da estrutura do modelo e da rotina inclusa em seus algoritmos de cálculo. Além disso, a estimativa dos parâmetros do modelo tem extrema dependência da qualidade dos dados de entrada inseridos (COLLISCHONN e TUCCI, 2003).

Neste trabalho foi utilizado o modelo hidrológico IPH 2 para as estimativas de vazão nos diferentes níveis de urbanização. Este modelo se baseia em um algoritmo de separação de escoamentos entre os volumes que geram escoamento superficial e que se infiltram no subsolo (TUCCI, 1998). O modelo foi escolhido por apresentar um parâmetro de impermeabilização do

solo, que permite determinar um índice de área na qual o solo é impermeável e, portanto, toda precipitação gera escoamento superficial.

Considerando que o crescimento urbano causará aumento da impermeabilização do solo e conseqüentemente modificação das características da bacia hidrográfica, este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações nos parâmetros hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú em função de cenários de expansão urbana e conseqüente impermeabilização do solo no limite oeste da cidade de Camboriú, SC.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo compreende parte da Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú (BHRC) a montante da Estação de Medição EMASA, totalizando 139,42 km² (Figura 1). No total a BHRC ocupa uma área de 195 km² e abrange os municípios de Camboriú e Balneário Camboriú. Os solos predominantes na BHRC são cambissolos, argissolos e gleissolos (BLAINSKI et al., 2017). Segundo a classificação de Köppen o clima local é Cfa – subtropical mesotérmico úmido com verão quente e inverno ameno sem estação seca (ALVARES et al., 2013). A precipitação pluviométrica anual varia entre 1430 mm e 1908 mm e concentram-se principalmente nos meses de verão (BLAINSKI et al., 2017). As medições de vazão e precipitação foram realizadas a cada hora entre 19/06/2014 e 31/12/2016 e os valores de evapotranspiração calculados em intervalos diários. Para a calibração do modelo utilizaram-se valores diários (média da vazão e somatório da precipitação) em um período de 360 dias entre 20/06/2014 a 28/07/2015. Deste período foram excluídos 38 dias devido à falha na obtenção dos dados de precipitação ou de vazão.

Atualmente a área de estudo apresenta 66,94% de cobertura florestal nativa, 22,62% de pastagens ou cobertura herbácea, 7,11% de agricultura, 1,77% de reflorestamentos e 1,56% de área urbana. A vegetação nativa local é a Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 2012) em diferentes estágios de regeneração e no local se concentra principalmente nas encostas e topos de morro. A atividade agrícola predominante é o cultivo de arroz nas áreas planas e próximas aos cursos d'água e pecuária bovina nas demais áreas. O perímetro urbano sobre a área de estudo se caracteriza por ocupação de moderada densidade constituída majoritariamente por residências individuais e coletivas.

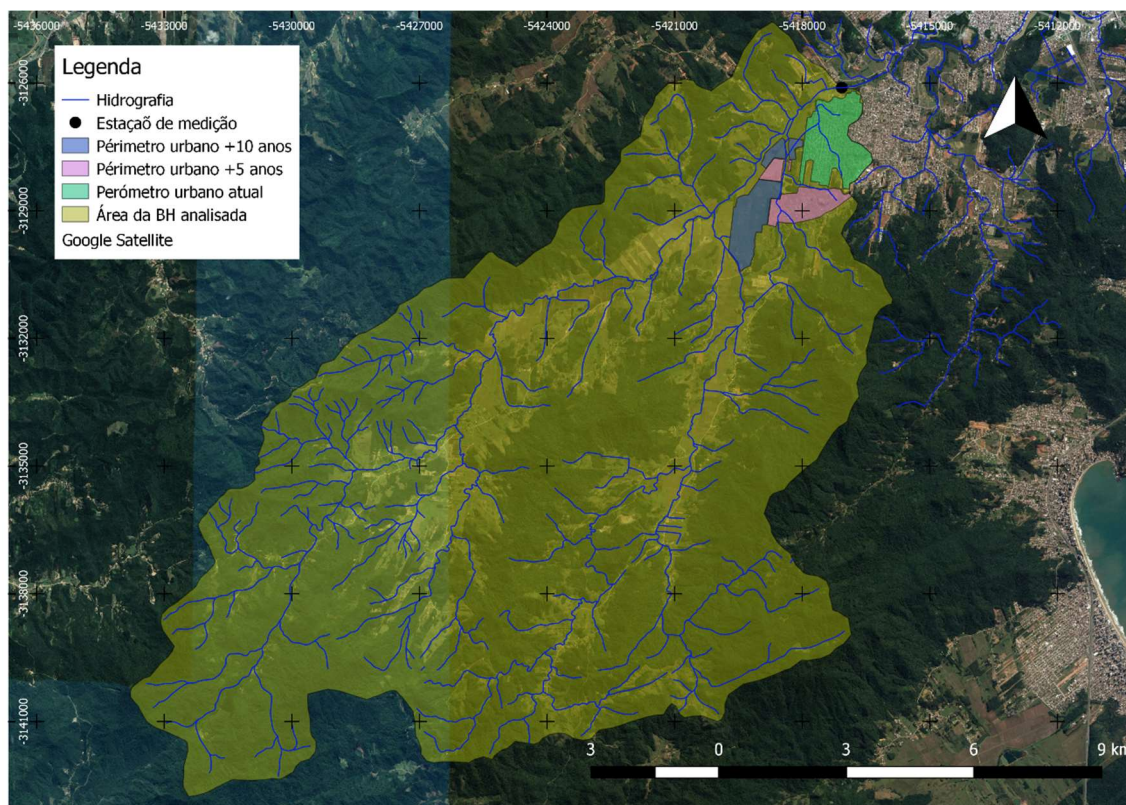


Figura 1 – delimitação da área de estudos na BHRC até estação de medição no Município de Camboriú, SC

A determinação do perímetro urbano foi realizada visualmente utilizando o software QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2017) e imagens obtidas através do *Google Maps* (GOOGLE MAPS, 2018). O perímetro urbano atual foi delimitado pela área com ocupação humana estabelecida, ou seja, com densidade alta de residências e demais infraestruturas; para o cenário hipotético +5 anos o perímetro urbano foi delimitado por áreas loteadas, ou seja, com ruas estabelecidas porém sem construção de residências, acrescido do perímetro urbano atual; para o cenário hipotético +10 anos o perímetro urbano foi delimitado por áreas adjacentes com potencial para urbanização, ou seja, planas, sem vegetação nativa e próximas à mancha urbana, acrescido dos perímetros urbanos atual e +5 (Figura 2). Os valores de área dos cenários podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 – resumo de áreas total e percentual urbanizadas nos três cenários testados na Bacia Hidrográfica do Rio Camboriú, em Camboriú, SC

| Cenário | Área (ha) | Área (%) |
|---------------------------|-----------------|----------------|
| Atual | 217,14 | 1,56% |
| +5 | 337,01 | 2,42% |
| +10 | 487,23 | 3,49% |
| Área total da BHRC | 13942,35 | 100,00% |

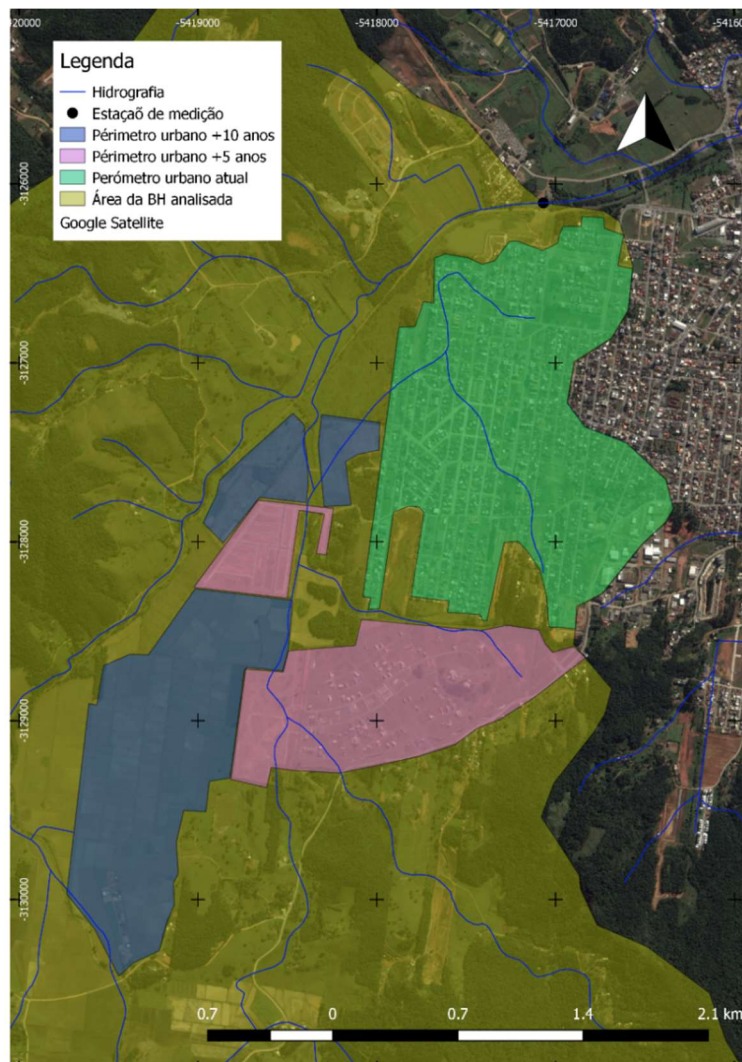


Figura 2 – determinação dos perímetros urbano atual e nos cenários de expansão urbana no Município de Camboriú, SC

Modelagem hidrológica

Para avaliar a interferência dos diferentes cenários de impermeabilização do solo no comportamento da BHRC foi utilizado o modelo hidrológico IPH 2, com o programa WIN_IPH2 (IPH, 2006). Este modelo já foi amplamente divulgado e utilizado, tendo como base fundamental algoritmos para separação de escoamento compostos pela seguinte divisão:

- i) Perdas por evaporação e interceptação,
- ii) Separação do escoamento,
- iii) Propagação do escoamento superficial e subterrâneo.

A calibração manual do modelo foi realizada utilizando os dados do cenário atual de urbanização. Para a calibração do modelo foram fornecidos os dados de entrada: vazão, precipitação

e evapotranspiração (medidos), área da bacia, coeficiente de forma, tempo de concentração e condições iniciais; além dos seguintes parâmetros (TUCCI, 1998):

I_o: capacidade inicial de infiltração do solo;

I_b: capacidade de infiltração do solo saturado;

h: parâmetro que caracteriza o decaimento da curva exponencial de infiltração e depende das características do solo;

K_s: tempo médio de esvaziamento do reservatório;

K_{sub}: tempo de escoamento subterrâneo;

R_{max}: capacidade máxima de retenção da precipitação;

Alfa: relacionado com a percentagem de precipitação que esco superficialmente.

Após a calibração do modelo com os dados do cenário atual realizaram-se simulações com os valores de impermeabilização atual e dos cenários +5 e +10. As alterações nas características hidrológicas da BHRC em função da impermeabilização do solo foram determinadas através das mudanças nos valores de vazão máxima e mínima e seu tempo de permanência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A BHRC encontra-se em grande parte sobre área de floresta nativa e de ocupação rural, apenas em seu terço final que há ocupação urbana dos municípios de Camboriú e Balneário Camboriú. A área estudada compreende os dois terços superiores da BHRC, aonde se encontram as principais áreas para expansão do perímetro urbano do município de Camboriú. Os cenários desenvolvidos nesse estudo preveem um crescimento aproximadamente linear em áreas adjacentes a mancha urbana atual. Apesar de relativamente pequenas, essas áreas se encontram próximas ao curso d'água principal e podem gerar consequências mais acentuadas ao regime de vazão do rio (SANTOS et al., 2016).

Os dados de entrada relativos a bacia em estudo e utilizados para alimentar o programa IPH 2 estão descritos na Tabela 2. Os parâmetros obtidos durante o processo de calibração manual do modelo estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 2 – Dados gerais de entrada para o modelo IPH 2 empregados na BHRC

| Variável | Valor |
|--|--------|
| Intervalo de tempo (min) | 1440.0 |
| Número de registros | 360.0 |
| Área da bacia (m ²) | 139.42 |
| Área impermeável (%) | 1.56 |
| Coeficiente de forma do HTA | 1.5 |
| Tempo de concentração (unidade de tempo) | 1.0 |
| Percolação (m ³ /s) | 10.0 |
| Vazão subterrânea (m ³ /s) | 6.0 |
| Vazão superficial (m ³ /s) | 0.1 |

Tabela 3 - Parâmetros obtidos na calibração manual do modelo IPH 2 empregados na BHRC

| Parâmetro | Valor | Descrição |
|------------------|-------|--|
| I _o | 20.0 | capacidade inicial de infiltração do solo |
| I _b | 14.0 | capacidade de infiltração do solo saturado |
| h | 0.01 | decaimento da infiltração (depende do tipo de solo) |
| K _s | 10.0 | tempo médio de esvaziamento do reservatório |
| K _{sub} | 5.0 | tempo médio de escoamento subterrâneo |
| R _{max} | 2.0 | capacidade máxima de retenção da precipitação |
| Alfa | 0.9 | relacionado a precipitação que esco superficialmente |

O modelo IPH 2 não conseguiu capturar de forma adequada a variação da vazão do Rio Camboriú em função da precipitação no período de tempo estudado (Figura 3). Principalmente os picos de vazão calculados ficaram muito abaixo dos picos observados e períodos de vazões normais a baixas também ficaram sistematicamente abaixo dos valores reais. Observando a Figura 4 percebe-se como o modelo tende a subestimar os valores de vazão principalmente nos níveis iguais ou menores a 1 m³/s e acima de 7 m³/s. Ao analisar os dados de precipitação e vazão constatou-se que em diversos pontos tem-se aumento da vazão do rio sem qualquer valor de precipitação. Uma causa possível desse comportamento é a chuva no alto da Bacia, que não é capturada pela estação de medição. Esta “falha” nos dados de precipitação pode ter conduzido às subestimativas, pois conforme Collischonn e Tucci (2003) o modelo é bastante sensível a qualidade dos dados de entrada. Apesar disso, o Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) encontrado foi adequado (0,54), sugerindo que o modelo apresentava mérito na previsão da vazão média da bacia. Conforme Moriasi (2007), citado por Rocha (2014) o coeficiente NSE apresenta a seguinte classificação quanto aos seus valores: acima de 0,65 considera-se o modelo muito bom; de 0,65 a 0,54 é bom; e entre 0,54 e 0,5 o modelo apresenta resultado satisfatório para os dados simulados.

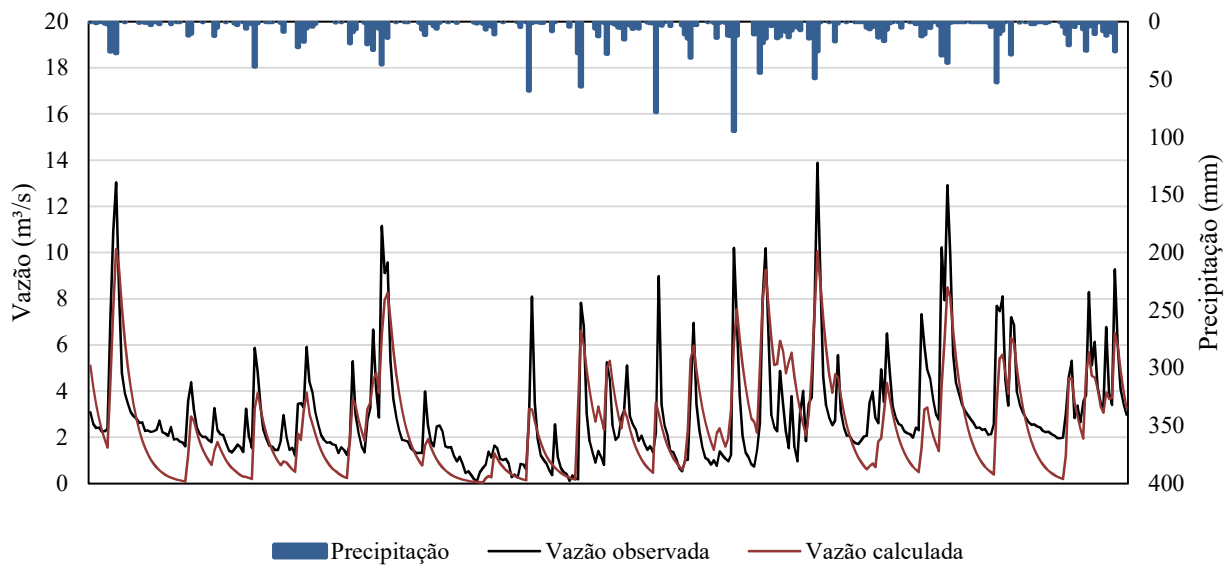


Figura 3 – Vazão e precipitação observados e vazão calculada a partir do modelo IPH 2 para a BHRC no Município de Camboriú, SC

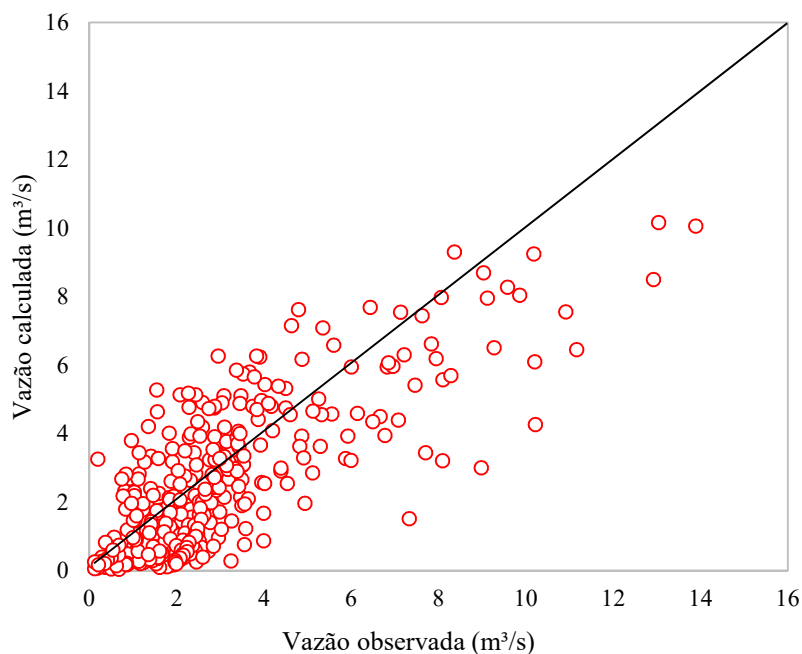


Figura 4 – Comparativo entre vazão observada e vazão calculada a partir do modelo IPH 2 para a BHRC no Município de Camboriú, SC

Os valores de vazão estimados para os dois cenários futuros não se diferenciaram dos valores calculados para o cenário atual (Tabela 4). Acreditamos que dois fatores têm grande influência nesse resultado, primeiro a reduzida capacidade do modelo de representar a realidade (pelos

motivos já apresentados), principalmente nos picos e nos mínimos e, segundo, o baixo percentual de área impermeabilizada nos dois cenários, fator acentuado pelo modelo ser concentrado.

Tabela 4 – Vazões mínima média e máxima atual e nos cenários +5 e +10 calculadas a partir do modelo IPH 2 para a BHRC no Município de Camboriú, SC

| Vazão (m ³ /s) | Cenário | | |
|---------------------------|---------|-------|-------|
| | Atual | +5 | +10 |
| Mínimo | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Médio | 2,57 | 2,57 | 2,57 |
| Máximo | 10,16 | 10,16 | 10,16 |

As principais consequências esperadas pela impermeabilização do solo eram o aumento do pico de vazão, diminuição do seu tempo de permanência e diminuição da vazão em períodos de estiagem (COSTA, 2013). Justamente os dois extremos nos quais o modelo não foi eficiente na previsão, o que pode ter tirado a “sensibilidade” do modelo para pequenas alterações na impermeabilização do solo. O modelo IPH 2 apresenta estrutura concentrada, ou seja, não há distribuição espacial dos parâmetros do modelo dentro da bacia hidrográfica, juntamente com isso há a pouca variação relativa na impermeabilização do solo, que também pode justificar a ausência de resposta do modelo. Um modelo espacializado poderia captar melhor as consequências da impermeabilização do solo próximos aos corpos d’água principais, como é o caso da área de estudo.

CONCLUSÕES

O perímetro urbano na BHRC tende a aumentar no limite oeste da Cidade de Camboriú, o que é evidenciado por loteamentos já instalados na região. O modelo IPH2 não foi capaz de captar toda a variação nos dados de vazão observados em campo, acreditamos que uma causa disso seja a discrepância entre os dados de precipitação observados e a precipitação real. Apesar disso o modelo apresentou NSE adequado e foi utilizado para a prever as alterações na vazão em função da impermeabilização do solo. O baixo nível relativo de impermeabilização do solo nos cenários atual e futuros não ocasionou alterações nos parâmetros hidrológicos da BHRC.

REFERENCIAS

ALVARES, C. A. et al. (2013). *Koppen’s climate classification map for Brazil*. Meteorologische Zeitschrift, 22(6), pp.711-728.

- BENINI, R. M.; MENDIONDO, E. M. (2015). *Urbanização e Impactos no Ciclo Hidrológico na Bacia do Mineirinho*. Floresta e Ambiente, 22(2), pp.211-222. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.103114>.
- BLAINSKI, É.; ACOSTA, E.; NOGUEIRA, P. C. P. (2017). *Calibração e validação do modelo SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense*. Ambiente e Agua, 12(2), pp.226-236. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1951>.
- CEMIN, G.; DUCATI, J. R. (2015). *Modelos estocásticos aplicados à avaliação dinâmica da paisagem florestal de remanescentes de mata atlântica no município de Caxias do Sul-RS*. Revista Árvore. 39(6), pp. 1019-1030.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. (2003). *Ajuste multiobjetivo dos parâmetros de um modelo hidrológico*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 8(3), p.27-39.
- COSTA, A. H. A. (2013). *Simulação dos impactos da urbanização sobre as inundações urbanas na Bacia Hidrográfica do Rio Cuiá (PB)*. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 88 p.
- GOOGLE MAPS. (2018). Disponível em: <https://www.google.com/maps/@-27.0423488,-48.676653,4830m/data=!3m1!1e3>. Acesso em: 04/06/2018.
- IBGE. (2012). *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 271 p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS – IPH. (2006). *Win_IPH2*. Porto Alegre. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/iph>
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. (2017). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>
- REZENDE, G. B. M.; ARAÚJO, S. M. S. (2015). *Análise da taxa de impermeabilização e tempo de concentração nas sub-bacias da área urbana de Barra do Garças – MT, Pontal do Araguaia – MT e Aragarças – GO*. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Pombal, 10(5), pp. 27-37.
- ROCHA, R. M. (2014). *Viabilidade de uso do modelo IPH2 como ferramenta de apoio a gestão hídrica da sub-bacia hidrográfica do rio Poxim-açu, Sergipe*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.
- ANTOS, C. L. et al. (2016). *Impactos da urbanização em bacias hidrográficas: o caso da Bacia do Rio Jaguaribe, cidade de João Pessoa/PB*. Regne, 2(1), pp.1024-1033.
- TUCCI, C. E. M. (1998). *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre: UFRGS, 669 p.