

XII ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS

EFEITOS DA URBANIZAÇÃO NA HIDROLOGIA DAS BACIAS URBANAS DA LAGOA DA PAMPULHA, BELO HORIZONTE, MG

Martin SEIDL¹; Bilel HADRICH¹; Guido PETRUCCI¹ & Luiz PALMIER², Nilo NASCIMENTO²

RESUMO – O artigo apresenta uma análise do comportamento de escoamento de quatro pequenas bacias hidrográficas em zonas urbanas, ligadas ao uso de solo, das cidades de Belo Horizonte e Contagem, em Minas Gerais. A partir de dois anos de medições on-line de dados hidrológicos e de qualidade básica da água, combinados com a análise espacial, foi possível comparar o escoamento de bacias hidrográficas com diferentes modos de uso de solo e grau de urbanização, corroborando com a hipótese, geralmente admitida, de que as urbanizações mais densas geram vazões maiores e mais rápidas, sendo acompanhadas por fluxos sólidos mais fortes. Essas observações contribuem para um melhor entendimento do impacto da urbanização sobre a bacia hidrográfica da Pampulha, e para a proposição de medidas compensatórias para as tendências atuais.

ABSTRACT– The paper presents an analysis of runoff behaviour of four, small urban catchments between the city of Belo Horizonte and Contagem in Brazil, linked to their land-use. Two year of on-line measurements of hydrological and basic water quality data, combined with spatial analysis, made it possible to compare urban catchment with different land use and urbanization and support the generally admitted hypothesis that more dense urbanization generate faster and bigger discharges, accompanied by stronger solid fluxes. These findings contribute to better understanding of the urbanization trends of Pampulha watershed and to predict measures of mitigation if actual trends go on.

Palavras-Chave – escoamento; uso de solo; bacias hidrográficas urbanas

CONTEXTO

O Brasil, como vários outros países em desenvolvimento, sofre com a rápida urbanização, acompanhada da impermeabilização e infra-estrutura deficiente. Cidades populosas com uma densa rede hidrográfica, como Belo Horizonte com, dois milhões e meio de habitantes, encontram, permanentemente, dificuldades ligadas ao manejo do clima úmido: enchentes, sedimentação, transbordamento de esgoto e poluição difusa - na maioria de seus rios urbanos (Aroeira et al. 2010; Aroeira, 2012).

A urbanização e o uso intensivo do solo podem ter impacto negativo no ciclo da água, e o melhor conhecimento dessa relação pode contribuir para uma gestão da água mais sustentável e

1) Laboratoire Eau Environnement Systèmes Urbains (LEESU) ENPC, Université Paris-Est, 6-8 Ave B. Pascal, 77455 Marne la Vallée cedex 2,
+33 1 6415 3975, martin.seidl@enpc.fr

2) Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos UFMG, Av. Antônio Carlos, 6627, 31270-901 - Belo Horizonte, MG
Tel.: +55.31 3409.1872, niloon@ehr.ufmg.br

integrada (IWM) na escala de bacia hidrografia (Miller et al., 2014). Em outras palavras, a gestão integrada junto aos sistemas de drenagem sustentáveis ajudam a mitigar os impactos da urbanização e das mudanças climáticas (Dudula e Randhir, 2016).

A presente pesquisa faz parte do projeto BRUM (Bacias Representativas de Usos Mistos) coordenada pela Unicamp e financiada pelo Finep. Ela teve como objetivo principal a caracterização dos processos hidrológicos quantitativos e qualitativos nas principais bacias hidrográficas do lago da Pampulha e a realização da pesquisa sobre a relação e as características de uso e ocupação do solo e da infraestrutura de saneamento.

METODOLOGIA

A Lagoa da Pampulha foi originalmente construída para fornecer água potável para a cidade de Belo Horizonte, no entanto, desde os anos 70; a qualidade da água se degradou como consequência da rápida urbanização das bacias hidrográficas sem infraestrutura de saneamento nem controle de erosão. Atualmente, o assoreamento de lago e a eutrofização da água com episódios de floração de cianobactérias são os principais problemas a serem enfrentados. Apesar de sua má qualidade da água, o lago é um importante ponto turístico e área de lazer para os habitantes, contribuindo para evitar inundações a jusante (Friese et al., 2010).



- Figura 1 – Bacias estudadas (adaptado de (Silva, 2014). Pontos vermelhos: nível do rio (incluindo parâmetros básicos de qualidade da água) e nível do lençol freático, quadrados azuis: pluviômetros, estrela azul: pluviômetro de terceiros e medições de nível. ° 55'S, 43 ° 56'W

A bacia hidrográfica da Lagoa da Pampulha (Figura 1) se estende por 98 km² (figura 1) é drenada por oito pequenos córregos: (1) Olhos d'água; (2) AABB; (3) Bráunas; (4) Água Funda; (5) Sarandi; (6) Ressaca; (7) Tijuco e (8) Mergulhão. As bacias hidrográficas de Agua Funda (4), Ressaca

(5), Sarandi (6) e Mergulhão (8) cobrem 90 % de água produzida pela bacia Pampulha (Frieze et al., 2010; Resck et al., 2007; Silva, 2014).

O comportamento hidrológico das principais bacias foi determinado por meio de modelagem hidrológica usando o programa SWMM 5.1 (Rossman, 2015). Os modelos foram construídos combinado dado do sistema geográfico da PROPAM (PBH 2017) com as imagens de satélite antigas e recentes.

Para calibrar os modelos, as bacias Agua Funda (4), Sarandi (6) e Mergulhão (8) foram monitoradas nas saídas durante dois períodos hidrológicos, de setembro (2016) a maio (2018). O nível de água dos córregos e a qualidade básica da água (condutividade, turbidez e oxigênio) foram monitorados em seções retangulares em intervalos de 5 minutos usando uma sonda multi-parâmetro (Aquaread) e uma sonda complementar de nível e temperatura (Campbell). A precipitação foi monitorada em cada bacia separadamente, juntamente ao nível de água subterrânea (Sollinst). Dados complementares de chuva e de níveis do corego Ressaca (5) foram obtidos da rede de monitoramento hidrológico da cidade de Belo Horizonte (Carvalho e Aroeira, 2012). A velocidade de água durante os eventos chuvosos foi estimada in situ com flutuadores, em seções de 1 km, em frente dos pontos de monitoramento. –

Para calibrar os modelos específicos de cada bacia foi utilizada uma série específica de 20 eventos de chuva, aplicando um procedimento automatizado de Matlab e algoritmo genético (Petrucci, 2012). Este procedimento permite automatizar as iterações e obter coeficientes de eficiência de modelagem Nash–Sutcliffe acima 80%. As bacias hidrográficas foram comparadas usando os modelos SWMM calibrados aplicando uma série anual de chuva da estação Ressaca de setembro 2016 a agosto 2017 e uma chuva típica com período de retorno de um mês e de um ano em todos modelos.

Foram estimados as características hidrológicas como a vazão de pico anual e a vazão mediano por unidade de área (Tarboton, 2003). Os resultados estão comparados aos dados de uso do solo.

RESULTADOS

No primeiro lugar é interessante de avaliar a precisão dos modelos. O coeficiente NASH dos períodos de calibragem é em torno de 0.8 que é uma boa média, mas indica no mesmo tempo, que o modelo não seria exato para a totalidade dos eventos. Na figura 2, pode-se observar uma boa descrição de um evento chuvoso em duas bacias próximas. O evento com um período de retorno mensal (25,8 mm em 6 de fevereiro de 2017) é quase idêntico nas duas bacias e possui uma ligeira evolução bimodal, que se percebe nos dados de nível de água dos coregos, mas que não é simulado com

exatidão. Além da exatidão do modelo físico, a precisão da calibragem depende igualmente da qualidade de dados coletados. No caso de Belo Horizonte se observa uma variabilidade espacial e temporal forte das precipitações (ref). No nosso caso, os modelos de Mergulhão e Ressaca foram calibrados com dados de dez em dez minutos, de um pluviômetro por bacia. Para as bacias grandes, como a Ressaca (2870 ha), estes dados e a sua frequência podem ser insuficientes.

Além da precisão da modelagem a figura 2 ilustra o comportamento hidrológico de duas bacias com uso de solo diferente. A bacia da Ressaca possui urbanização densa e tem apenas 10 % de áreas verdes. A bacia do Mergulhão é ocupada por residências de alto padrão e por o campus da UFMG e possui mais de 30% da área total, em forma de floresta. Por consequência a Ressaca mostra pico de vazões anuais altos de até 130 l/ha/s enquanto Mergulhão chega somente até 70 l/ha/s (Tabela 1, Figura 2). Um escoamento mais alto não leva a um fluxo sólido mais alto. O espaço natural pode levar a maior erosão e perda de sólidos do que a bacia hidrográfica mais urbanizada. Reversamente uma bacia hidrográfica mais urbanizada produzisse mais poluição difusa, especialmente água residual não coletada, levando a uma condutividade maior do escoamento.

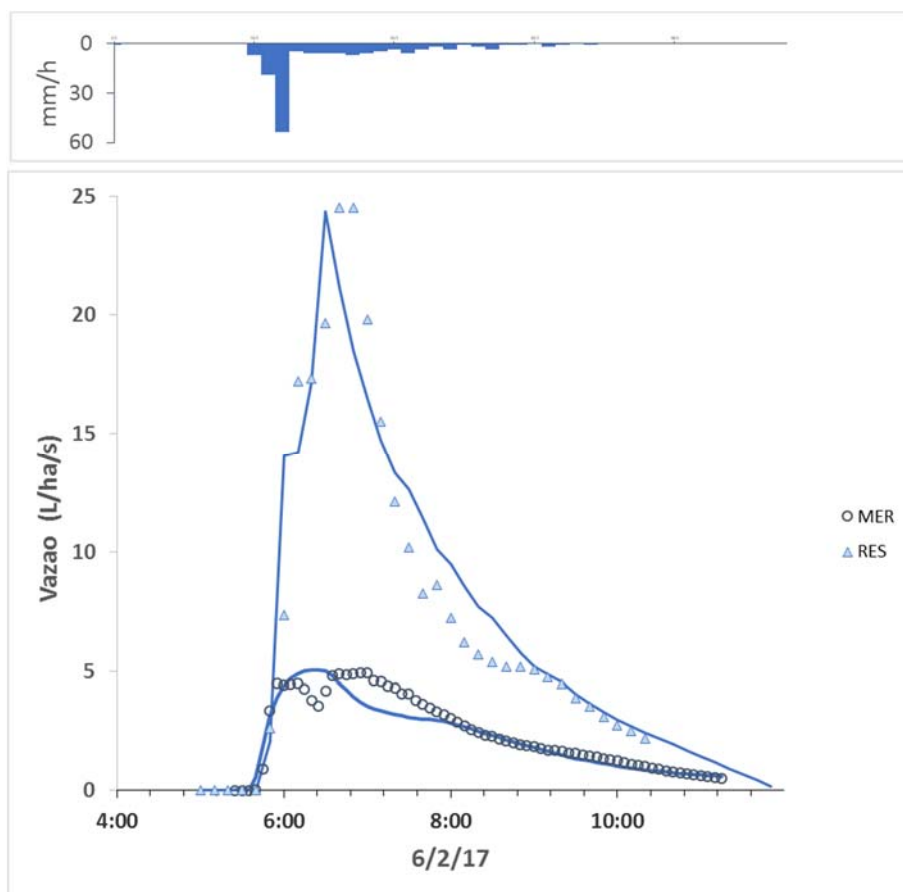


Figura 2 : Vazão no exutório de duas bacias com cobertura vegetal diferente após uma chuva de frequência mensal.

Dados medidos são representados com símbolos. Dados calculados com SWMM são representados com linhas.

A figura 3 representa o conjunto de quatro bacias simuladas. A maior bacia, a bacia de Sarandi e a menor bacia, a bacia de Mergulhao, foram calibrados com dados de chuva de alta frequência de vários pluviômetros e seus coeficientes de escoamento refletem por esta razão corretamente a ocupação de solo. A bacia de Resaca deveria ter um coeficiente de escoamento entre 10 % à 20% maior e case o dobro de vazão de pico. Este tipo de discrepâncias foram observadas também pelo Silva (2014)

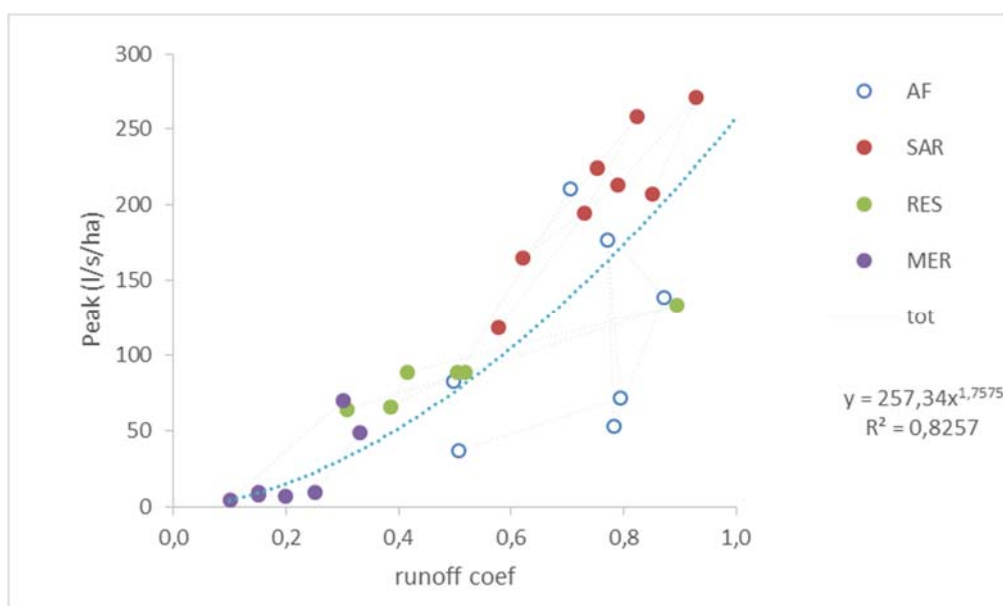


Figura 3 : Relação entre vazão de pico e coeficiente de escoamento, resultando de modelagem SWMM.

Cada bacia é representada por suas sub-bacias.

Tabela 1: Características das bacias modelizadas

NOM	Superfície (ha)	Sub-bacias	N° nos	NASH	L max (m)	coef. (%)	Q_max (l/s/ha)	Q_media (l/s/ha)
Sarandi	4321	9	50	0,86	47137	76	259	0.277
Agua_Funda	1720	7	33	0,82	25135	50	100	0.1
Ressaca	2870	7	36	0,74	22505	57	133	0.182
Mergulhão	337	7	24	0,84	6541	22	70	0.0804

Os modelos obtidos serão utilizados, perincipalmente, para estimar as medidas compensatórias necessárias para compensar a urbanização crescente e o aumento de impermeabilização.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Dois anos de medições on-line de dados hidrológicos e básicos de qualidade da água, combinados com análises espaciais, possibilitaram apoiar a hipótese geralmente admitida de que urbanizações mais densas geram descargas mais rápidas e maiores, acompanhadas de fluxos sólidos mais fortes (Fritsch, 2013; Salvadore et al., 2015). Esses resultados contribuirão para melhorar o planejamento e a urbanização na bacia hidrográfica de Belo Horizonte, bem como, facilitar a restauração do lago Pampulha. A temporada de chuvas de 2017/2018, servirá para consolidar os dados prévios do escoamento superficial e melhorar a análise hidrológica, o que permitiria prever a tendência da bacia hidrográfica da Pampulha se a tendência atual de urbanização se mantiver. O SWMM permitira avaliar a capacidade de técnicas compensatórias necessária par compensar estas tendências.

AGRADECIMENTOS : Os autores agradecem a FINEP CT Hidro e a FAPEMIG pelo suporte a presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Aroeira, R., 2012. O Plano Diretor de Drenagem de Belo Horizonte - Desafios na Implantação do Sistema de Monitoramento Hidrológico e Alerta contra Inundações. PBH.
- Aroeira, R., Arantes Braga, R., Donária Pereira, M., Carvalho Aguiar, I., 2010. The Municipal Sanitation Plan for the Municipality of Belo Horizonte. NOVATECH 2010.
- Bhaskar, A.S., Welty, C., 2012. Water Balances along an Urban-to-Rural Gradient of Metropolitan Baltimore, 2001-2009. Environ. Eng. Geosci. 18, 37–50.
<https://doi.org/10.2113/gseegeosci.18.1.37>
- Carvalho, I., Aroeira, R., 2012. Política de Combate a Inundações de Belo Horizonte. PBH SUDECAP.
- Dudula, J., Randhir, T.O., 2016. Modeling the influence of climate change on watershed systems: Adaptation through targeted practices. J. Hydrol. 541, 703–713.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.020>
- Friese, K., Schmidt, G., de Lena, J.C., Arias Nalini, H., Zachmann, D.W., 2010. Anthropogenic influence on the degradation of an urban lake – The Pampulha reservoir in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. Limnol. - Ecol. Manag. Inland Waters 40, 114–125.
<https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.12.001>

- Fritsch, F.E.D., 2013. Influência do uso e ocupação do solo nas vazões de pico na bacia hidrográfica do alto rio ligeiro, Pato Branco–PR (B.S. thesis). Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Miller, J.D., Kim, H., Kjeldsen, T.R., Packman, J., Grebby, S., Dearden, R., 2014. Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. *J. Hydrol.* 515, 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.011>
- Petrucci, G., 2012. La diffusion du controle a la source des eaux pluviales urbaines. Confrontation des pratiques a la rationalite hydrologique.
- Resck, R.P., Neto, J.F.B., Coelho, R.M.P., 2007. Nova batimetria e avaliação de parâmetros morfométricos da Lagoa da Pampulha (Belo Horizonte, Brasil). *Rev. Geogr.* 3, 24–37.
- Rossman, L.A., 2015. Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1 (No. EPA/600/R-14/413b Revised September 2015 www2.epa.gov/water-research). EPA, National Risk Management Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency.
- Salvadore, E., Bronders, J., Batelaan, O., 2015. Hydrological modelling of urbanized catchments: A review and future directions. *J. Hydrol.* 529, 62–81. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.028>
- Seidl, M., Petrucci, G., Lorgeoux, C., Nilo, D.O.N., 2014. Assessment of dry and wet weather pollutant fluxes in a small urban watershed of Belo Horizonte (Brazil), in: ICUD 2014, 13th International Conference on Urban Drainage, Sarawak, Malaysia, 7-12 September 2014.
- Silva, T., 2014. Suivi et modélisation de la dynamique des cyanobactéries dans les lacs urbains au sein de leur bassin versant (phdthesis). Université Paris-Est.
- Silva, T.F. das G., Vinçon-Leite, B., Giani, A., Figueredo, C.C., Petrucci, G., Lemaire, B., Sperling, E.V., Tassin, B., Seidl, M., Khac, V.T., Viana, P.S., Viana, V.F.L., Toscano, R.A., Rodrigues, B.H.M., Nascimento, N. de O., 2016. Modelagem da Lagoa da Pampulha: uma ferramenta para avaliar o impacto da bacia hidrográfica na dinâmica do fitoplâncton. *Eng. Sanit. E Ambient.* 21, 95–108. <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100125692>
- Tarboton, D.G., 2003. Rainfall-runoff processes. Utah State University.