

SISTEMAS URBANOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL: INFLUÊNCIA SOBRE AS INFRAESTRUTURAS EXISTENTES

Ricardo GOMES^{1,2}, Renata GARCIA¹

¹Instituto Politécnico de Leiria, Escola Superior de Tecnologia e Gestão (Portugal), ricardo.gomes@ipleiria.pt

²INESC Coimbra - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra, Coimbra

RESUMO

As áreas urbanas são altamente vulneráveis à ocorrência de fenómenos meteorológicos extremos, de onde se destacam as inundações, pelo impacte ambiental, social e económico a que estão associadas. As medidas estruturais como os sistemas de defesa contra inundações e sistemas de transporte podem dar uma resposta de longo prazo ao risco de inundações no entanto, são obras muito complexas e que exige grandes investimentos que nem sempre são possíveis. Nas últimas décadas têm vindo a ser cada vez mais valorizadas as medidas não-estruturais como os sistemas de monitorização e alerta de inundação e de planeamento de evacuação para proteger a população que vive em áreas urbanas já em risco de inundação. A estas medidas acrescem ainda a gestão e o planeamento do uso do solo que podem ser implementadas com maior rapidez, e com bons resultados no que se refere à atenuação dos caudais de escoamento superficial, entre as quais se destacam diversos tipos de Sistemas de Drenagem Sustentável (SDS) – apoiados na renaturalização do ciclo da água em meio urbano. Só por si as medidas não-estruturais tem um efeito pouco expressivo, sendo que a principal vantagem destas medidas está no efeito de escala, ou seja, os resultados só são visíveis se esta prática for generalizada. Neste enquadramento, o desempenho da rede de drenagem de águas residuais pluviais que inclui o Centro Histórico da cidade de Leiria foi analisado sob a influência do uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes. Trata-se de uma área onde a ocorrência de inundações é recorrente durante os períodos de maior pluviosidade, quer devido ao elevado índice de impermeabilização do solo quer à falta de capacidade de transporte da infraestrutura. Os resultados das simulações efetuadas mostram que neste estudo de caso as vantagens dos SDS podem chegar aos 50% na redução do volume total de escoamento superficial, que se traduz na redução do caudal de ponta de cheia e no aumento do tempo de concentração ao longo da rede de drenagem, pelo que podem vir a desempenhar um papel relevante no controlo das inundações urbanas.

Palavras-Chave: Inundações urbanas; Gestão e planeamento do uso do solo; Sistemas de Drenagem Sustentável

1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas os procedimentos de gestão e exploração dos sistemas de drenagem urbana têm vindo a tornar-se cada vez mais complexos, em parte devido ao aumento da frequência de eventos meteorológicos extremos, ao aumento das áreas impermeáveis e à degradação das infraestruturas de drenagem (Willems et al., 2012). A conjugação destes fatores faz com que o caudal afluyente aos sistemas de drenagem seja na maior parte das vezes superior à capacidade de transporte destes sistemas, resultando na acumulação de água à superfície nos pontos de cota mais baixos e, conseqüentemente, às inundações urbanas não previstas na fase de projeto. As inundações urbanas não afetam apenas o desenvolvimento social e as atividades económicas, mas também afetam a qualidade das massas de água e trazem grandes transtornos para os moradores que vivem nas zonas de risco e ameaçam a vida dessas pessoas e a segurança da propriedade (Tucci, 2007).

O conceito de SDS surgiu na década de 1990 e nos últimos anos tem vindo a ganhar grande popularidade aquando do planeamento urbano das cidades (Tim et al., 2015; Hammond et al., 2015), quer para fazer face aos elevados custos originados pelas inundações urbanas quer pelos custos de manutenção e construção dos sistemas de drenagem de grandes dimensões para servir grandes áreas impermeabilizadas. Neste caso, ao invés de aumentar a capacidade dos sistemas de drenagem, a ideia passa por controlar o escoamento superficial proveniente das águas da chuva diretamente na origem através da infiltração, evapotranspiração e outros processos hidrológicos naturais, visando reduzir o escoamento superficial e ainda melhorar a qualidade das massas de água do meio recetor de efluentes pluviais – e que decorre da poluição arrastada pelas águas de escoamento superficial. Só por si estas medidas têm um efeito pouco expressivo, sendo que a principal vantagem está no efeito de escala, ou seja, os

resultados só são visíveis se esta prática for generalizada (Muhammad & Reeho, 2015; Qinghua et al., 2017; Jiake et al., 2017). Neste enquadramento, a utilização de *software* de modelação e simulação hidrológica/hidráulica é muito importante para estudar a influência dos SDS sobre as infraestruturas de drenagem existentes, entre os quais se destacam o SWAT, MIKE SHE, MIKE URBAN e o SWMM. O SWMM – *Storm Water Management Model* foi o *software* escolhido para este estudo (EPA, 2010). É um modelo dinâmico de simulação de precipitação/escoamento, desenvolvido pela EPA – *Environmental Protection Agency*, e é usado principalmente para simular eventos únicos ou de longo prazo (contínuo) da quantidade e qualidade de escoamento em áreas principalmente urbanas. Permite ainda avaliar a quantidade e a qualidade do escoamento gerado dentro de cada sub-bacia, o escoamento superficial e a altura e a qualidade da água ao longo da rede de drenagem durante um período de simulação composto de múltiplos intervalos de tempo.

2. CASO DE ESTUDO

Ao longo da segunda metade do séc. XX verificou-se um aumento significativo da população na cidade de Leiria e, conseqüentemente a expansão da área urbana, crescimento esse que nem sempre foi acompanhado pelo devido planeamento territorial, urbanístico e das infraestruturas enterradas. Atualmente, a cidade de Leiria beneficia de uma vasta rede de drenagem, embora apresente zonas com índices de desempenho reduzidos, quer devido à degradação da infra-estrutura quer às sucessivas intervenções corretivas e de expansão de que tem vindo a ser alvo ao longo das últimas décadas. Um dos problemas mais prementes, e para o qual importa encontrar uma solução a curto prazo, refere-se ao controlo das inundações recorrentes nos pontos de cotas mais baixas no Centro Histórico, que ocorrem durante os períodos de maior pluviosidade. Por outro lado, por se tratar de uma zona com elevada densidade populacional e comercial, com ruas estreitas e grande desnível topográfico, qualquer intervenção ao nível das infraestruturas enterradas torna-se extremamente complexa e onerosa, pelo que requer um planeamento adequado antes de ser posta em prática.

Nesta perspectiva, as intervenções relacionadas com a requalificação do espaço público urbano cria a condições ideais para se remodelar também as infraestruturas enterradas, assim como para corrigir eventuais erros cometidos no passado por falta de planeamento dessas infraestruturas. Estando previsto a requalificação do espaço público urbano na Avenida Heróis de Angola e área envolvente, onde se encontra o coletor que transporta as águas pluviais do Centro Histórico até ao ponto de descarga no rio Liz a jusante do Açude do Arrabalde (ver Figura 1), o Município de Leiria irá no âmbito dessa intervenção remodelar também a rede de drenagem de águas pluviais, minimizando os impactes negativos das inundações no Centro Histórico. Anteriormente foi desenvolvido no SWMM o modelo da rede de drenagem do Centro Histórico, com o objetivo de estudar o desempenho global do sistema, tendo como condições de fronteira a montante os dispositivos/pontos de afluência de águas pluviais à rede e a jusante o ponto de descarga no rio Liz – descrição do modelo e resultados obtidos em Gomes et al., 2017.



Figura 1. Modelo da rede de drenagem (esquerda) e imagem do Centro Histórico da cidade de Leiria (direita).

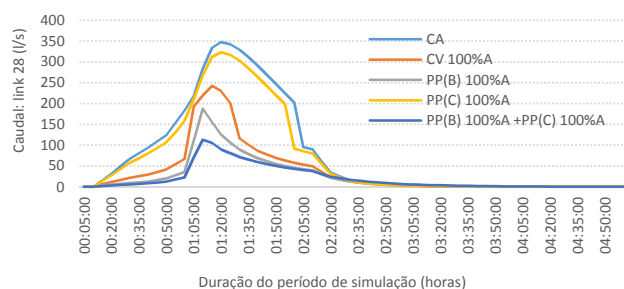
A renaturalização do ciclo da água no meio urbano tem vindo a ganhar cada vez mais destaque aquando do planeamento urbano das cidades. Neste enquadramento, o uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes foi analisado neste artigo para perceber qual seria o seu real impacte no desempenho global do sistema de drenagem que inclui o Centro Histórico. A área total da bacia de drenagem tem aproximadamente 27 hectares, na qual podem distinguir-se cinco tipos de ocupação do solo: 29% edifícios históricos, 25% edifícios correntes, 19% zonas

14.º SILUSBA

cobertas com pavimento betuminoso, 15% zonas cobertas com pavimento em calçada portuguesa e 12% zonas verdes ou permeáveis. A maior parte dos edifícios apresenta uma cobertura inclinada com revestimento em telha cerâmica sendo que a água da chuva precipitada sobre essa superfície é lançada sobre o arruamento/passeio ou encaminhada diretamente para a rede de drenagem. A água da chuva precipitada sobre o pavimento betuminoso e sobre a calçada portuguesa acumula-se em valetas junto ao passeio, onde existem sarjetas e/ou sumidouros com ligação à rede de drenagem. No que se refere às zonas cobertas com calçada portuguesa a infiltração/retenção das águas da chuva depende dos espaços vazios entre os blocos de rocha que constituem esse tipo de elemento sendo que, atualmente a capacidade de infiltração/retenção das águas da chuva é reduzida devido ao preenchimento desses espaços com partículas finas. Os espaços verdes são praticamente inexistentes sendo que, a maior parte dessa área encontra-se na periferia do Centro Histórico, a montante na bacia de drenagem, e refere-se a pequenas parcelas de terrenos privados.

3. RESULTADOS

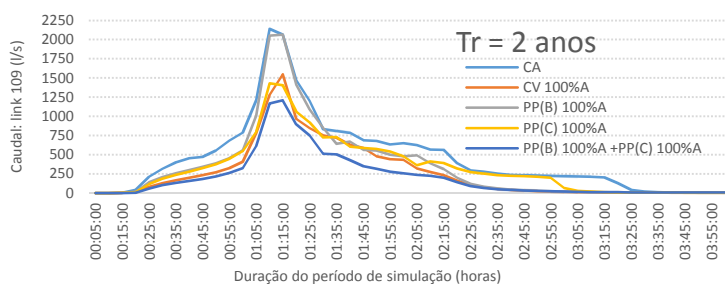
Os resultados das simulações efetuadas tiveram por base uma chuvada com a duração de 2 horas e incrementos de precipitação de 10 minutos, para um período de retorno de 2, 5, 10 e 20 anos (Tr), Gomes et al., 2017. Como exemplo ilustrativo do estudo realizado, a Figura 2 mostra o volume de escoamento superficial na sub-bacia “Urbanização dos Capuchos” e o caudal na rede de drenagem (link 28), a montante do Centro Histórico, sob o efeito da utilização de pavimentos permeáveis e coberturas verdes. A Figura 3 ilustra os mesmos parâmetros de análise na seção de referência da rede de drenagem do Centro Histórico (link 109: Largo 5 de outubro). Foram consideradas também quatro seções imediatamente a montante, cada uma das quais relacionadas com a afluência de caudal pluvial proveniente de zonas distintas da bacia de drenagem (link 586: Encosta do castelo; link 587: Paços do concelho; link 591: Terreiro/ Centro Histórico; link 592: Urbanização dos Capuchos).



Cenário		Sub-bacia “Urbanização Capuchos” Link 28		
		Volume (m³)	ΔV (%)	Overflow
Tr 2 anos	CA	1407		sim
	PP(C) 100%A	1242	-12%	sim
	CV 100%A	653	-54%	sim
	PP(B) 100%A	445	-68%	sim
	PP(C) 100%A + PP(B) 100%A	361	-74%	não

Tipo de ocupação do solo: CA – Contexto Atual; CV – Coberturas Verdes (substituição da cobertura dos edifícios correntes); PP(B) – Pavimentos Permeáveis (substituição das zonas em Betuminoso); PP(C) – Pavimentos Permeáveis (substituição das zonas em Calçada).

Figura 2. Sub-bacia de drenagem “Urbanização dos Capuchos”, Leiria.



Cenários		link 586		link 587		link 591		link 592	
		Volume (m³)	ΔV (%)	Volume (m³)	ΔV (%)	Volume (m³)	ΔV (%)	Volume (m³)	ΔV (%)
Tr 2 anos	CA	1021		1080		2185		2227	
	CV 100%A	582	-43%	787	-27%	1213	-44%	1215	-45%
	PP(B) 100%A	1014	-1%	442	-59%	2147	-2%	1266	-43%
	PP(C) 100%A	637	-38%	836	-23%	1341	-39%	1780	-20%
	PP(C) 100%A + PP(B) 100%A	647	-37%	288	-73%	1220	-44%	820	-63%

Seção referência “Centro Histórico da cidade de Leiria” Link 109			
Cenário		Volume (m³)	ΔV (%)
Tr 2 anos	CA	6616	
	CV 100%A	3806	-42%
	PP(B) 100%A	4934	-25%
	PP(C) 100%A	4689	-29%
	PP(C) 100%A + PP(B) 100%A	2991	-55%
Tr 5 anos	CA	9228	
	CV 100%A	5333	-42%
	PP(B) 100%A	6897	-25%
	PP(C) 100%A	6717	-27%
	PP(C) 100%A + PP(B) 100%A	4398	-52%
Tr 10 anos	CA	10912	
	CV 100%A	6484	-41%
	PP(B) 100%A	8211	-25%
	PP(C) 100%A	8016	-27%
	PP(C) 100%A + PP(B) 100%A	5372	-51%
Tr 20 anos	CA	12497	
	CV 100%A	7563	-39%
	PP(B) 100%A	9499	-24%
	PP(C) 100%A	9369	-25%
	PP(C) 100%A + PP(B) 100%A	6302	-50%

Figura 3. Seção de referência da bacia de drenagem do Centro Histórico da cidade de Leiria.

Em relação aos pavimentos permeáveis, para a camada de superfície adotou-se para a berma a altura de 0 mm, uma vez que se considerou que a primeira camada diz respeito ao pavimento. No que se refere ao pavimento, a



14.º SILUSBA

espessura definida foi de 150 mm, com uma taxa de permeabilidade de 100 mm/h e um índice de vazios de 0,15. Quanto à camada de solo tal como para a camada de superfície, considerou-se que esta não existia. No que diz respeito à camada de armazenamento, assumiu-se uma espessura de 300 mm, um índice de vazios de 0,75 e uma taxa de permeabilidade de 0,2. Por fim, no que concerne ao solo e à camada de drenagem, considerou-se que estas não existiam. Em relação às características das coberturas verdes importa destacar que se considerou para a berma uma altura de cerca de 100 mm, um volume de vegetação de 10%, um coeficiente de Manning de 0,15 e um declive do terreno de 1%. Quanto às características do solo, adotou-se uma espessura de 150 mm com uma porosidade de 30% e uma condutividade de 0,5 mm/h. Por último, e no que diz respeito à camada de drenagem, considerou-se uma espessura de 100 mm e um índice de vazios de 0,5.

4. CONCLUSÕES

A análise global dos resultados das simulações efetuadas evidencia a importância da utilização dos SDS como forma de reduzir o escoamento superficial e, consequentemente diminuir o caudal de ponta de cheia na rede de drenagem e o risco de inundações na zona de estudo. É possível ainda concluir que a redução do escoamento superficial pode chegar aos 50% (link 109), e traduz-se na redução do caudal de ponta de cheia e no aumento do tempo de concentração ao longo da rede de drenagem. Este facto está relacionado com os parâmetros definidos para a estrutura dos SDS, que neste caso têm capacidade para absorver praticamente toda a água que sobre eles precipita. Assim, os únicos caudais presentes na rede de drenagem são os provenientes das chuvas que precipitam sobre as superfícies impermeáveis e nas zonas verdes/permeáveis e que não são absorvidas pelo solo. Observa-se também que a influência dos SDS no desempenho global da rede de drenagem depende da área total da bacia ocupada por estes sistemas (link 28, link 586, link 587, link 591, link 592) e tende a diminuir com o aumento da intensidade da precipitação ($T_r = 2, 5, 10$ e 20 anos). Além das vantagens acima referenciadas, importa ainda referir que a cobertura vegetal urbana permite melhorar o conforto térmico em espaços urbanos abertos, reduz a propagação do ruído e renova o ar.

AGRADECIMENTOS

Estudo apoiado pelo projeto UID/Multi/00308/2019 da Fundação para a Ciência e a Tecnologia de Portugal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EPA (2010) “Storm Water Management Model – User’s Manual”, United States Environmental Protection Agency
- Gomes R, Vellando P, Sousa J, Sá Marques J, Muranho J (2017) “Analysis and Simulation of Drainage Capacity of Urban Pipe Network”, in CCWI 2017 – Computing and Control for the Water Industry, Sheffield (UK), 5-7 September
- Hammond M J, Chen AS, Djordjević S, Butler D, Mark O (2015) “Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review”. *Urban Water Journal*, 12(1), 14-29
- Jiake Li, Chenning Deng, Ya Li, Yajiao Li, Jinxi Song (2017) “Comprehensive Benefit Evaluation System for Low-Impact Development of Urban Stormwater Management Measures”, *Water Resources Management*, 31(15), 4745-4758
- Muhammad Shafique, Reeho Kim (2015) “Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions”, *Ecological Chemistry and Engineering*. S, 22(4), 543-563
- Qinghua Luan, Xiaoran Fu, Cuiping Song, Haichao Wang, Jiahong Liu, YingWang (2017) “Runoff Effect Evaluation of LID through SWMM in Typical Mountainous, Low-Lying Urban Areas: A Case Study in China”, *Water*, 9(6), 439
- Tim D F, William S, William F H, Richard A, David B, Scott A, Sam T, Sylvie B, Annette S-D, Jean-Luc B-K, Peter S M, Gilles R, Mathias U, Danielle D, Maria V (2015), “SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage”, *Urban Water Journal*, 12(7), 525-542
- Tucci C E M (2007). “Urban Flood Management”, World Meteorological Organization
- Willems P, Olsson J, Arnbjerg-Nielsen K, Beecham S, Pathirana A, Bülow Gregersen I, Madsen H, Nguyen V T V (2012) “Impacts of Climate Change on Rainfall Extremes and Urban Drainage Systems”, IWA Publishing