



ESTUDO DO IMPACTO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NUMA BACIA DE DRENAGEM URBANA: CASO DE APLICAÇÃO

Nelson Carrico¹, Bruno Ferreira²

^{1,2}INCITE, Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, Instituto Politécnico de Setúbal, Rua
Américo da Silva Marinho, s/n, 2839-001 Lavradio, Portugal

¹nelson.carrico@estbarreiro.ips.pt

RESUMO

A presente comunicação tem como objetivo apresentar um estudo de avaliação do impacto das alterações climáticas numa bacia de drenagem localizada na Área Metropolitana de Lisboa. Este sistema inclui uma bacia de amortecimento de cheias e a jusante desta, uma vala que descarrega no estuário do rio Tejo. De referir ainda que o efeito de maré do estuário do rio Tejo se faz sentir nesta vala, provocando em alguns casos o assoreamento dos coletores. Junto à bacia de amortecimento, num importante entroncamento rodoviário, existem vários registos de ocorrência de inundações. Assim, no presente trabalho para além de se diagnosticar a situação atual estudam-se, também, três cenários futuros de aumento de precipitação.

Palavras-Chave

Alterações climáticas; Inundações urbanas; Sistema de drenagem pluvial

1. INTRODUÇÃO

As inundações em meio urbano estão na origem de pesados encargos para a sociedade e economia, como revelam dados divulgados pela comissão europeia [1]. Os fenómenos de impermeabilização dos terrenos, devido à sua urbanização, levam a um acréscimo do volume de escoamento (devido à reduzida infiltração), aumentando consequentemente a velocidade do escoamento superficial. Como resultado, dá-se a redução dos tempos de concentração e de resposta das bacias hidrográficas, podendo, assim, originar inundações.

Atualmente é ainda necessário considerar fatores derivados das alterações climáticas visto que, com o aumento da temperatura média no planeta e consequente derretimento das calotas polares, prevê-se a subida do nível médio das águas do mar colocando em risco territórios costeiros. Também a alteração dos regimes de precipitação, nos quais se constata uma diminuição do número de eventos de precipitação e um aumento da sua intensidade, passará a ser cada vez mais comum, o que agrava a problemática das inundações.

Para uma adequada avaliação do impacto das alterações climáticas num sistema urbano de drenagem pluvial, importa conhecer detalhadamente esse sistema e realizar o respetivo

SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

diagnóstico que permita a identificação das principais problemáticas, nomeadamente, a ocorrência de inundações, a sua magnitude e localização, e custos associados. Esta análise deve ser realizada tomando em consideração cenários futuros de alterações climáticas.

A presente comunicação tem como objetivo apresentar um estudo da avaliação do impacto das alterações climáticas numa bacia de drenagem localizada na Área Metropolitana de Lisboa. Este sistema inclui uma bacia de amortecimento de cheias e a jusante desta, uma vala que descarrega no estuário do rio Tejo. A sua localização pode tornar o sistema suscetível de sofrer eventos extremos, com efeitos gravosos para a população, quando existe simultaneidade da subida da maré com picos de pluviosidade mais intensos.

2. MÉTODOS

2.1 ABORDAGEM GERAL

A complexidade dos processos envolvidos nas inundações em meio urbano cria a necessidade de recorrer a um modelo de simulação hidrológica e hidráulica de forma a representar o comportamento do sistema de drenagem perante cenários baseados nas projeções de alterações climáticas que ocorrerão no futuro próximo. Neste sentido, a metodologia utilizada no presente estudo assenta em quatro fases distintas, nomeadamente, 1) levantamento da informação para caracterização da bacia hidrográfica e do sistema de drenagem; 2) definição de cenários futuros de alterações climáticas; 3) modelação hidráulica e hidrológica; 4) diagnóstico e definição de ações de adaptação. Nas secções seguintes descreve-se sumariamente cada uma destas fases.

2.2 LEVANTAMENTO DA INFORMAÇÃO

A avaliação do sistema de drenagem pluvial urbana depende de diversos tipos de dados e análises, nomeadamente: 1) das condições climáticas, tais como a temperatura, precipitação e humidade do ar, 2) fisiográficas, ligadas às características físicas da bacia hidrográfica como o relevo, inclinação, tipos de solo e sua ocupação, 3) e da rede de drenagem, tais como órgão constituintes e materiais utilizados.

As condições climáticas permitem, juntamente com informação fisiográfica da bacia, avaliar o comportamento do escoamento superficial, sendo que a principal grandeza que o caracteriza é a precipitação útil. De forma a estimar o valor da precipitação útil importa recolher dados relativos à ocupação do solo para possibilitar a determinação da impermeabilização, que vai influenciar o escoamento superficial gerado. Este processo pode ser realizado através de um levantamento visual a partir de imagens de satélite com vista a identificar e quantificar as percentagens de áreas com maior (e.g., jardins, parques, hortas) e com menor (e.g., vias de comunicação, edifícios, parques de estacionamento, pavimentos) permeabilidade. Importa também definir a precipitação de projeto (também designada por precipitação crítica) e para tal será criado um hietograma de projeto. Utilizar-se-á como base as curvas Intensidade- Duração-Frequência (IDF), para a região em estudo, e para um período de retorno pré-estabelecido. Esta metodologia considera-se adequada para o estudo de pequenas bacias.

Relativamente às características da rede de drenagem, importa recolher todos os dados que vão influenciar tanto a altura de escoamento como a sua velocidade. Nomeadamente, informações acerca da geometria das secções das tubagens, valas ou canais, bem como os coeficientes de rugosidade associados aos diversos materiais constituintes. Para além dessas características

SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

importa ainda conhecer a inclinação das tubagens, valas e canais que compõem o sistema de drenagem pluvial. Os dados de cadastro do sistema de drenagem são normalmente arquivados em meios digitais, tais como, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e/ou Desenho Assistido por Computador (CAD), podendo ser complementados com observações específicas *in-situ*.

2.3 DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

No presente estudo será utilizada uma abordagem do tipo *top-down* onde as previsões de cenários do clima futuro global são utilizadas em conjunto com a modelação do sistema de drenagem para determinar os possíveis impactos no local em estudo. A avaliação do impacto das alterações climáticas no sistema de drenagem pluvial será conseguida, mais concretamente, através da adaptação do hietograma de projeto aos vários cenários futuros. Para tal, recolher-se-á informação relativa às projeções climáticas para a zona em estudo, nomeadamente, estimativas da variação da intensidade de precipitação, visto que este parâmetro terá uma influência direta no funcionamento dos sistemas de drenagem pluvial, ao estar intrinsecamente ligado com a quantidade de água que a este aflui. Também será pertinente, particularmente em zonas costeiras, analisar o impacto que a subida do nível do mar terá na capacidade de vazão do sistema de drenagem pluvial.

2.4 MODELAÇÃO HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA

As sub-bacias, constituintes da bacia hidrológica em estudo, podem ser divididas em áreas impermeáveis e permeáveis. Nas áreas impermeáveis as perdas hidrológicas são apenas atribuídas à retenção superficial, enquanto nas áreas permeáveis também é possível modelar a infiltração, através dos modelos de Horton, de Green-Ampt ou do SCS. Em ambos os tipos de área, o escoamento superficial é propagado pela equação de Manning-Stickler. No presente estudo utiliza-se o SWMM para a avaliação de eventos únicos ou em simulações de longo prazo da quantidade de escoamento de água.

A propagação do escoamento em canais e coletores é modelada pelas equações de conservação de massa e de quantidade de movimento (equações de Saint-Venant) para escoamentos variáveis gradualmente variados.

2.5 DEFINIÇÃO DE AÇÕES DE ADAPTAÇÃO

O desenvolvimento de uma estratégia de adaptação inclui geralmente duas componentes principais sendo elas a realização de uma avaliação da vulnerabilidade e o planeamento de ações de adaptação.

A avaliação de vulnerabilidade fornece uma estimativa da suscetibilidade de um sistema e da sua capacidade em lidar com os efeitos das alterações climáticas. Perante a incerteza associada ao clima futuro é comum utilizar-se uma abordagem baseada em cenários futuros que representam estados de clima plausíveis que poderão ocorrer a partir das condições que se verificam no presente [2].

Os cenários futuros podem ser integrados num plano de adaptação quer através de uma abordagem *top-down* ou *bottom-up*. Na abordagem *top-down* são utilizados os cenários do clima futuro com modelação de sistemas para determinar os possíveis impactos num local em particular. A partir do conhecimento desses impactos, a eficácia das ações de adaptação isoladas são subsequentemente testadas. Por outro lado, a abordagem *bottom-up* determina a sensibilidade

SMART WATER:

Transição hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

critica às alterações climáticas de um sistema e posteriormente foca-se na possibilidade de estas ocorrerem [3]. No âmbito deste trabalho será utilizada a primeira abordagem para, a partir dos cenários futuros, avaliar a vulnerabilidade atual e futura do sistema em estudo, em particular à ocorrência de fenómenos de inundação

As ações de adaptação devem ser planeadas de forma a ajustar o sistema, artificial ou natural, e assim mitigar os danos resultantes das alterações climáticas expectáveis. Estas podem integrar uma estratégia de adaptação que inclui o conjunto de ações locais e regionais, implementadas por organismos públicos e privados ao longo do tempo e do espaço, de forma a gerir sistemas que são vulneráveis às alterações climáticas futuras.

3. RESULTADOS**3.1 CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO**

O caso de estudo incide sobre o sistema de drenagem pluvial de uma bacia de drenagem localizada num município pertencente à Área Metropolitana de Lisboa. Este sistema inclui na parte final uma bacia de retenção e a jusante desta, uma vala que descarrega no estuário do rio Tejo. De referir ainda que o efeito de maré do estuário do rio Tejo se faz sentir nesta vala, provocando em alguns casos o assoreamento dos coletores. A bacia de drenagem, designada por Vala das Ratas, é apresentada na Figura 1, onde se inclui também representação do curso de água principal e da delimitação da bacia hidrográfica em estudo.

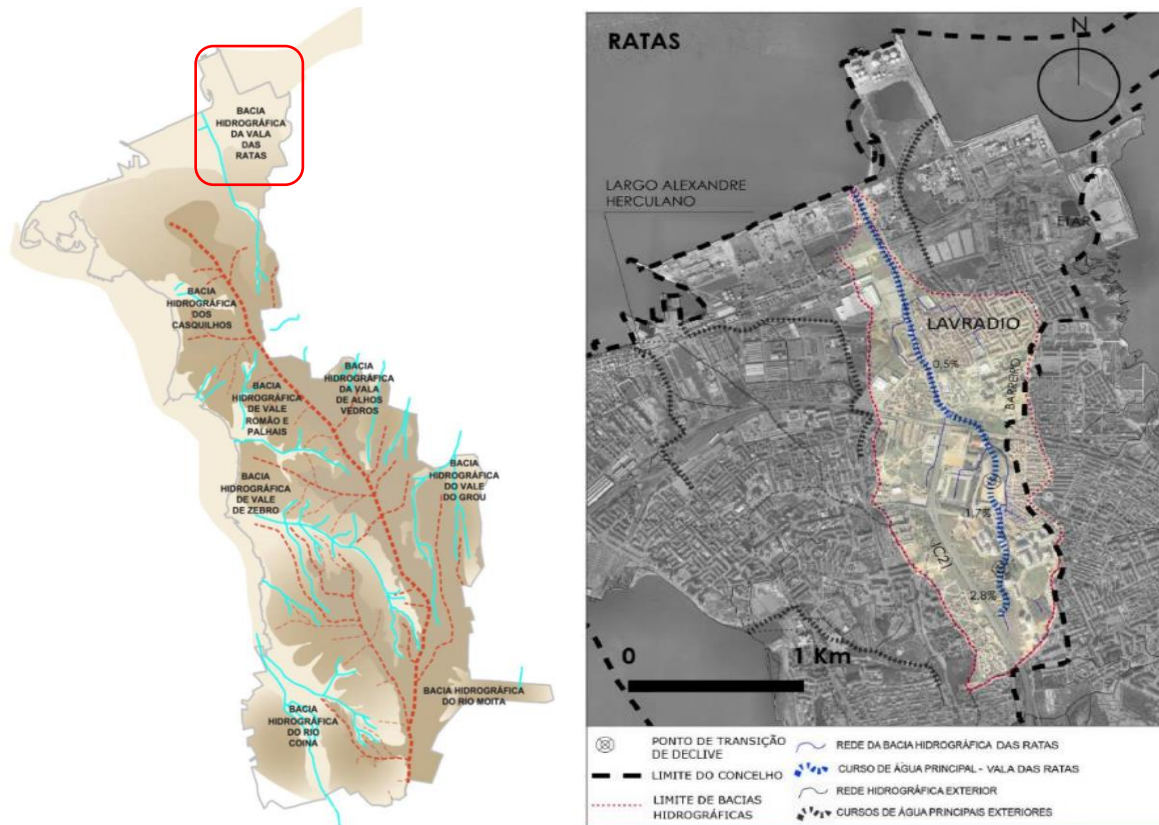


Figura 1. Bacia hidrográfica em estudo.

SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

A Vala das Ratas apresenta uma extensão total de aproximadamente 2,5 km e uma bacia hidrográfica estimada em 3 km², sendo considerada uma bacia de dimensão relativamente pequena. Atravessa o substrato arenoso com pendente mais elevada (cerca de 2,8%) suavizando-se, para jusante, quando atinge a acumulação aluvial lodosa do Rio Tejo. Dominam, portanto, as aluviões lodosas sobre as arenosas, o que corresponde ao substrato de uma parte da área do extremo norte do município intrinsecamente ligada à dinâmica do Rio Tejo [4].

Relativamente ao uso do solo na bacia hidrográfica, e segundo dados de 2021, é maioritariamente urbano disperso, com uma percentagem de cerca de 62%, seguido de urbano denso com 30% e por último de uso agrícola, em 8% da área total de solo da bacia hidrográfica. Esta impermeabilização artificial do solo acelera o escoamento através do encaminhamento da água em condutas e canais, aumentando assim a quantidade de água que aflui ao mesmo tempo ao sistema de drenagem (e em comparação quando a superfície se encontra no seu estado natural).

O funcionamento do sistema de drenagem consiste numa rede de coletores pluviais, eventualmente, com ligações indevidas da rede de coletores de águas residuais, ligados a uma linha de água. Considerando a forte influência da maré neste canal artificializado, há registos da incapacidade da rede em efetuar a descarga eficaz na vala nos momentos em que coincide um episódio de precipitação forte e continuada, com a preia-mar. Sensivelmente a meio da extensão da linha de água encontra-se uma bacia de retenção e órgão desarenador, que visa a regularização dos caudais de ponta de cheia bem como impedir o assoreamento desta área. O presente estudo pretende avaliar o impacto das alterações climáticas na bacia de retenção e órgão descarregador.



Figura 2. Bacia de drenagem (a) vista geral, (b) órgão descarregador, (c) vala a jusante

3.2 PRECIPITAÇÃO DIÁRIA MÁXIMA ANUAL

SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

Estimou-se o caudal de ponta de cheia para a Vala das Ratas para um Período de Retorno de 100 anos, sendo este o período mínimo exigido pela Administração de Região Hidrográfica (ARH) do Tejo e Oeste para o dimensionamento de bacias de retenção. Para o cálculo foram considerados os registos de precipitação diária máxima anual da estação udográfica mais perto da bacia hidrográfica, disponível no Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos (SNIRH), e que é a de Alcochete (21D/01UG). A estimativa precipitação diária máxima anual, para o período de retorno de 100 anos, é de cerca de 108 mm para a área em estudo.

3.3 DIAGNÓSTICO DA BACIA DE RETENÇÃO

O diagnóstico da bacia de retenção consiste na comparação do volume real da bacia de retenção em comparação com o volume necessário para armazenar o caudal afluente resultante da precipitação crítica. O volume da bacia de retenção existente foi estimado, a partir do modelo digital do terreno, em cerca de 16.204 m³.

O volume necessário para a bacia de retenção é calculado pelo método holandês, que é o indicado no regulamento português, nomeadamente, o Decreto-Regulamentar nº 23/95, de 23 de agosto, para o cálculo do volume necessário ao armazenamento do caudal afluente à bacia de retenção (Artigo 179 °).

O método baseia-se nas curvas IDF para a zona de estudo, permitindo calcular o volume necessário para armazenar o caudal afluente resultante da precipitação crítica, para o período de retorno escolhido, garantindo um caudal constante correspondente à capacidade máxima de vazão da estrutura de drenagem a jusante.

No presente estudo foram utilizadas duas formulações indicadas para o cálculo do tempo de concentração em bacias urbanas, nomeadamente, a do antigo Soil Conservation Service, mais conhecida simplesmente por SCS e a de Temez adaptada, e que resultaram em 16,9 e 17,6 min, respetivamente. Para o cálculo do caudal de ponta da bacia optou-se por utilizar o tempo de concentração mais reduzido (e que produzirá os resultados mais desfavoráveis), nomeadamente, 16,9 min tal como obtido a partir da expressão desenvolvida pelo SCS.

O Decreto-Regulamentar nº 23/95, de 23 de agosto, apresenta os parâmetros das curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) que devem ser usados para o cálculo da intensidade de precipitação. No presente trabalho, a intensidade média máxima de precipitação (mm/h) para a duração t (min) foi calculada para o período de retorno de 100 anos, pelas razões já referidas.

A distribuição da precipitação no tempo foi considerada a partir da construção de um gráfico da variação temporal da precipitação, ou hietograma de projeto. É de supor que a intensidade de precipitação não seja constante ao longo da duração total de precipitação e, por este motivo, utilizando-se as curvas IDF, é aconselhado obter o hietograma de projeto recorrendo ao método dos blocos alternados, uma vez que este conduzirá a um cenário mais desfavorável, e a um caudal de cheia mais elevado. O período total de duração do evento de projeto considerado foi de 55 minutos, igual a aproximadamente três vezes o tempo de concentração da bacia.

A Figura 3 exemplifica um hietograma obtido através deste método para um período de retorno de 100 anos considerando a intensidade atual.

SMART WATER:

Transição hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

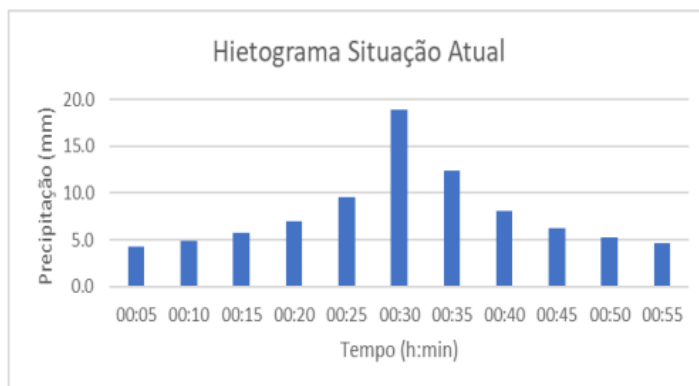


Figura 3. Hietograma de projeto

O cálculo do caudal de ponta de cheia é realizado através de um método cinemático, nomeadamente, através do método SCS, apresentando-se os resultados obtidos no Quadro 1.

Quadro 1. Caudal de ponta obtido pelo método SCS

Precipitação de projeto para $t=t_c$ (mm)	115,3
Número de escoamento (III)	96,8
Retenção potencial máxima (mm)	8,3
Perdas iniciais (mm)	0
Precipitação útil (mm)	107,5
Perdas de precipitação (mm)	7,8
Intensidade de precipitação efetiva (mm/h)	26,89
Área que contribui para a bacia de retenção (km ²)	1,58
Fator de ponta (k)	0,75
Tempo para a ponta (h)	0,25
Caudal de ponta de cheia (m ³ /s)	35,4

Finalmente, e a partir do caudal máximo afluyente obtidos através do método SCS, obteve-se o volume requerido da bacia em 15.841 m³. Neste sentido, foi possível perceber que o problema deste sistema hidráulico não reside no volume de armazenamento da bacia de retenção.

3.4 MODELAÇÃO HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA

A construção do modelo para avaliação do impacto das alterações climáticas, e para os diferentes cenários futuros, baseou-se na informação constante no relatório de previsão de eventos extremos elaborado por Monjo *et al.* [5], para a região de Lisboa. Consideraram-se as alterações previstas em eventos extremos de precipitação de curta duração, onde se prevê uma tendência de aumento moderado, de 40mm para 45mm no período de 2041-2070 e que chega aos 47mm no período de anos entre 2071-2100, para um período de retorno de 100 anos. Isto corresponde a um aumento de cerca de 10% e 20% a meio e no final do século XXI respetivamente

Com base nos dados do referido estudo majorou-se o hietograma criado previamente de forma a ter-se em consideração a previsão de aumento relativo da intensidade de precipitação. Considerou-se este parâmetro como o mais relevante para o estudo uma vez que este influenciará diretamente o funcionamento do sistema de drenagem pluvial, ao estar intrinsecamente ligado à

SMART WATER:

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

quantidade de água que a ele aflui. Assim, construíram-se três novos hietogramas considerando os cenários de aumento de precipitação de 8, 15 e 19%, respetivamente, para os períodos de 2022-2040, 2042-2070 e 2072-2100. Adicionalmente, considerou-se para cada um dos cenários um aumento da taxa impermeável inerente ao crescimento urbano de 0,1%/ano.

Os resultados obtidos mostram que a bacia de drenagem e o descarregador se mantêm funcionais e sem apresentar problemas relacionados com falta de capacidade de armazenamento. Apesar de inicialmente se ter considerado que existia a possibilidade de, face às maiores solicitações, nomeadamente ao maior caudal escoado, às quais o sistema estaria sujeito no futuro, a ocorrência de inundações na zona da bacia de retenção, os resultados das simulações realizadas indicam exatamente o oposto.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve objetivo avaliar o impacto das alterações climáticas numa bacia de drenagem localizada na Área Metropolitana de Lisboa, em especial, numa bacia de retenção.

Apesar dos resultados obtidos indicarem que o volume de armazenamento da bacia é suficiente para acomodar o caudal de ponta produzido num evento de precipitação crítico, existem registos de inundações na rotunda junto à bacia de retenção (ver Figura 2). Adicionalmente, quando um episódio de precipitação forte e continuada coincide com a preia-mar verifica-se uma incapacidade de descarga eficaz da vala.

Assim, torna-se necessário realizar a modelação integrada do sistema, ou seja, o escoamento superficial, a contribuição do escoamento subterrâneo, e o comportamento hidráulico da vala, da bacia, e da rede de coletores. O nível freático para este caso de estudo é relativamente elevado e é espetável que esta componente contribua para a inundação durante eventos de precipitação. Adicionalmente, também há indícios de que possam ocorrer afluições indevidas ao sistema pelo que terão que ser estudadas no futuro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos técnicos do município da bacia de drenagem, em estudo, por terem fornecido os dados e os elementos necessários à realização do presente estudo.

REFERÊNCIAS

- [1] EEA, E. E. (2017). Climate change impacts and vulnerability in Europe - An indicator-based report. Luxembourg
- [2] Kirshen, P., Caputo, L., Richard M. Vogel, P. M., Rosner, A., & Renaud, T. (2015). Adapting Urban Infrastructure to Climate Change; A Drainage Case Study. USA: ASCE.
- [3] Vogel, J. M., & Smith, J. B. (2010). Climate Change Vulnerability Assessments: A Review of Water Utility Practices. US EPA.
- [4] Sécio, H. (2012). Fundamentos para a integração em estruturas ecológicas das linhas de água que drenam o concelho do Barreiro. Lisboa: Instituto de Geografia e de Ordenamento do Território - Universidade de Lisboa.
- [5] Monjo, R. C. P. (2018). Deliverable D1.3 Report on extreme events prediction. Resilience to cope with climate change in urban áreas.