

Identificação de locais críticos no escoamento superficial das áreas urbanas de Arouca e São João da Madeira: metodologia e casos de estudo

Inês Marafuz

Doutoranda em Geografia, Departamento de Geografia, CEGOT-Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
ines.mfuz@gmail.com

Alberto Gomes

Departamento de Geografia, CEGOT-Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
albgomes@gmail.com

Resumo:

As inundações urbanas são um reflexo da expansão urbana no território e consequente impermeabilização do solo, o que promove a circulação rápida do escoamento superficial e a sua concentração em áreas deprimidas. Neste trabalho procede-se à esquematização e interpretação da estrutura definida pelo escoamento superficial nos núcleos urbanos da vila de Arouca e do concelho de São João da Madeira. Analisa-se o contributo dos elementos da malha urbana para a reunião do escoamento superficial em áreas deprimidas e identificam-se os locais mais suscetíveis à ocorrência de inundações. A metodologia adotada, constitui um procedimento expedito, que permite interpretar de que forma a morfologia urbana contribui e agrava a ocorrência de inundações, mediante a identificação dos locais críticos e da área urbana contributiva para esses locais. Os resultados obtidos podem apoiar as autarquias na identificação dos locais críticos e na implementação de medidas de correção que mitiguem a ocorrência de inundações urbanas motivadas pelo escoamento superficial.

Palavras-chave: Inundações urbanas. Escoamento superficial. Malha urbana. Locais críticos.

Abstract:

Identification of critical places in the surface runoff of the urban areas of Arouca and São João da Madeira: methodology and case studies

Urban flooding reflects the urban expansion on the territory and the consequent soil sealing, which promotes the rapid movement of runoff and its concentration in depressed areas. This work deals with the design and interpretation of the structure defined by the surface runoff in urban areas for the village of Arouca and for the city of São João da Madeira. It's analysed the contribution of the urban fabric for the runoff reunion in depressed areas and identified the areas most susceptible to the occurrence of inundations. The adopted methodology is a quick procedure that allows interpreting how urban morphology contributes and exacerbates the occurrence of floods, by the identification of critical areas and the contributory urban area to these locations. The results may support local authorities in identifying critical locations and implementing corrective measures to mitigate the occurrence of floods motivated by the urban surface runoff.

Keywords: Urban floods. Surface runoff. Urban fabric. Critical places.

1. Introdução

A expansão urbana de algumas vilas e cidades portuguesas que se intensificou nas últimas três décadas (SILVA e MARQUES, 2010), conduziu a profundas alterações no tipo de ocupação do solo. Este processo, implica uma resposta hidrológica complexa nas áreas urbanas, quer pela redução das áreas mais favoráveis à infiltração, nomeadamente, os espaços florestais e agrícolas (DGDRA, 2009), quer pelo incremento do escoamento superficial urbano, quer pela maior rapidez nessa circulação superficial, em resultado do aumento da área de solo impermeabilizado (LEOPOLD, 1968; VELHAS, 1991; MARAFUZ, 2011). Estas modificações na ocupação e na morfologia do território ao interferirem na quantidade e na velocidade do escoamento superficial, influenciam também o tempo de concentração deste escoamento em áreas deprimidas, contribuindo para a intensificação dos episódios de inundações urbanas (CAMORANI *et al.*, 2005, HÜMANN *et al.*, 2011).

As inundações urbanas ocorrem durante períodos chuvosos intensos e concentrados num curto espaço de tempo. São agravadas pelo incremento da circulação superficial das águas pluviais face à impermeabilização do solo, e pelo mau funcionamento ou subdimensionamento dos sistemas de drenagem pluvial (SOARES *et al.*, 2005; OLIVEIRA, 2003). Os estudos sobre inundações urbanas implicam uma análise integrada da drenagem superficial ao longo das vias e da rede de drenagem pluvial (subterrânea), o que vários autores designam por drenagem dupla ou *dual drainage* (BOONYA-ARONNET *et al.* 2007; MELLER e PAIVA, 2007). Neste duplo processo, o escoamento que circula superficialmente ao entrar no sistema de drenagem pluvial pode comprometer a sua capacidade de armazenamento, provocando uma mudança na direção do fluxo que volta novamente à superfície como escoamento excedentário (MELLER e PAIVA, 2007). Existem outras situações problemáticas que dizem respeito à concentração do escoamento em áreas topograficamente deprimidas ou à sua retenção por barreiras artificiais como muros, largos, prédios, entre outros, podendo atingir alturas de água consideráveis (OLIVEIRA, 2003). As inundações urbanas podem, assim, provocar múltiplos danos, nomeadamente, em estabelecimentos comerciais, industriais e particulares, em infraestruturas e acarretar avolumadas despesas aos serviços municipais (REBELO, 2001; DOUGLAS, 2010).

Dois exemplos desta problemática são a vila de Arouca e o concelho de São João da Madeira, cujo povoamento se desenvolveu na planície aluvial e encostas próximas dos vales do rio Arda e Ul, respetivamente. O processo de urbanização recente destes territórios implicou alterações na dinâmica do escoamento superficial que circula nas bacias hidrográficas que drenam estas áreas. Refira-se que a canalização do rio Arda no centro da vila de Arouca, em 1949 (SILVA, 1993), contribuiu, por um lado, para a minimização dos problemas relacionados com as cheias no antigo núcleo urbano e, por outro, para o incremento dos episódios de inundações urbanas (MARAFUZ, 2011).

Assim, neste trabalho apresenta-se um ensaio metodológico que teve como objetivo fundamental a esquematização e interpretação da estrutura que o escoamento superficial define nas áreas urbanas de Arouca e São João da Madeira, com a finalidade de se identificarem os locais mais suscetíveis à concentração de escoamento superficial. Esta análise implicou um reconhecimento prévio, em gabinete, e posteriormente confirmação no terreno, da morfologia associada aos núcleos urbanos em estudo e da topografia urbana que condiciona o padrão de escoamento superficial (MARAFUZ e GOMES, 2013a, b).

1.1. Estudos geográficos sobre inundações urbanas em Portugal

Em Portugal, a temática das inundações urbanas foi objeto de vários trabalhos, dos quais salientamos alguns mais próximos do nosso enfoque (AMARAL, 1968; COSTA, 1986; REBELO, 1997; REBELO, 2001; OLIVEIRA e RAMOS, 2002; OLIVEIRA, 2003; OLIVEIRA, 2005; SOARES, 2005; PAIVA, 2005; PEDROSA e PEREIRA, 2006; TAVARES e CUNHA, 2008; JACINTO, 2009; MARAFUZ, 2011; CUNHA *et al.*, 2012). A tendência recente de aumento do número de publicações no tema (Figura 1), acusa de certa forma, a relevância e intensificação do problema, assim como, a investigação que tem sido realizada, decorrente de novas exigências legislativas e operacionais dos sistemas de protecção civil (Lei 27/2006 e Lei 65/2007), nomeadamente, a elaboração dos Planos Municipais de Emergência e Protecção Civil (CUNHA *et al.*, 2012). Os trabalhos referenciados incluem a análise de elementos, sejam eles naturais ou relacionados com a disposição da malha urbana, que contribuem para a ocorrência de inundações urbanas.

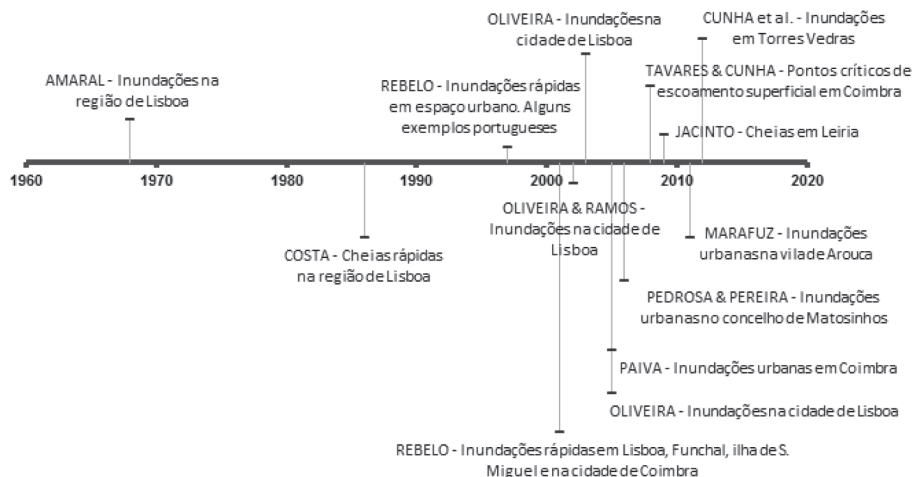


Figura 1
Breve síntese cronológica de trabalhos publicados sobre inundações urbanas em Portugal.

A título de exemplo, refere-se o trabalho de REBELO (2001) que aborda a frequência com que ocorrem inundações rápidas em Portugal, como consequência de episódios de precipitação intensa e concentrada em algumas horas. O autor sublinha ainda os problemas relacionados com o escoamento das águas nas cidades, condicionados quer pela morfologia urbana, quer pela presença de muros ou barreiras à livre circulação das águas, o que pode implicar a acumulação e subida do nível da água em locais específicos da área urbana. Como exemplos de áreas urbanas afetadas por este tipo de eventos, descreve os episódios das inundações em Lisboa (1967), no Funchal, em Povoação (ilha de S. Miguel) e a uma escala local, os casos emblemáticos da Sé Velha, de Santa Cruz e da bacia de receção da Solum, na cidade de Coimbra. Para os casos de estudo de Coimbra, apresenta um inventário da rede de drenagem “artificial” pois como

refere “algumas ruas funcionam como verdadeiros leitos de canais componentes de bacias de recepção ou canais de escoamento” (REBELO, 2001).

Salientam-se ainda os estudos sobre a importância da análise da intensidade e duração da precipitação no desencadeamento das inundações (COSTA, 1986); a inventariação dos elementos da malha urbana, relativamente à posição dos eixos (ruas e avenidas) e nós (praças e largos) face ao escoamento superficial, das ruas face às antigas linhas de água e da presença de obstáculos à circulação das águas (OLIVEIRA, 2003; SOARES, 2005; JACINTO, 2009); e a abordagem aos fatores permanentes e desencadeantes das inundações urbanas, bem como, a análise das características geográficas e da rede de drenagem dos pontos críticos (PEDROSA e PEREIRA, 2006).

1.2 Enquadramento geral das áreas de estudo

O núcleo urbano da vila de Arouca e o concelho de São João da Madeira inserem-se nas bacias hidrográficas do rio Arda e do rio Ul (Figura 2A e C), respetivamente, apresentando diferenças em termos morfológicos e dimensionais. A dimensão da bacia hidrográfica do rio Arda é muito superior à do rio Ul (mais do dobro), com uma área de 168km² e uma extensão do rio de 42,6 km, enquanto a bacia do Ul apresenta uma superfície de 62 km² e o rio um comprimento de 23,6 km. Desta forma, os tempos de concentração do escoamento também são muito diferentes, correspondendo a 7,8 horas no caso da bacia hidrográfica do Arda e a 5,5 horas, no Ul, segundo os valores obtidos pela aplicação da fórmula de Giandotti. Para o estudo do arranjo do escoamento superficial urbano, teve-se em consideração a área que drena para o centro da vila de Arouca (área contributiva da Figura 2B), com cerca de 0,93 km² e a área correspondente ao concelho de São João da Madeira (7,98 km²), espaço muito urbanizado, como se pode verificar pela Figura 2D.

No que diz respeito à morfologia, a vila de Arouca desenvolve-se a uma altitude média de 300 metros, reunindo parte do escoamento superficial das vertentes da Senhora da Mó (712 m), a oeste, e da Serra da Freita (1090 m), a sul. Já o município de São João da Madeira tem uma altitude média de 233 metros, apresentando declives mais acentuados a norte, o que implica uma maior rapidez na propagação da água e no tempo de concentração da mesma em áreas deprimidas artificializadas. As duas áreas de estudo inserem-se no subtipo climático de fachada atlântica (RIBEIRO *et al.*, 1988) e, segundo a classificação global de Köppen-Geiger apresentam verões secos e suaves e invernos chuvosos e temperados. De acordo com a distribuição da precipitação apresentada por DAVEAU (1977), a precipitação aumenta de Oeste para Este no setor de estudo referente à vila de Arouca, com valores que vão desde os 1400-1600 aos 1600-1800 mm. Em São João da Madeira a distribuição da precipitação é mais regular, apresentando valores que variam, em quase todo o município, entre os 1600 e os 1800 mm e que vão diminuindo à medida que nos deslocamos para sudeste (1400-1600 mm). Em termos geológicos, na vila de Arouca predominam os granodioritos biotíticos, porfiróides ou com esparsos megacristais (PEREIRA *et al.*, 2007), enquanto o município de São João da Madeira se encontra essencialmente no substrato metamórfico da Formação de S. João de Ver, à exceção do setor mais a oeste e sudoeste onde predomina a Unidade de Lourosa e alguns ortognaisses graníticos a granodioríticos (CHAMINÉ, 2000).

Quanto ao uso do solo na área que drena para a vila de Arouca, tendo como base a carta de ocupação do solo de 2007 (IGP, 2007), verifica-se a dominância dos espaços artificializados

Identificação de pontos críticos no escoamento superficial das áreas urbanas de Arouca e São João da Madeira: metodologia e casos de estudo

(63,6%) e, por isso, fortemente impermeabilizados, contribuindo para o incremento do escoamento superficial (MARAFUZ, 2011).

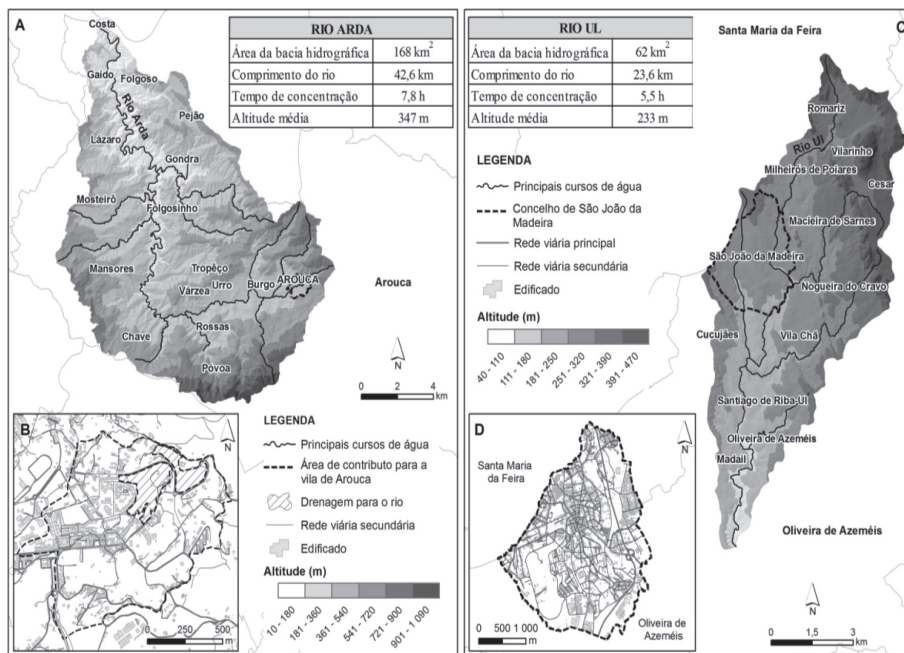


Figura 2 Localização das áreas de estudo: bacia hidrográfica do rio Arda (A), sector da vila de Arouca (B), bacia hidrográfica do rio Ul (C), concelho de São João da Madeira. (D).

A restante área é ocupada por espaços agrícolas e agro-florestais (26,8%) e com menor expressão, por florestas e meios naturais e semi-naturais. Em São João da Madeira o solo é maioritariamente ocupado por áreas urbanizadas (cerca de 70%) o que remete para o elevado grau de impermeabilização do solo neste município e, desta forma, implicando um maior volume de água que circulará superficialmente. Já as áreas com maior capacidade de infiltração de água, nomeadamente as florestas e os meios naturais representam apenas 16,7% da área concelhia (MARAFUZ e GOMES, 2013b).

2. Metodologia

A análise da estrutura do escoamento superficial nos núcleos urbanos considerados e a identificação dos locais suscetíveis/pontos críticos à ocorrência de inundações urbanas desenvolveu-se por três etapas (Figura 3):

i) o trabalho prévio de gabinete que consistiu na reunião e análise preliminar da informação de base necessária à realização do inventário do escoamento superficial que drena os centros urbanos de Arouca e São João da Madeira;

ii) a identificação, em gabinete, dos locais que reúnem as condições topográficas favoráveis à ocorrência de inundações urbanas e a esquematização prévia da estrutura do escoamento superficial urbano;

iii) a validação, no campo e através dos registos/informações de ocorrências disponíveis, do inventário esquematizado do escoamento superficial e dos locais críticos identificados.

Na primeira etapa do ensaio metodológico reuniu-se a informação que serviu de base ao esboço inicial do escoamento superficial nas áreas de estudo, nomeadamente, os dados altimétricos à escala 1/1000, com curvas de nível equidistantes 1 m, que permitiram gerar um modelo digital de terreno muito pormenorizado, a planimetria e os ortofotomapas do ano 2005.

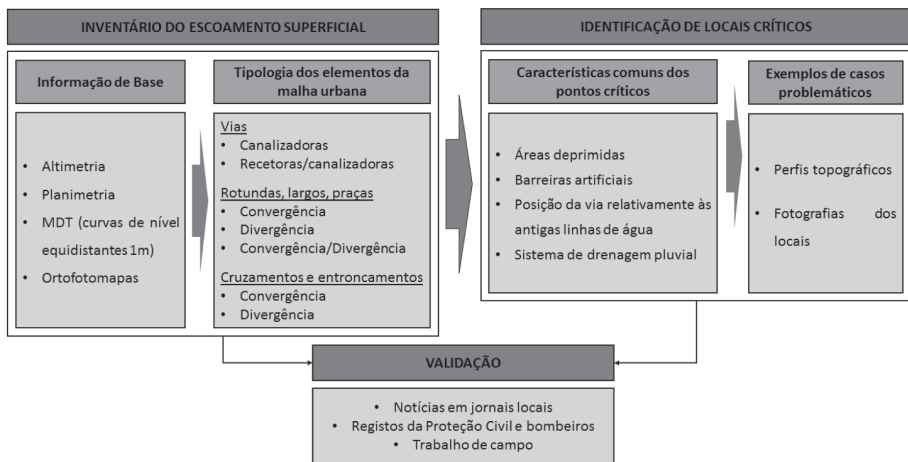


Figura 3

Esquema metodológico seguido na investigação das inundações urbanas para as áreas estudadas.

Com esta informação, efetuou-se o reconhecimento prévio da morfologia do território, o que permitiu: a análise da inclinação das ruas e, assim, ter a primeira ideia sobre a velocidade e a direção que os fluxos de água superficiais assumem em caso de precipitação intensa; a identificação dos pontos de reunião ou divergência do escoamento e das áreas deprimidas onde o escoamento se pode concentrar. O ensaio metodológico baseou-se em ideias expressas em trabalhos anteriores (REBELO, 2001; OLIVEIRA, 2003; SOARES *et al.*, 2005), que apresentaram alguns exemplos relacionados com o contributo da malha urbana na canalização do escoamento ou no impedimento da circulação do mesmo. Desse modo, os inventários vetorizados no software ArcGis 9.3.1., incidiram sobre as particularidades de cada rua, praça, largo e rotunda, assinalando-se as direções que a água percorre de e para cada cruzamento/ entroncamento, identificando-se os pontos de convergência/divergência do escoamento (OLIVEIRA, 2005). As vias foram classificadas em função do seu papel canalizador, ou seja, de encaminharem o fluxo para outras ruas, ou do seu papel recetor, no caso de receberem o escoamento de outras vias (Figura 4). No entanto, assumiu-se que as ruas recetoras também são canalizadoras, uma vez que, no final do seu percurso, canalizam o fluxo para outras ruas. Por outro lado, todas as vias que encaminham o fluxo originado por um ponto de convergência de águas foram também

Identificação de pontos críticos no escoamento superficial das áreas urbanas de Arouca e São João da Madeira: metodologia e casos de estudo

designadas por vias canalizadoras. Já as praças, os largos e as rotundas foram denominadas por áreas divergentes, nos casos em que canalizam a água que cai na sua superfície; por convergentes quando funcionam como locais de reunião do escoamento; e assumem ambas as designações sempre que recebem o escoamento de uma ou várias ruas e, posteriormente, o encaminhem. No que diz respeito aos cruzamentos e aos entroncamentos, estes constituem pontos de dispersão ou de concentração do escoamento superficial (Figura 4).

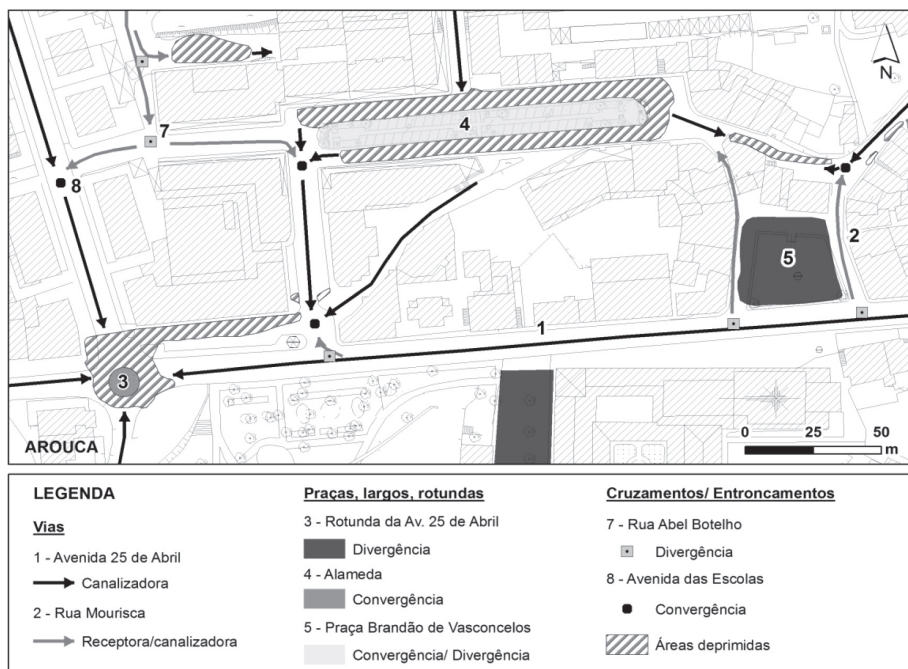


Figura 4
Tipologia atribuída aos elementos da malha urbana (exemplo do centro de Arouca).

Para os dois casos de estudo, ainda se teve em consideração a posição de cada via face aos cursos de água canalizados. Os inventários do escoamento superficial realizados em gabinete foram posteriormente validados no terreno, confirmando-se: as direções que o fluxo assume ao longo das vias, a existência de áreas deprimidas onde este se pode concentrar e a existência de barreiras artificiais que impeçam a livre circulação do escoamento superficial.

Tendo em conta o esboço sobre o escoamento superficial e a recolha de informação sobre episódios de inundações em jornais locais, nos gabinetes de proteção civil das Câmaras Municipais e nos Corpos de Bombeiros, identificaram-se os locais críticos de inundações urbanas. Para se assinalarem estes pontos teve-se também em consideração as particularidades mais comuns que os caracterizam, nomeadamente, a sua localização em áreas topograficamente deprimidas, a proximidade a cursos de água, canalizados ou não; a presença de barreiras artificiais como muros e prédios, que bloqueiam a circulação do escoamento e ainda, o mau funcionamento e o estado de conservação dos sistemas de drenagem pluvial. Traçaram-se ainda alguns perfis

topográficos, como forma de esquematizar e visualizar o contributo dos fluxos provenientes de vias e espaços localizados a cotas mais elevadas até às áreas mais deprimidas.

3. Escoamento superficial e inundações urbanas em Arouca e São João da Madeira

3.1 Arranjo do escoamento superficial

O inventário realizado com o intuito de compreender a dinâmica do escoamento superficial nos centros urbanos de Arouca e São João da Madeira é fulcral no estudo das inundações urbanas, uma vez que devem ser analisados os diferentes comportamentos assumidos pelos elementos da malha urbana face a um episódio de precipitação (OLIVEIRA, 2003). Assim, as Figuras 5 e 6 apresentam o resultado da classificação individual de cada elemento da malha urbana em função do papel que desempenha no processo de escoamento superficial. No caso de Arouca constata-se que o local de maior concentração da água diz respeito à área envolvente à rotunda da Avenida 25 de Abril (Figura 5, ponto a). Este facto é justificado pela morfologia da vila, que favorece a circulação do escoamento, sobretudo dos setores Norte e Este da área contributiva, onde os declives são acentuados, para os setores Sul e Oeste, que constituem encostas mais suaves do vale do rio Arda em que os declives são progressivamente menores, localizando-se a dita rotunda sobre a planície aluvial do rio, agora urbanizada e com o rio encanado por conduta subterrânea. Refira-se ainda que devido aos fortes declives das ruas (média superior a 8%), a velocidade de propagação e concentração da água em áreas topograficamente deprimidas é bastante rápida, implicando problemas na capacidade de escoamento do sistema de drenagem pluvial.

Para além da área da rotunda, as ruas mais problemáticas situam-se em locais deprimidos da vila, que correspondem na maioria dos casos, ao antigo leito e planície aluvial do rio Arda (ou Marialva, como é designado na vila), coincidindo paralelamente com o mesmo e podendo “funcionar como autênticos ribeiros em situações de chuva intensa” (OLIVEIRA, 2003). São exemplos a Rua Alfredo Vaz Pinto (Figura 5, ponto b), onde se registam inundações, sobretudo no posto de turismo situado precisamente sobre o antigo curso de água, a uma cota inferior à da rua e a Alameda (Figura 5, ponto c) que funciona como área recetora de escoamento superficial, próxima de uma área deprimida onde ocorre uma concentração de águas que não conseguem circular devido à barreira artificial formada pelo largo existente.

Em São João da Madeira existem algumas áreas deprimidas onde há reunião do escoamento superficial proveniente de várias ruas, algumas com declives acentuados que favorecem a rapidez na circulação da água. Por este motivo, alguns episódios de inundações são agravados pelo escoamento excedentário, uma vez que, os sistemas de drenagem pluvial, em vários casos, parecem não ter capacidade para suportar o volume de água que circula superficialmente (cf. informação oral do Gabinete de Protecção Civil de CMSJM). Como consequência, há registos de incidentes e danos em viaturas, relacionados com a movimentação de tampas de saneamento, sobretudo na Avenida da Liberdade (Figura 6, ponto a). É também exemplo de uma área deprimida para a qual pendem duas ruas com declives muito acentuados, a Rua do Parrinho (Figura 6, ponto b). Nesta rua, existe um obstáculo artificial que impede a circulação da água e problemas associados ao mau funcionamento do sistema de drenagem pluvial, tal como acontece na Rua Oliveira de Azeméis (Figura 6, ponto c).

Identificação de pontos críticos no escoamento superficial das áreas urbanas de Arouca e São João da Madeira: metodologia e casos de estudo

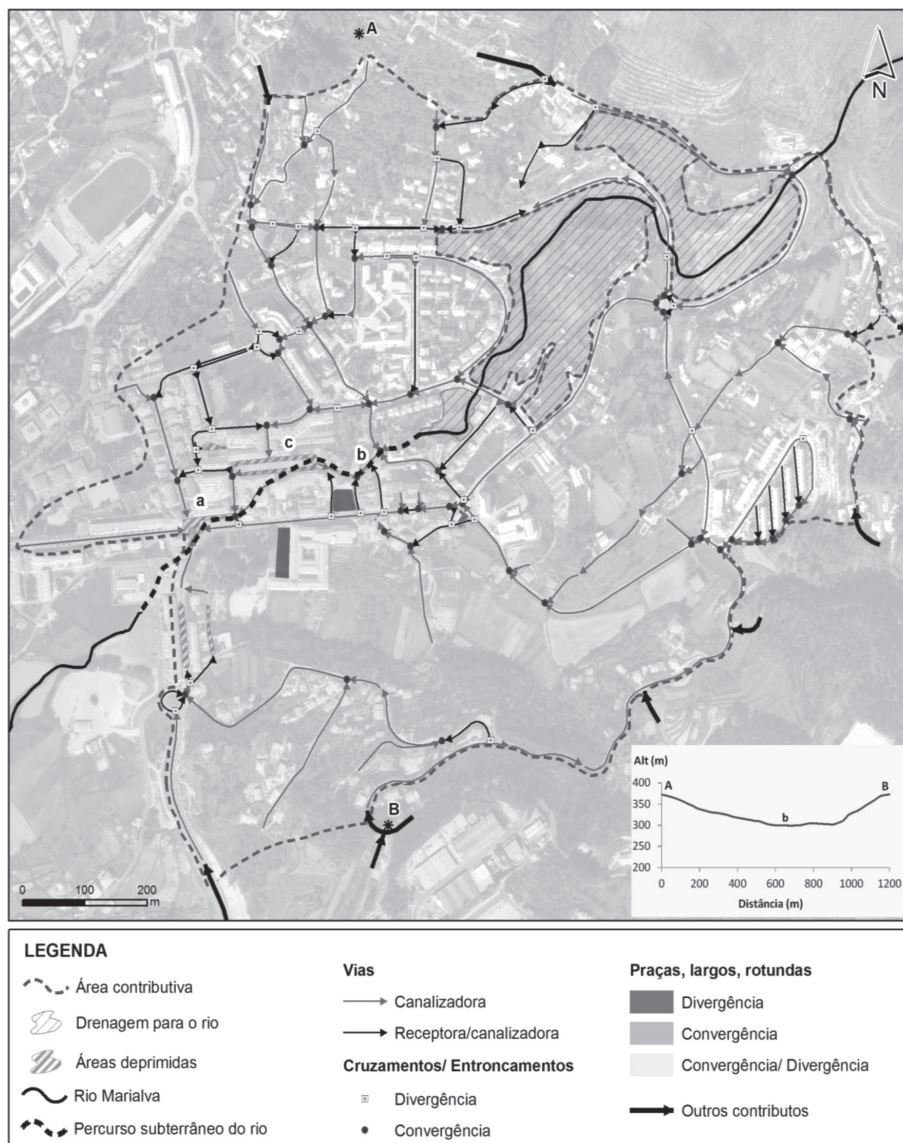


Figura 5
Escoamento superficial na área contributiva para o centro da vila de Arouca (validado após trabalho de campo).

No concelho existem ainda algumas áreas deprimidas que foram criadas pela construção de infraestruturas, nomeadamente, túneis ou viadutos.

No Quadro I, apresenta-se uma síntese quantitativa dos elementos que constituem a malha urbana do setor da Vila de Arouca e de São João da Madeira. No primeiro caso, verifica-se que das 170 vias analisadas, 121 funcionam como canalizadoras de escoamento enquanto

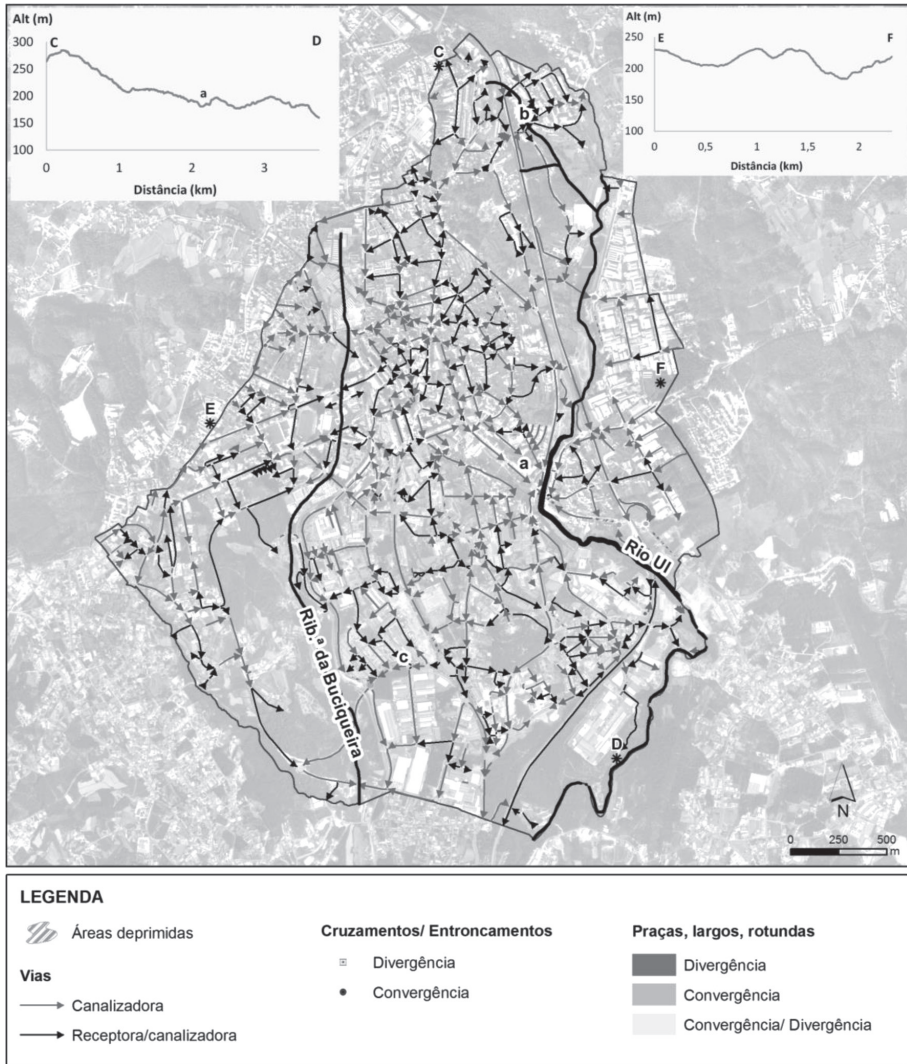


Figura 6
Escoamento superficial no concelho de São João da Madeira (validado após trabalho de campo).

as restantes ruas são recetoras e posteriormente canalizadoras do fluxo. Existem 10 praças, largos ou rotundas, das quais 6 são convergentes/divergentes, embora as áreas de divergência de águas apresentem uma maior dimensão (2841 m²).

Em termos de cruzamentos e entroncamentos, verifica-se o predomínio de pontos de concentração ou convergência de escoamento, o que pressupõe a existência de maiores volumes de água a circular depois da reunião da mesma nestes pontos. O mesmo sucede em São João da Madeira, já que em 266 cruzamentos e entroncamentos, 148 são locais de convergência de escoamento superficial. Neste concelho existem 110 áreas (praças, largos ou

Identificação de pontos críticos no escoamento superficial das áreas urbanas de Arouca e São João da Madeira: metodologia e casos de estudo

Quadro I

Síntese do contributo dos elementos da malha urbana na circulação do escoamento superficial na Vila de Arouca (VA) e em São João da Madeira (SJM).

Tipologia		Número		Extensão (m)		Área (m ²)	
		VA	SJM	VA	SJM	VA	SJM
Vias	Canalizadora	121	442	11042	45431	---	---
	Recetora/canalizadora	49	334	3299	31272	---	---
Praças, largos, rotundas	Divergência	3	5	---	---	2841	603
	Convergência	1	9	---	---	98	3113
	Converg./Divergência	6	96	---	---	2122	22254
Cruzamentos, entroncamentos	Divergência	35	118	---	---	---	---
	Convergência	52	148	---	---	---	---

rotundas) convergentes, divergentes e de convergência/divergência, com destaque para as últimas que representam a maioria (96 áreas) e têm uma dimensão de 22.254 m². No que diz respeito ao número de vias, verifica-se a presença de 442 ruas canalizadoras e 334 recetoras/canalizadoras. Em ambas as áreas de estudo, como era esperado, as vias são o elemento que maior contributo exerce no processo de escoamento superficial, pela quantidade, extensão e disposição que ocupam.

3.2 Validação dos elementos mapeados e dos locais críticos identificados

Após a esquematização do escoamento superficial nos núcleos urbanos e da identificação dos locais críticos, em gabinete, foi executada a validação no campo e confirmadas as ocorrências através dos registos/informações dos agentes de proteção civil e de notícias recolhidas em jornais (Jornal Defesa de Arouca, Gazeta de Arouca, Jornal de Arouca, Roda Viva, O Regional e O Labor). Como resultado, apresenta-se a Figura 7A e B, com os locais críticos relativos à ocorrência de inundações urbanas. No caso de Arouca, assinalaram-se 6 locais muito suscetíveis localizados no centro da vila (Figura 7A). Já em São João da Madeira, esse número aumentou para 20 casos, em parte, porque a área em estudo também é maior (Figura 7B).

Analisando pormenorizadamente alguns desses casos e para facilitar a compreensão das características da malha urbana que interferem no escoamento superficial desses locais, apresentam-se alguns casos ilustrados com perfis topográficos e fotografias. Os perfis demonstram que o escoamento superficial não circula regularmente durante o seu percurso pelos elementos da malha urbana, dependendo da inclinação dos mesmos.

No perfil topográfico A (Figura 8) evidenciam-se as características de dois locais críticos da vila de Arouca. O primeiro diz respeito à Alameda (Figura 7), espaço amplo e aplanado, com duas vias e jardim central, que funciona como área recetora de águas provenientes de uma via, atuando como um pequeno reservatório de escoamento pois, como foi se referiu, a presença de obstáculos à circulação da água neste local impede a sua circulação rápida para as ruas que drenam para cotas mais baixas. Na Figura 8a é possível visualizar que abaixo da Alameda surge uma via recetora/canalizadora cujo fluxo converge com as águas provenientes do setor sul da Alameda, posteriormente canalizado para uma outra rua (Rua António Almeida Brandão).

Esta via apresenta uma forte inclinação, proporcionando uma rápida concentração do escoamento no final da mesma, onde existe uma pequena área deprimida (Figura 8b). De

seguida, a água é encaminhada para o parque de estacionamento (frente a um supermercado) que se situa ao lado desta pequena depressão, local também frequentemente inundado, segundo os bombeiros voluntários de Arouca, devido aos constrangimentos que o próprio parque cria à circulação da água.

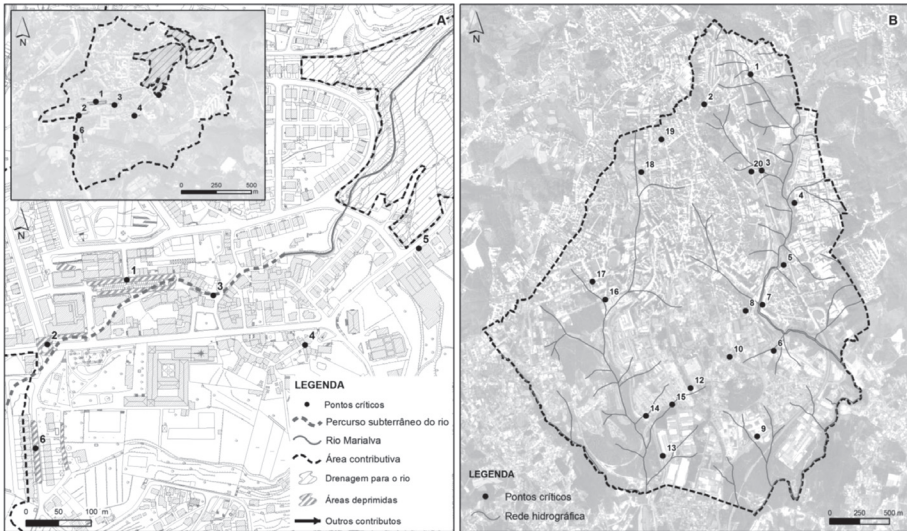


Figura 7
Locais críticos de inundações urbanas na vila de Arouca (A) e no concelho de São João da Madeira (B).

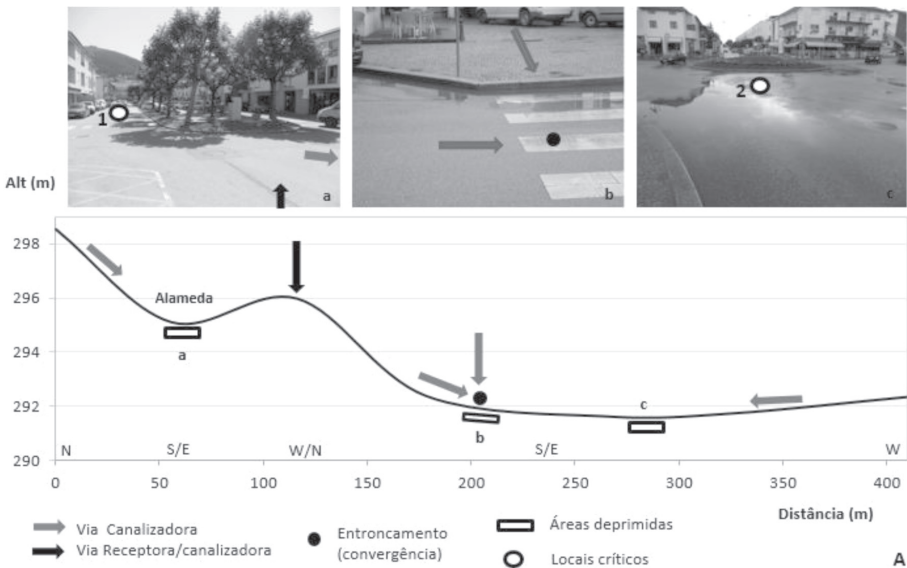


Figura 8
Perfil topográfico A: locais críticos 1 (Alameda) e 2 (rotunda Av. 25 de Abril) na vila de Arouca.

O local crítico 2 (Figura 8c) é o local mais baixo da área urbana considerada e um ponto de convergência da drenagem superficial, sendo um dos mais problemáticos da malha urbana da vila de Arouca, implicando problemas de circulação na via e inundações frequentes nos pisos térreos e caves dos estabelecimentos comerciais que circundam esta rotunda.

O perfil B (Figura 9) evidencia um percurso total de 538 m cujo ponto mais elevado se localiza a 326,5 m. Ao longo desta rua surgem vários pontos de confluência de escoamento superficial, como se pode ver pelas fotografias c e d da Figura 9. Com efeito, esta funciona como uma via de passagem de água, visto que encaminha toda a drenagem que recebe dos quatro cruzamentos. No final deste percurso, há uma confluência de escoamento numa via construída exatamente sobre o antigo leito do rio Marialva, Figura 7). A Figura 9e mostra essa rua e o local de convergência, a partir do qual o fluxo é canalizado para a Rua Alfredo Vaz Pinto, onde se localiza o posto de turismo, visível na fotografia. Estamos perante uma área problemática, não só pelo facto da rua se posicionar paralelamente ao curso de água canalizado mas também pelo mau funcionamento do sistema de drenagem pluvial, que não tem capacidade para escoar toda a água que circula e se reúne nestas vias.

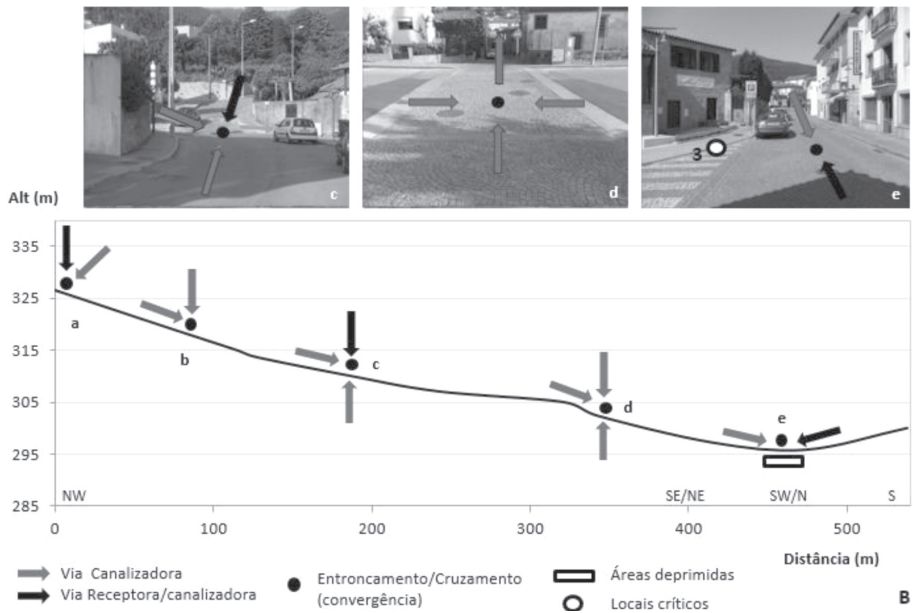


Figura 9
Perfil topográfico B: local crítico 3 (Rua Alfredo Vaz Pinto) na vila de Arouca.

No perfil topográfico C (Figura 10) encontramos uma área deprimida que recebe o escoamento de duas ruas recetoras/canalizadoras com declives acentuados, à partida, canalizando significativos volumes de água. Precisamente na pequena depressão formada na estrada existe um separador que faz com que a água fique retida nesta área e, como o sistema de drenagem pluvial não tem capacidade suficiente para dar vazão ao fluxo, as casas próximas são frequentemente inundadas (fotografia da Figura 10).

No perfil D (Figura 11) temos o exemplo de outro local crítico em São João da Madeira, na Rua Oliveira de Azeméis. Neste local, verifica-se a concentração do escoamento numa área cujo único coletor pluvial existente não consegue escoar toda a água proveniente de uma via recetora e que fica retida neste local devido à presença de um obstáculo, área ajardinada a cota mais elevada, que bloqueia a circulação da água.

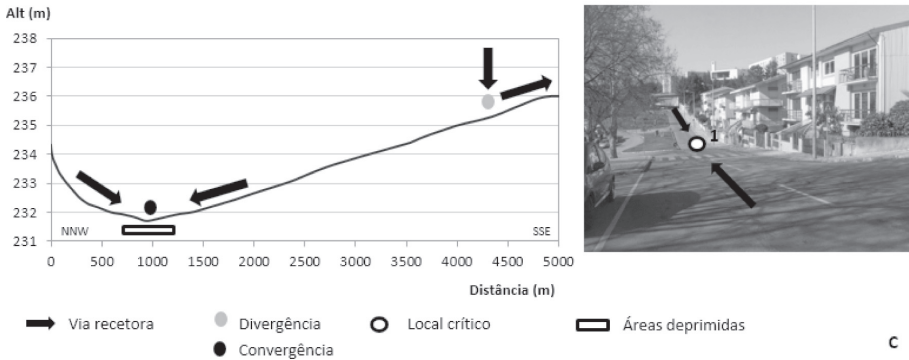


Figura 10
Perfil topográfico C: local crítico 1 (Rua do Parrinho) em São João da Madeira.

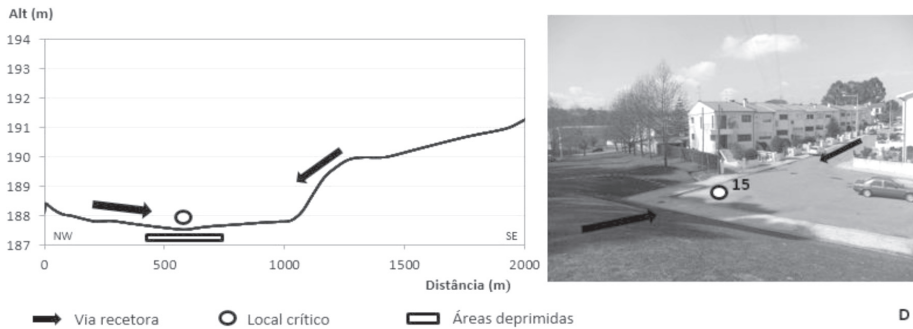


Figura 11
Perfil topográfico D: local crítico 15 (Rua Oliveira de Azeméis) em São João da Madeira.

3.3 Síntese das características do escoamento superficial nos locais críticos identificados

Nos Quadro II e III identificam-se e descrevem-se as características dos principais locais críticos de inundações urbanas na vila de Arouca e São João da Madeira, e assinala-se a área contributiva de drenagem para cada local. Ressalva-se que estes valores são números aproximados que, no caso de Arouca, estão limitados à área contributiva total delimitada, ou seja, não se têm em consideração outros contributos e, em São João da Madeira, cingem-se ao limite administrativo do concelho.

Identificação de pontos críticos no escoamento superficial das áreas urbanas de Arouca e São João da Madeira: metodologia e casos de estudo

Na vila de Arouca identificámos, então, 6 locais críticos cujas características mais comuns referem-se à sua localização em áreas deprimidas, para as quais, em alguns casos, converge a drenagem proveniente de várias ruas com declives acentuados (Quadro II e Figura 12) e 4 vias posicionadas paralelamente ao antigo curso de água. Como foi mencionado, a rotunda da Av. 25 de Abril é o local crítico que reúne maior quantidade de água, drenada numa área de 939779 m² e a Rua D. Afonso Henriques o que apresenta uma menor área (86827 m²).

Quadro II

Principais locais críticos de inundações urbanas na vila de Arouca e área contributiva aproximada.

Local crítico	Características	Área (m ²)
1 - Alameda	Área deprimida recetora de fluxo de uma via e posicionada paralelamente ao antigo rio. O largo funciona como uma barreira à livre circulação da água.	295698
2 - Rotunda Av. 25 de Abril	Área deprimida, local de confluência de drenagem superficial proveniente de várias ruas, algumas com declives acentuados. Localização da via em posição paralela à do rio.	933779
3 - R. Alfredo Vaz Pinto	Área deprimida que se situa precisamente sobre o antigo rio. Mau funcionamento e estado de conservação das sarjetas.	473077
4 - R. Santo António	Área deprimida.	116884
5 - Av. Reinaldo Noronha	Habitções construídas em cima de uma linha de água.	94843
6 - R. D. Afonso Henriques	Área deprimida.	86827



Figura 12
Fotografias dos locais críticos 4, 5 e 6.

Em São João da Madeira, descrevemos as características de 8 locais críticos (Quadro III e Figura 13), destacando as depressões existentes no território que recebem o escoamento de ruas declivosas, a presença de constrangimentos (muros e separadores) à propagação da água e os problemas de vazão do fluxo por parte dos sistemas de drenagem pluvial.

Analisando a dimensão das áreas que drenam para estes locais, verifica-se que a Av. da Liberdade é o local crítico que recebe maior volume de água, numa área de 1.135.336 m², o que poderá justificar a pressão que existe nos sistemas de drenagem pluvial e que conduz à movimentação das tampas de saneamento nesta área e, assim, às inundações resultantes da reunião do escoamento superficial e do excedentário da rede subterrânea (Figura 13, local crítico 7). Com menor área contributiva, assinalamos o Parque Municipal Ferreira de Castro (8925 m²), apesar deste local crítico se encontrar quase no limite do concelho e a Rua Oliveira de Azeméis que apresentam uma área contributiva de 25.812 m².

Quadro III

Principais locais críticos de inundações urbanas no concelho de São João da Madeira e área contributiva.

Local crítico	Características	Área (m ²)
1 - Rua do Parrinho	Área deprimida para onde convergem duas ruas com declives acentuados. Presença de uma barreira artificial e uma habitação construída sobre linha água de água (2 ^a ordem).	65881
2 - Parque Municipal F. Castro	Ponto de convergência de escoamento que fica retido devido a presença de uma barreira artificial.	8925
3 - R. Manuel Vieira Araújo	Área deprimida artificialmente (viaduto).	38169
7 - Av. da Liberdade	Área deprimida com problemas no sistema de drenagem pluvial.	1135336
12 - Av. Dr. Renato Araújo	Área deprimida para onde convergem duas vias canalizadoras e uma recetora.	209688
15 - R. Oliveira de Azeméis	Problemas no sistema de drenagem pluvial e concentração de escoamento devido à presença de uma barreira.	25812
16 - Av. Casaldelo	Área deprimida para onde convergem duas vias recetoras e uma canalizadora.	554850
18 - R. da Fundação	Área deprimida.	293255

**Figura 13**

Fotografias dos locais críticos 1, 2, 3, 7, 12 e 16.

4. Conclusões

A esquematização do escoamento superficial na vila de Arouca e no concelho de São João da Madeira, tendo em conta os contributos dos elementos da malha urbana, a verificação de campo e a validação pelos registos de ocorrências dos agentes de proteção civil e dos jornais locais, permitiu a identificação dos locais críticos de inundações urbanas que ocorrem nestas áreas. Trata-se de uma metodologia expedita que requer pouca informação de base para a elaboração do inventário inicial, exigindo apenas um esforço maior na fase de validação de campo, pela necessidade de se verificarem todos os locais críticos e pela morosidade na consulta dos jornais e registos disponíveis. Por outro lado, a falta de dados sobre o sistema de drenagem pluvial não permite fazer estudos mais completos, que incluam a interação entre o escoamento superficial e o subterrâneo. No entanto, esta abordagem é fundamental para que se perceberam os problemas associados à disposição da rede viária e à quantidade, dimensão

e estado de conservação dos coletores pluviais, de modo a perceber as razões que explicam a ocorrência de inundações em determinados locais e a fazer-se um melhor planeamento futuro. A metodologia apresentada e os resultados obtidos podem apoiar as autarquias na identificação dos locais críticos de inundações urbanas e na implementação de medidas de correção que minimizem ou suprimam estes problemas.

A continuidade e aprofundamento dos resultados destes trabalhos passará pela estimação dos caudais que circulam nestas vias durante episódios de forte precipitação, na identificação mais detalhada dos elementos expostos e na avaliação dos danos que estas inundações urbanas provocam.

5. Agradecimentos

Os nossos profundos agradecimentos aos gabinetes de Proteção Civil das Câmaras Municipais de Arouca e São João da Madeira, que facultaram informação referente às ocorrências de inundações urbanas e a diversa cartografia de base relativa às áreas em estudo, nomeadamente, a cartografia vetorial à escala 1/2000 e 1/1000, respetivamente. Aos bombeiros voluntários de Arouca que indicaram os locais críticos de inundações urbanas na vila e à Associação para a Defesa da Cultura Arouquense que facultou o acesso aos arquivos dos jornais locais.

Referências bibliográficas

- AMARAL, Ilídio do (1968) - “As inundações de 25/26 de Novembro de 1967 na região de Lisboa”. *Finisterra*, vol. 3/ nº 5, Lisboa, pp. 79-84.
- BOONYA-ARONNET, Surajate; MAKSIMOVIC, Cedo; PRODANOVIC, Dusan e DJORDJEVIC, Slobodan (2007) - “Urban pluvial flooding: development of GIS based pathway model for surface flooding and interface with surcharged sewer model”. *6th NOVATECH International Conference*, Lyon, pp. 481-488.
- CAMORANI, Giorgio; CASTELLARIN, Attilio e BRATH, Armando (2005) - “Effects of land-use changes on the hydrologic response of reclamation systems”. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30, pp. 561-574.
- CHAMINÉ, Hélder Iglésias (2000) - *Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena): implicações geodinâmicas*. Tese de Doutoramento, Universidade do Porto, Porto.
- COSTA, P. Celestino (1986) - “As cheias rápidas de 1967 e 1983 na região de Lisboa”. In: *Livro de homenagem a Mariano Feio*, Lisboa, pp. 601-614.
- CUNHA, Lúcio; LEAL, Cátia; TAVARES, Alexandre e SANTOS, Pedro (2012) - “Risco de inundações no município de Torres Novas (Portugal)”. *Revista Geonorte*, Edição Especial, vol. 1/ nº4, pp. 961-972.
- DAVEAU, Suzanne (1977) - *Répartition et rythme des précipitations au Portugal*. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.
- Jornada sobre a protecção do solo* (2009) - Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento rural.
- DOUGLAS, I.; GARVIN, S.; LAWSON, N.; RICHARDS, J.; TIPPETT, J. e WHITE, I. (2010) - “Urban pluvial flooding: a qualitative case study of cause, effect and nonstructural mitigation”. *Journal of Flood Risk Management*, vol. 3, pp. 112-125.

- HÜMANN, Marco; SCHÜLER, Gebhard; MÜLLER, Christoph; SCHNEIDER, Raimund; JOHST, Margret e CASPARI, Thomas (2011) - "Identification of runoff processes - The impact of different forest types and soil properties on runoff formation and floods". *Journal of Hydrology*, vol. 409, pp. 637-649.
- IGP (2007) - *Carta de Ocupação do solo de 2007*. Instituto Geográfico do Exército.
- JACINTO, Rita (2009) - *As Cheias na cidade de Leiria: contributo dos SIG para o ordenamento do território*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Porto.
- Lei 27/2006 - Lei de Bases da Protecção Civil. DR 1.ª série, n.º 126.
- Lei 65/2007 - Define o enquadramento institucional e operacional da protecção civil no âmbito municipal, estabelece a organização dos serviços municipais de protecção civil e determina as competências do comandante operacional municipal. DR, 1.ª série, n.º 217.
- LEOPOLD, Luna B. (1968) - "Hydrology for- Urban Land Planning - A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use". *Geological Survey Circular*, 54, United States Department of the Interior.
- MARAFUZ, Inês (2011) - *Inundações urbanas e cheias progressivas em Arouca: casos de estudo, metodologias de análise e ordenamento do território*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Porto.
- MARAFUZ, Inês e GOMES, Alberto (2013a) - "Inundações urbanas na Vila de Arouca: Organização do escoamento superficial e áreas susceptíveis". *e-LP Engineering and Technology*, vol. 3, pp. 1-19.
- MARAFUZ, Inês e GOMES, Alberto (2013b) - "Locais críticos de inundações urbanas no concelho de São João da Madeira: Identificação a partir do reconhecimento do escoamento superficial na malha urbana". *VI Congresso Nacional de Geomorfologia*, Coimbra, pp. 105-109.
- MELLER, Adalberto e PAIVA, Eloiza (2007) - "Simulação hidrodinâmica 1D de inundações em sistema de drenagem urbana". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 2/ n.º2., pp. 81-92.
- OLIVEIRA, Pedro e RAMOS, Catarina (2002) - "Inundações na cidade de Lisboa durante o século XX e seus factores agravantes". *Finisterra*, vol. XXXVII/ n.º 74, Lisboa, pp. 33-54.
- OLIVEIRA, Pedro (2003) - *Inundações na Cidade de Lisboa. Estudo de Hidrogeografia Urbana*. Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- OLIVEIRA, Pedro (2005) - *Inundações na cidade de Lisboa. Implicações da melhoria do sistema de drenagem artificial após os anos 60*. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa.
- PAIVA, I. (2005) - *Risco de inundação em Coimbra. Factores físicos e acção antrópica - as inundações urbanas e as cheias do Mondego (1950/51 -2003/04)*. Tese de Mestrado (não publicada), Univ. Coimbra, 193 p.
- PEDROSA, António e PEREIRA, Andreia (2006) - "Diagnóstico dos fatores condicionantes da susceptibilidade face ao risco de inundações urbana no concelho de Matosinhos". *Territorium*, Revista da Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, nº 13, pp. 25-51.
- PEREIRA, E.; RODRIGUES, J.; GONÇALVES, L.; MOREIRA, A. e SILVA, A. (2007) - *Notícia Explicativa da Folha 13-D (Oliveira de Azeméis) da Carta Geológica de Portugal, na escala 1/50.000*. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, Lisboa.
- REBELO, Fernando (1997) - "Risco e crise nas inundações rápidas em espaço urbano. Alguns exemplos portugueses analisados a diferentes escalas". *Territorium*, nº 4, pp. 29-47.
- REBELO, Fernando (2001) - *Riscos Naturais e Acção Antrópica: estudos e reflexões*. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- RIBEIRO, Orlando; LAUTENSACH, Hermann e DAVEAU, Suzanne (1988) - *Geografia de Portugal: O ritmo climático e a paisagem*. Edições João Sá da Costa, Lisboa.
- SILVA, Filipe e MARQUES, Teresa (2010) - "The study of urban growth through multi-temporal cartography and spatial indicators: The case of Porto Region, Portugal". *17th International Seminar on Urban Form (ISUF)*, Hamburg and Lübeck, pp. 1-24.

Identificação de pontos críticos no escoamento superficial das áreas urbanas de Arouca e São João da Madeira: metodologia e casos de estudo

- SILVA, Filomeno (1993) - *Arouca D'Ontem*. Associação para a Defesa da Cultura Arouquense, Arouca.
- SOARES, Ana; PEREIRA, Bruno; SANTOS, Carmen; RAMOS, Catarina; OLIVEIRA, Pedro e VAZ, Teresa (2005) - "Inundações urbanas: o caso das ruas de St^a. Marta, S. José e Portas de St^o Antão (Lisboa)". *X Colóquio Ibérico de Geografia*.
- TAVARES, Alexandre e CUNHA, Lúcio (2008) - "Perigosidade natural na gestão territorial. O caso do Município de Coimbra". *A Terra: Conflitos e Ordem*, pp. 89-100.
- VELHAS, Edite (1991) - "A Bacia Hidrográfica do Rio Leça - Estudo Hidroclimatológico". *Revista da Faculdade de Letras - Geografia*. vol. VII, 1^a Serie, Porto, pp. 139-251.