

# INUNDAÇÕES URBANAS NA VILA DE AROUCA: ORGANIZAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E ÁREAS SUSCETÍVEIS

INÊS MARAFUZ

Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade do Porto  
ines.mfuz@gmail.com

ANTÓNIO ALBERTO GOMES

Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade do Porto  
Centro de Estudos em Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT)  
atgomes@netcabo.pt

**RESUMO:** As inundações urbanas, embora sejam um tema pouco estudado em Portugal, são um reflexo da intensificação da urbanização do território, facto que se tem acentuado no país (Oliveira, 2003). Com efeito, o objetivo deste artigo é compreender a dinâmica do escoamento superficial na área urbanizada da Vila de Arouca, mediante a identificação e análise do contributo que os elementos da malha urbana desempenham em todo esse processo. Por outro lado, analisa-se a evolução dos usos do solo nas últimas décadas, de forma a entender os efeitos que o incremento de áreas impermeabilizadas teve no reforço da componente superficial do escoamento. O inventário realizado sobre o escoamento superficial conduzido pelas vias da malha urbana, possibilitou a determinação dos locais mais problemáticos na área da vila e dos elementos expostos a este tipo de ocorrência. Assim, o estudo constitui um contributo para o ordenamento do território do município de Arouca, essencialmente, pela abordagem metodológica apresentada e pelos resultados obtidos.

**ABSTRACT:** Urban flooding occurrences reflects the increasing urbanization of the territory and, although seldom studied in Portugal, has grown in frequency throughout the country (Oliveira, 2003). In fact, the purpose of this paper is to understand the dynamics of the surface runoff in the village of Arouca, through the analysis of the role of each element of the urban grid towards the process. On the other hand, the evolution of land use in the past decades is analyzed, aiming to understand the effect of gradual sealing in the increase of the superficial component of flow. The collected inventory has enabled the determination of the

most troublesome locations in town, along with elements exposed to this risk. In this sense, the study is a contribution to planning, essentially through the chosen methodological approach and obtained results.

**Palavras-chave:** inundações urbanas, impermeabilização do solo, escoamento superficial

**Keywords:** urban floods, soil sealing, surface runoff

## 1. Introdução

As cheias e as inundações são eventos naturais frequentes que acarretam danos consideráveis em bens e pessoas, constituindo por isso, uma das maiores preocupações que as populações e as entidades responsáveis pela sua monitorização enfrentam. Segundo os dados do EM-DAT<sup>1</sup> (Emergency Events Database), no período de 1900 a 2011, verifica-se que em Portugal as inundações foram o segundo evento natural responsável pelo maior número de vítimas mortais (462 vítimas na inundação de 26 de Novembro de 1967) e pelo maior número de pessoas afectadas (25000 pessoas afectadas pela inundação de Fevereiro de 1979). No entanto, deve-se salientar o contributo que a actividade antrópica desempenha na intensificação do processo destrutivo destes eventos, nomeadamente, pela altera o dos usos do solo, que conduz   transforma o da dinâmica natural dos espaços. Segundo Bateira (2001), não se deve descurar a interdependência homem/meio, uma vez que o homem   considerado um agente activo na dinâmica geomorfológica e, simultaneamente, um elemento exposto ao risco.

Os conceitos de cheia e inunda o são muitas vezes confundidos mas na realidade são distintos, porque *“todas as cheias provocam inunda es, mas nem todas as inunda es são devidas às cheias”*, uma vez que, nem todas as inunda es resultam do transbordo dos rios e ribeiras (Ramos, 2005: 71). Assim, as cheias são definidas como um evento hidrológico extremo, de frequência variável, com origem natural, antrópica ou mista, que consiste no transbordo de um curso de água relativamente ao seu leito menor, originando a inunda o de terrenos ribeirinhos (Ramos, 2005). Relativamente às inunda es estas podem resultar das cheias; da ruptura de barragens; de galgamentos costeiros (ou de inunda es locais provocadas pela maré), por episódios de *storm-surge*; e pela inunda o de áreas deprimidas em meios urbanos (Oliveira, 2003; Santos, 2009).

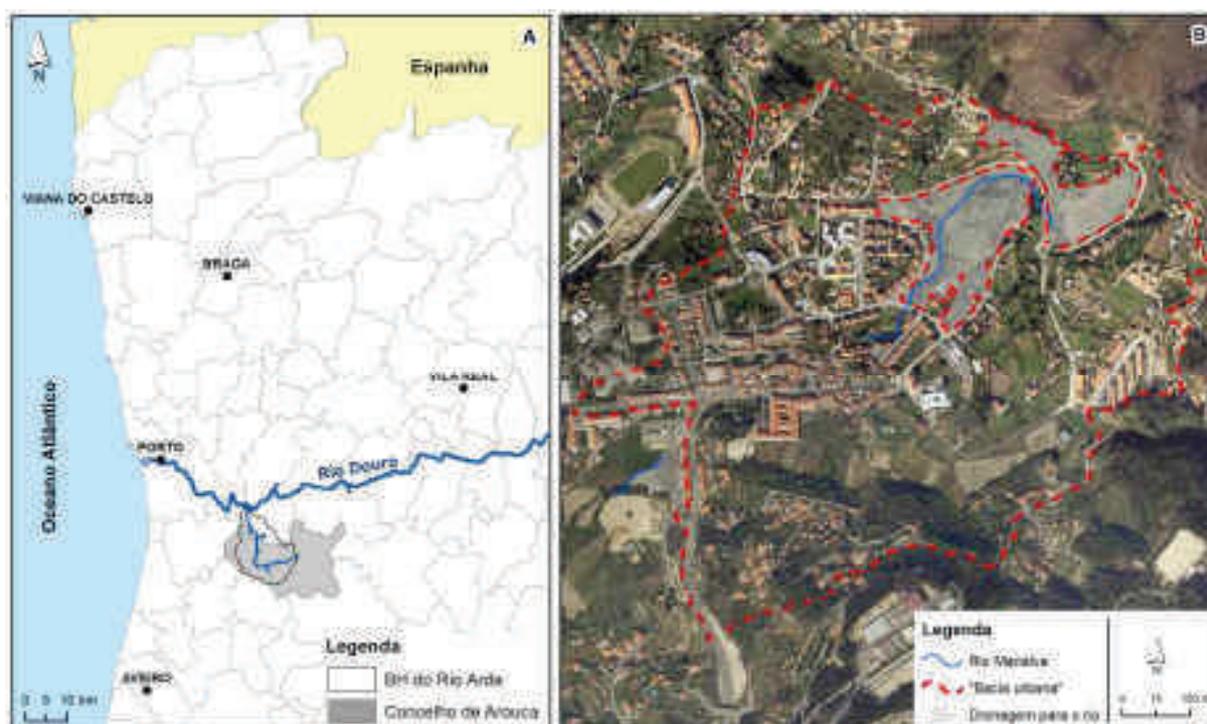
Contudo, este artigo foca-se nas inunda es urbanas que resultam da concentra o de  guas em áreas topograficamente deprimidas aquando de períodos pluviosos intensos e

---

<sup>1</sup> <http://www.emdat.be/>

de curta duração, agravadas pela impermeabilização do solo e pelo mau funcionamento ou subdimensionamento dos sistemas de drenagem das águas pluviais (Oliveira, 2003; Rebelo, 2001).

A análise que se apresenta diz respeito ao sector urbano da vila de Arouca, localizado no concelho de Arouca e Distrito de Aveiro (figura 1A). Em termos hidrográficos, a vila localiza-se na bacia hidrográfica do rio Arda, afluente do rio Douro, sendo atravessada subterraneamente (túnel artificial construído em 1945 e concluído a 30 de Junho de 1949) por este curso de água. O rio Arda, no seu percurso inicial, é vulgarmente designado de Marialva ou Aqualva.



**Figura 1** – Enquadramento da área de estudo.

O objetivo essencial do estudo consistiu na realização de um inventário da drenagem superficial da água ao longo das vias, das praças, das rotundas e dos largos da vila de Arouca, com a finalidade de assinalar pontos de concentração e áreas de acumulação de água (Oliveira, 2003; Rebelo, 2001). Pretendeu-se assim, compreender a organização do escoamento superficial no sector urbanizado – a designada “bacia urbana”<sup>2</sup> (figura 1B), e

<sup>2</sup> Referimo-nos à “bacia urbana” como a área da bacia hidrográfica do Arda que abrange a vila de Arouca e que em virtude da canalização subterrânea do rio, da urbanização e da organização dos arruamentos, contribui para o processo de escoamento superficial da água que se concentra na área topograficamente deprimida deste setor da bacia. Esta área de concentração do escoamento superficial corresponde a um dos setores mais antigos da vila, particularmente, aos locais atravessados pelo antigo leito do rio Arda. O percurso do antigo rio foi delimitado

hierarquizar os elementos da malha urbana que contribuem para o escoamento superficial que se vai concentrar na área topograficamente deprimida da vila. A vila de Arouca desenvolve-se a uma altitude média de 300m, reunindo no rio Arda a drenagem superficial das vertentes da Senhora da Mó (712m), a oeste, e da Serra da Freita (1080m), a sul. Os fortes declives das vertentes que constituem a bacia hidrográfica do Arda a montante da Vila favorecem a rapidez e intensidade de propagação do escoamento, quer na bacia urbana, quer no rio Arda, uma vez que, existem áreas dentro da bacia urbana por nós considerada que contribuem diretamente com escoamento para o rio Arda (figura 1).

A análise das inundações urbanas implicou ainda um conhecimento integrado do contexto em que se insere a área urbana, nomeadamente, em relação à topografia e morfologia urbana que interferem diretamente no padrão de escoamento superficial. Complementarmente, analisa-se a evolução do uso do solo na bacia urbana, de forma a compreender os efeitos que o aumento na impermeabilização da superfície poderão ter influenciado os processos de infiltração e escoamento superficial das águas.

## **2. Metodologias**

As inundações urbanas ocorrem em consequência de episódios de precipitação intensa, aliadas à impermeabilização do solo e à própria morfologia do espaço urbano (Oliveira, 2003). O estudo destes eventos pressupõe uma análise integrada da rede de drenagem, i.e., ter em consideração a rede de drenagem pluvial (subterrânea) e a superficial. O sistema superficial é constituído pelos canais naturais ou artificiais (ruas), as áreas deprimidas onde se acumula a água ou áreas de retenção do escoamento devido à presença de barreiras artificiais (muros, prédios). O sistema de drenagem pluvial comporta as condutas pluviais, os poços de acesso ao sistema subterrâneo (Meller & Paiva, 2007) e as sarjetas. Vários autores referem-se à conjugação destes dois elementos como a drenagem dupla - dual drainage (Boonya-aroonnet et al. (2007). Os autores realçam que a fase mais crítica destes eventos ocorre geralmente quando a capacidade do sistema de drenagem pluvial é excedida, provocando a mudança de direção do fluxo que surge novamente à superfície (escoamento excedentário).

Oliveira (2003) acrescenta a importância de analisar a topografia, que influi na velocidade e concentração do escoamento e a posição das vias face às antigas linhas de

---

tendo por base uma planta da vila cedida pela Câmara Municipal de Arouca referente ao Plano Regulador de Arouca, da autoria do Engenheiro A. Barbosa Abreu (s.d.).

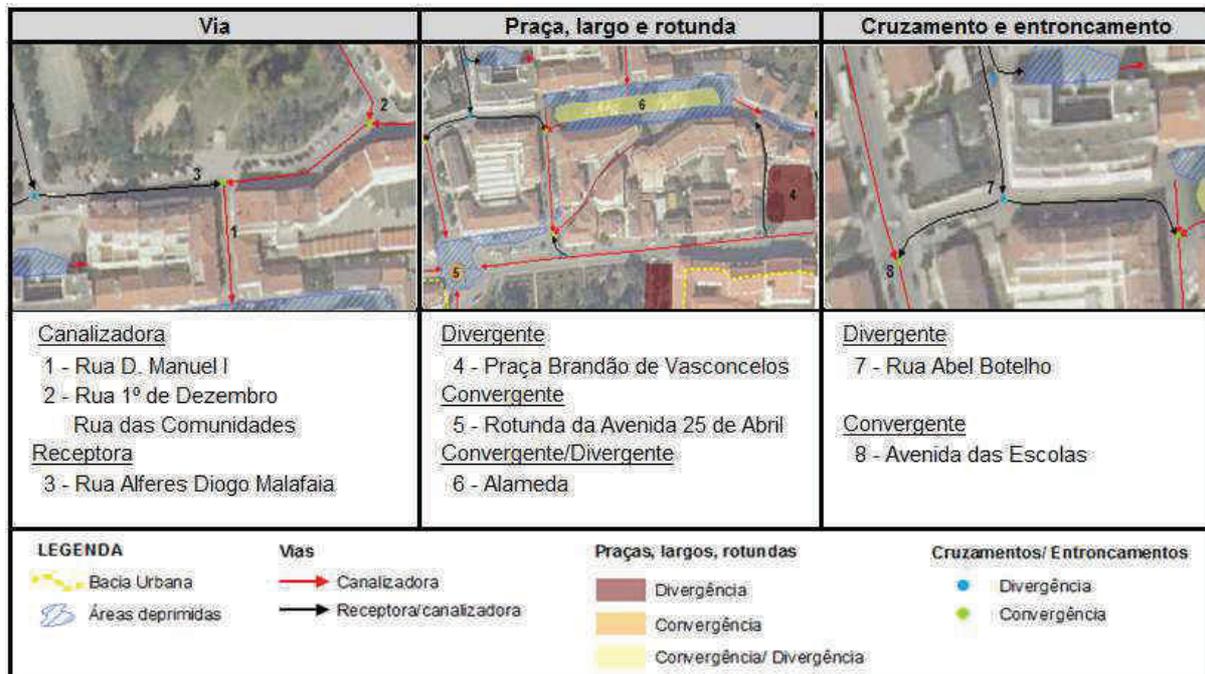
água, uma vez que, estas se podem encontrar no leito de cheia, quando atravessadas por cursos de água subterrâneos.

## **2.1 Inventário do escoamento superficial na área urbana da Vila de Arouca**

O inventário do escoamento superficial realizado na área urbana exigiu um reconhecimento detalhado do terreno onde se desenvolve a bacia urbana. Procurou-se analisar os fluxos da água dentro da bacia tendo em conta: os declives que influenciam a velocidade de escoamento e a topografia da vila, que influi na direção do escoamento (das áreas altas para as baixas). O reconhecimento da morfologia na área da bacia permitiu identificar as áreas deprimidas, *i.e.*, locais onde a água se pode concentrar e detetar pontos de convergência da drenagem. O estudo da malha urbana incidiu, assim, sobre as particularidades de cada via, praça, largo e rotunda de modo a perceber o sentido de escoamento das águas e de cada cruzamento e entroncamento, para identificar os pontos de convergência/divergência das águas (Oliveira, 2005). O esboço realizado no campo teve em consideração a tipologia desses elementos, uma vez que, numa situação de precipitação intensa, estes podem assumir um papel canalizador ou recetor do escoamento superficial. A terminologia utilizada na classificação dos vários elementos encontra-se expressa na figura 2 sendo exemplificada com alguns casos específicos do tecido urbano em análise.

Considerou-se uma via canalizadora aquela que encaminha o fluxo para outras ruas (número 1, figura 2) e todas as vias que canalizam o fluxo originado por um ponto de convergência de águas (número 2, figura 2). As vias que recebem o escoamento de outras ruas são consideradas recetoras, sendo também assinaladas como canalizadoras, uma vez que, no final do seu percurso, canalizam o fluxo para outras vias (número 3, figura 2). No que diz respeito às praças, largos e rotundas, funcionam como áreas de divergência, convergência ou de ambos os processos. As áreas divergentes não recebem água de arruamentos, encaminhando somente a água que cai na sua superfície (número 4, figura 2). As praças, largos e rotundas convergentes são locais de reunião dos fluxos oriundos de várias vias (número 5, figura 2). Por outro lado existem áreas que recebem o escoamento de uma ou várias vias e, posteriormente, o encaminham para outras ruas, sendo, por isso, espaços de convergência e divergência de escoamento (número 6, figura 2). Já os cruzamentos e entroncamentos constituem pontos de dispersão (número 7, figura 2) ou de concentração do escoamento superficial (número 8, figura 2). A representação destes

elementos foi realizada com recurso ao software *Arcgis 9.3.1*, tendo sido criadas várias *shapefiles* de acordo com as tipologias descritas. As vias foram representadas por linhas, as praças, largos e rotundas por polígonos e os cruzamentos e entroncamentos por pontos.



**Figura 2** – Tipologia dos elementos da malha urbana inventariados durante o reconhecimento de terreno.

## 2.2 Impermeabilização/infiltração no solo

A crescente impermeabilização do solo, derivada da expansão urbana que marcou as últimas décadas em Portugal, é um problema comum a toda a Europa (Prokop, G et al. 2007). Esta situação contribui para o aumento das inundações rápidas em áreas urbanas, já que a capacidade de infiltração de água no solo é drasticamente reduzida. Neste contexto, a Agência Europeia do Ambiente, produziu cartografia de alta resolução referente à impermeabilização do solo em todo o continente europeu, para o ano de 2006, tendo por base imagens de satélite<sup>3</sup>.

No nosso país o cenário é semelhante, e, por isso mesmo, temos assistido a um incremento das áreas artificializadas, em função da diminuição dos espaços com forte potencial de infiltração (Delgado, 2010). O estudo do potencial de infiltração no solo incide sobre vários indicadores que podem ser analisados mediante a exploração de vários fatores

<sup>3</sup> <http://www.eea.europa.eu/articles/urban-soil-sealing-in-europe>

como a litologia, a densidade de lineamentos tectónicos, o uso do solo, a densidade de drenagem, os declives e a precipitação (Teixeira *et al.*, 2008). Neste trabalho, optou-se por fazer uma análise exploratória da variável uso do solo, medindo a influência que o tipo de usos exerce no comportamento da infiltração no solo. A informação de base utilizada foi a fotografia aérea do Instituto Geográfico do Exército (IGEOE), relativa a três datas disponíveis para a área em estudo (1958, 1974 e 1995), e também os ortofotomapas relativos ao ano 2005. Para a georreferenciação das fotografias aéreas houve a necessidade de dividir cada uma das fotos em várias parcelas de forma a minimizar as distorções que a foto incorpora, particularmente nos seus extremos. Posteriormente, definiram-se os grupos de ocupação do solo e, dentro de cada um, discriminaram-se as classes de usos a utilizar na vetorização. Com base na legenda da carta de ocupação do solo (COS)<sup>4</sup>, considerou-se a existência de quatro grupos: as áreas artificiais, as áreas agrícolas, as áreas florestais e os meios seminaturais (figura 3). Nas fotografias aéreas, a foto interpretação dos usos do solo foi elaborada mediante o recurso a um estereoscópio de espelhos Casella - modelo 3065/TN.

### **3. Resultados**

#### **3.1 Impermeabilização/infiltração no solo**

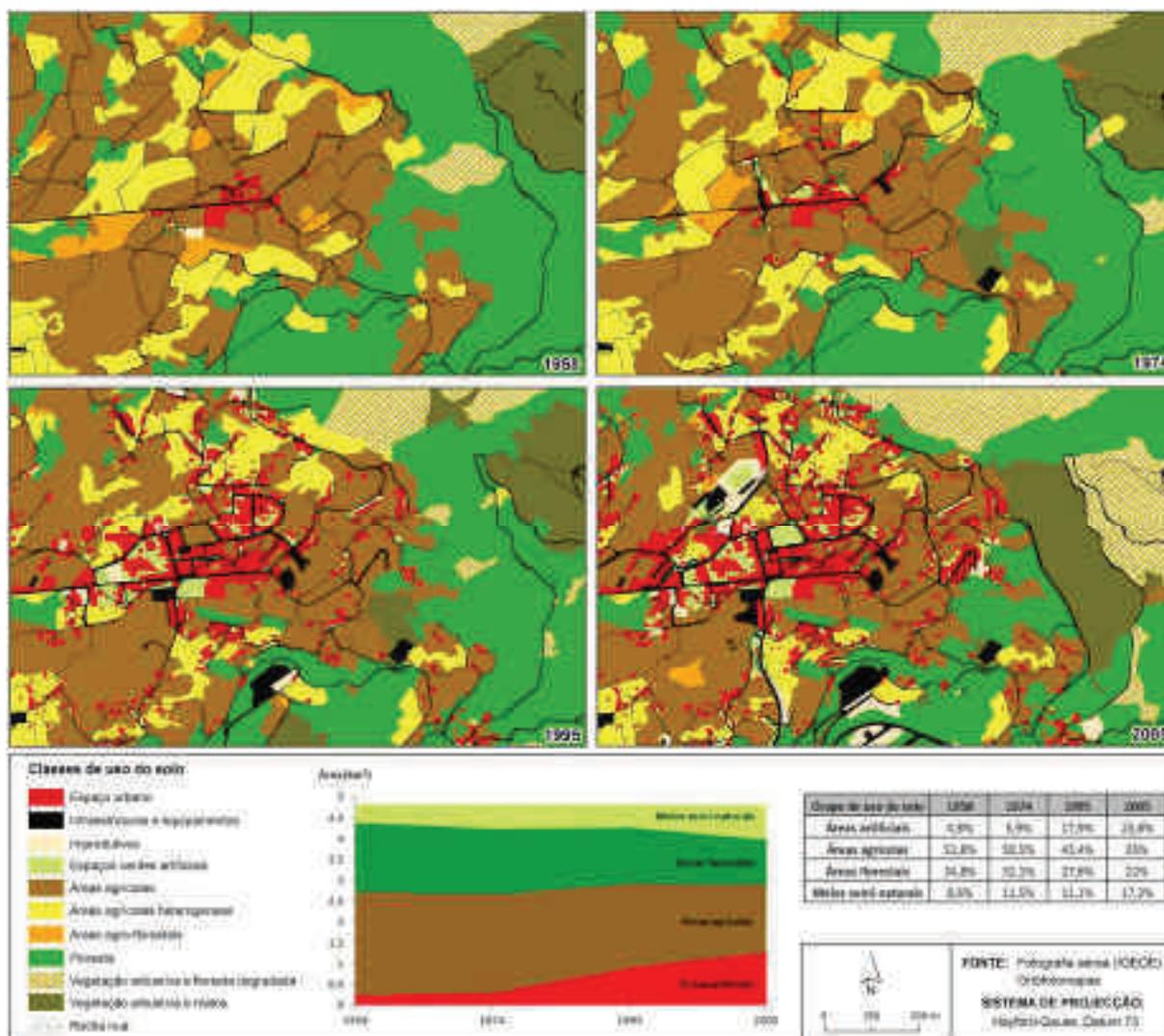
A figura 3 apresenta o resultado da interpretação do uso do solo para os quatro momentos em análise, assim, como uma síntese quantificada da evolução da ocupação do solo, por grupo. Com efeito, regista-se um aumento do espaço ocupado por áreas artificiais em detrimento dos espaços agrícolas e florestais. Esse crescimento foi gradual até 1974 (5,9%), visualizando-se uma grande mudança nos usos do solo, em 1995. Neste ano, a percentagem total de áreas urbanizadas era de aproximadamente 18%, aumentando para cerca de 26%, em 2005. O valor percentual dos meios seminaturais, nomeadamente dos espaços com vegetação arbustiva, floresta degradada e matos também aumentou de 8,6% (1958) para 17,2% (2005). Apesar da alteração de usos descrita, as áreas agrícolas, sobretudo a parcela que diz respeito aos terrenos aráveis (culturas anuais de sequeiro ou regadio e culturas permanentes), continuam a ser o uso mais comum, correspondendo em 2005, a aproximadamente 1,6 km<sup>2</sup> (35%) da área de estudo.

Este esboço ilustra o incremento das áreas urbanizadas em detrimento das áreas cujo potencial de infiltração é muito superior (espaços agrícolas e florestais), sendo uma

---

<sup>4</sup> [http://www.igeo.pt/e-IGEO/egeo\\_downloads.htm](http://www.igeo.pt/e-IGEO/egeo_downloads.htm)

variável importante para a compreensão da impermeabilização do solo neste pequeno território.



**Figura 3** – Evolução do uso do solo de 1958 a 2005 na área referente à vila de Arouca.

Para obter os valores do índice de impermeabilização para cada ano em análise, seguiu-se a proposta desenvolvida pela Direção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano (DGOTDU<sup>5</sup>). A sua aplicação exige a definição de coeficientes de impermeabilização para cada tipo de uso (DGOTDU, 2008). O valor deste coeficiente varia entre 0, para solos permeáveis e 1 para solos impermeáveis. Assim, considerou-se que os espaços urbanos e infraestruturas e equipamentos são áreas impermeáveis, pelo que foi atribuído um valor máximo ao coeficiente.

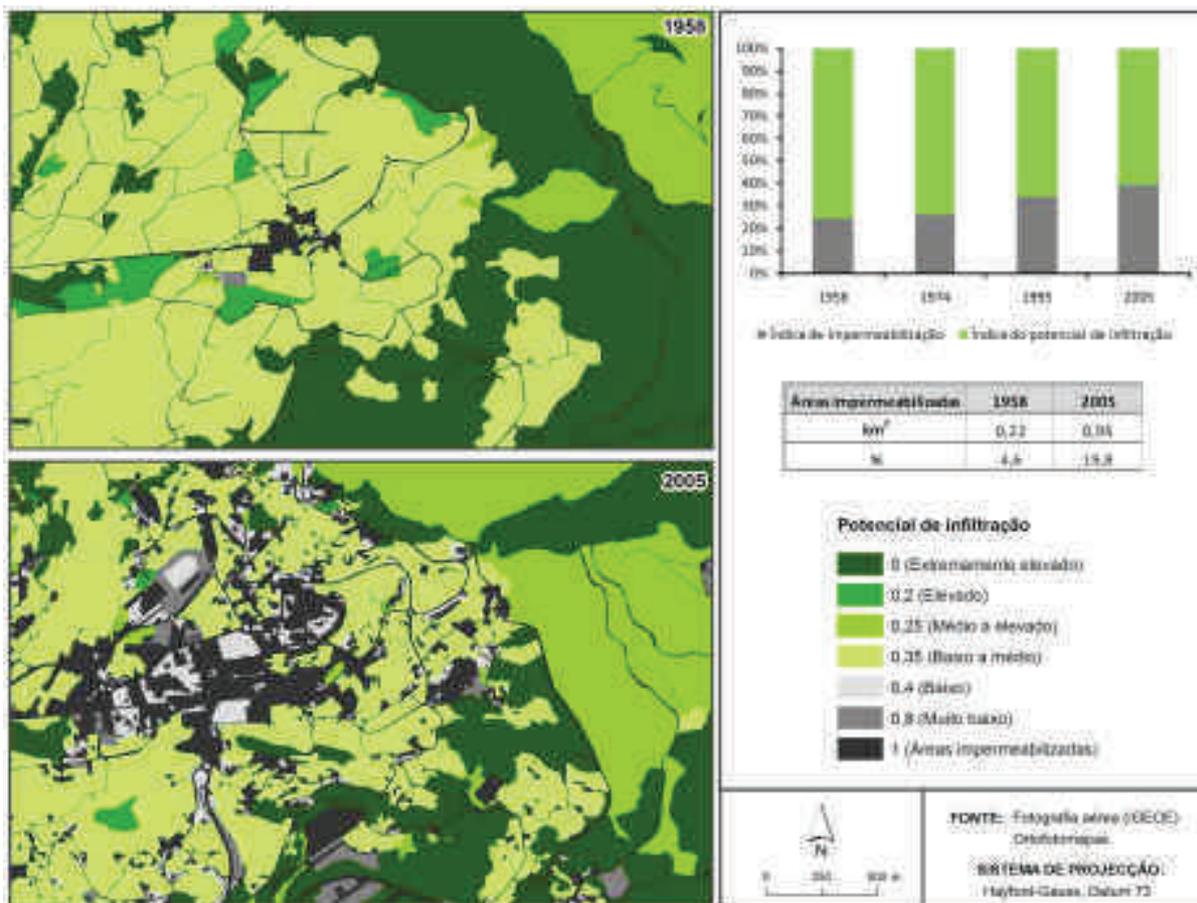
<sup>5</sup> <http://pt.scribd.com/doc/16632985/30/INDICE-DE-IMPERMEABILIZACAO-DO-SOLO-Ficha-n%C2%BA31>

Aos solos improdutivos atribuiu-se um valor elevado (0,8) dada escassez ou inexistência de matéria orgânica, elemento que contribui para o aumento da porosidade da camada mais superficial do solo e, como tal, para as elevadas taxas de infiltração (Lawall *et al.* s/d). No caso das rochas nuas, utilizou-se a mesma classificação (0,8), tal como sugerem Teixeira *et al.* (2008), visto que podem existir fissuras que permitam a infiltração da água, logo não devem apresentar o mesmo valor de coeficiente do que os territórios artificializados. No que diz respeito aos espaços verdes artificiais, o coeficiente de impermeabilização é médio (0,4) tendo em conta que não existe mobilização do solo e, por isso, a probabilidade de serem erodidos é menor. Aos espaços de vegetação arbustiva e floresta degradada e de vegetação arbustiva e matos, atribuiu-se um coeficiente de 0,25, já que em áreas com alguma cobertura vegetal, há proteção dos terrenos relativamente à compactação provocada pela precipitação. Desta compactação advém uma redução significativa da “capacidade de infiltração dos solos de textura fina originando uma crosta superficial” (Lencastre & Franco, 1984). As florestas apresentam o coeficiente mais baixo, pela grande quantidade de vegetação que possuem e que contribui para a eliminação do impacto direto da precipitação no solo. Por outro lado, a vegetação reduz a velocidade do escoamento superficial, favorecendo substancialmente a capacidade de infiltração do mesmo (Lencastre & Franco, 1984; Teixeira *et al.*, 2008). Considere-se ainda o facto de as árvores absorverem uma quantidade de água significativa através das suas raízes (Teixeira *et al.*, 2008). Aos espaços agrícolas foi atribuído um coeficiente de 0,35, exceto às áreas agroflorestais, cujo valor considerado foi de 0,2. A justificação para estas ponderações está relacionada com a presença de espécies florestais nos espaços agroflorestais, ao contrário do que sucede nas restantes áreas agrícolas.

Estabelecidos os coeficientes de impermeabilização calculou-se o índice de impermeabilização, através da seguinte expressão (DGOTDU, 2008):

$$\text{Índice de impermeabilização} = \left( \frac{\sum \text{Área impermeabilizada equivalente}}{\text{Área total das áreas impermeabilizadas}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

A figura 4 representa os coeficientes de impermeabilização atribuídos a cada um dos usos do solo considerados e apresenta um gráfico ilustrativo dos índices de impermeabilização e do potencial de infiltração, nos quatro momentos em análise.

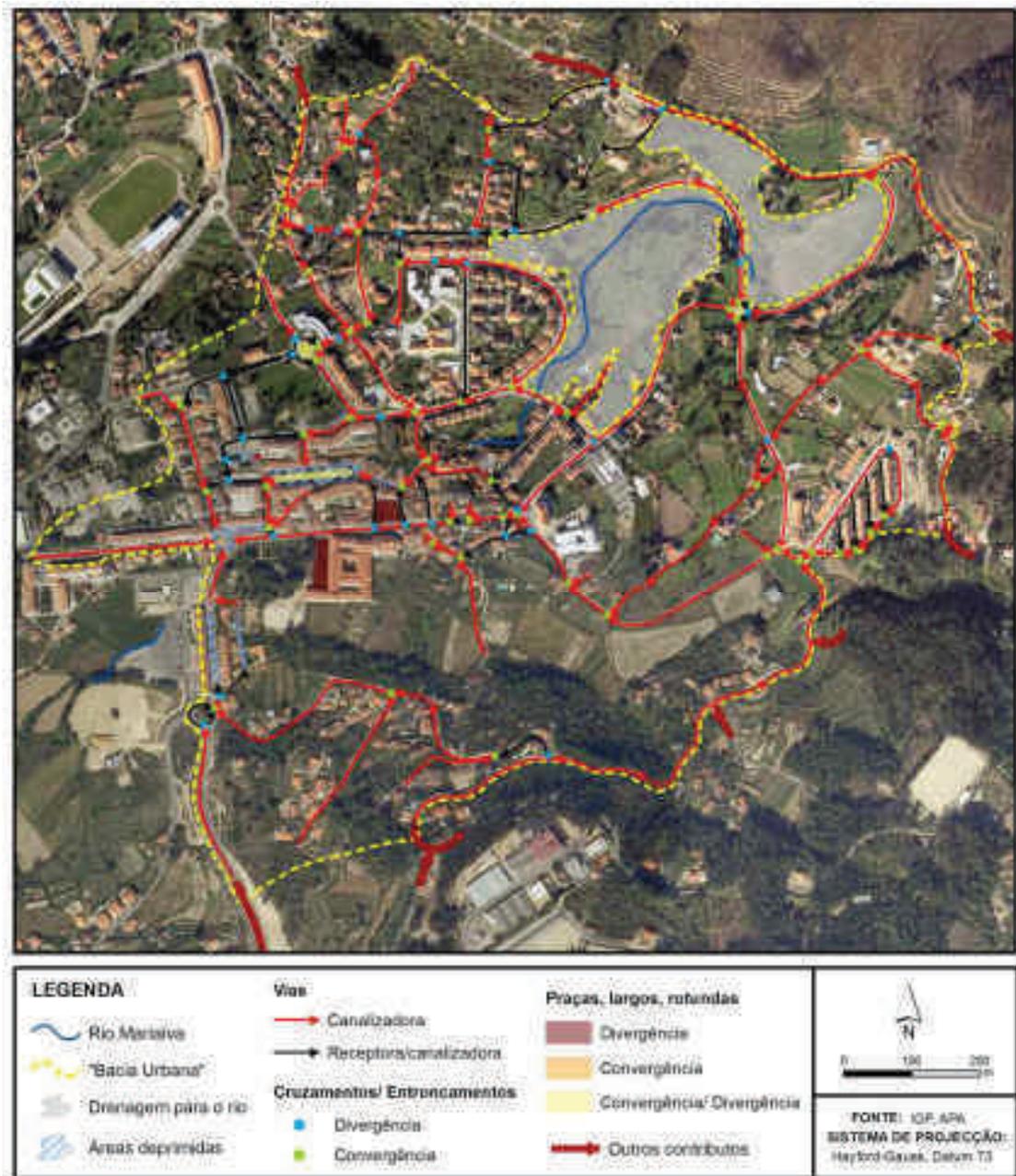


**Figura 4** - Representação dos coeficientes de impermeabilização – índices de impermeabilização e potencial de infiltração.

Constata-se que a impermeabilização do solo aumentou ao longo do tempo de análise, sendo de realçar que o maior incremento se verificou de 1974 para 1995, corroborando o que tem sido exposto. Em termos percentuais, houve um acréscimo de sensivelmente 14% nas áreas impermeabilizadas entre 1958 e 2005, entre os quais 7,8% (mais de metade) correspondem ao intervalo anteriormente referido. Neste sentido, verifica-se uma diminuição do potencial de infiltração da área de estudo, de 73%, em 1958, para os 59,3% em 2005. Assim, o aumento percentual das áreas impermeabilizadas entre 1958 e 2005 foi de 14,2%, o que corresponde 0,73km<sup>2</sup>.

### 3.2 Escoamento superficial na "bacia urbana" de Arouca

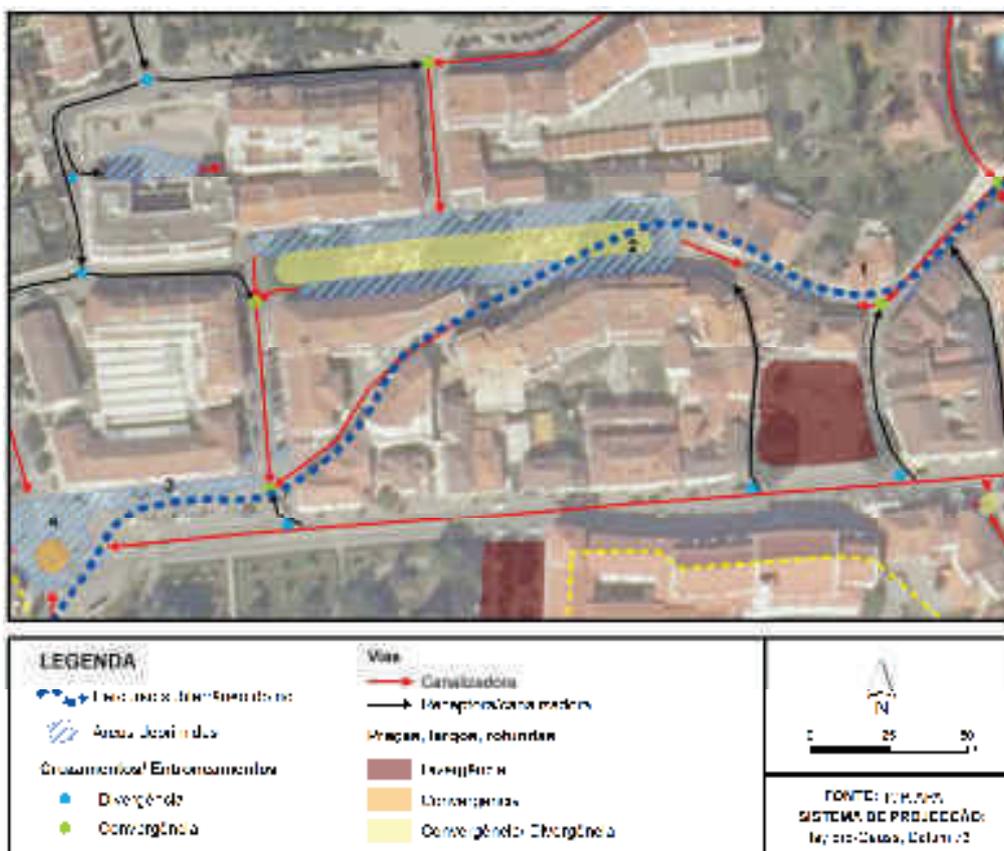
O inventário de campo teve como finalidade a compreensão da dinâmica do escoamento superficial no interior da designada bacia urbana. O resultado da classificação de todos os elementos individuais da malha urbana é apresentado na figura 5.



**Figura 5** – Organização do escoamento superficial na bacia urbana de Arouca.

Pela figura 5 verifica-se que o grande ponto de concentração da água se localiza na área envolvente à rotunda da Avenida 25 de Abril, em função da morfologia da Vila que

propicia o escoamento sobretudo do setor norte da bacia para sul e de leste para oeste. Este facto é justificado pelos acentuados declives nas vertentes desses setores, que são progressivamente mais fracos para sul e sudoeste, onde se localiza a dita rotunda. Por outro lado, a velocidade de propagação da água resultante do forte declive favorece a concentração mais rápida dos fluxos, conduzindo, por sua vez, a problemas no armazenamento do sistema de drenagem pluvial, uma vez que o escoamento excedente é encaminhado para a superfície. Assim, algumas inundações que ocorrem na Vila resultam da junção do escoamento superficial com o escoamento excedentário, que promove um grande afluxo de água nestas áreas.



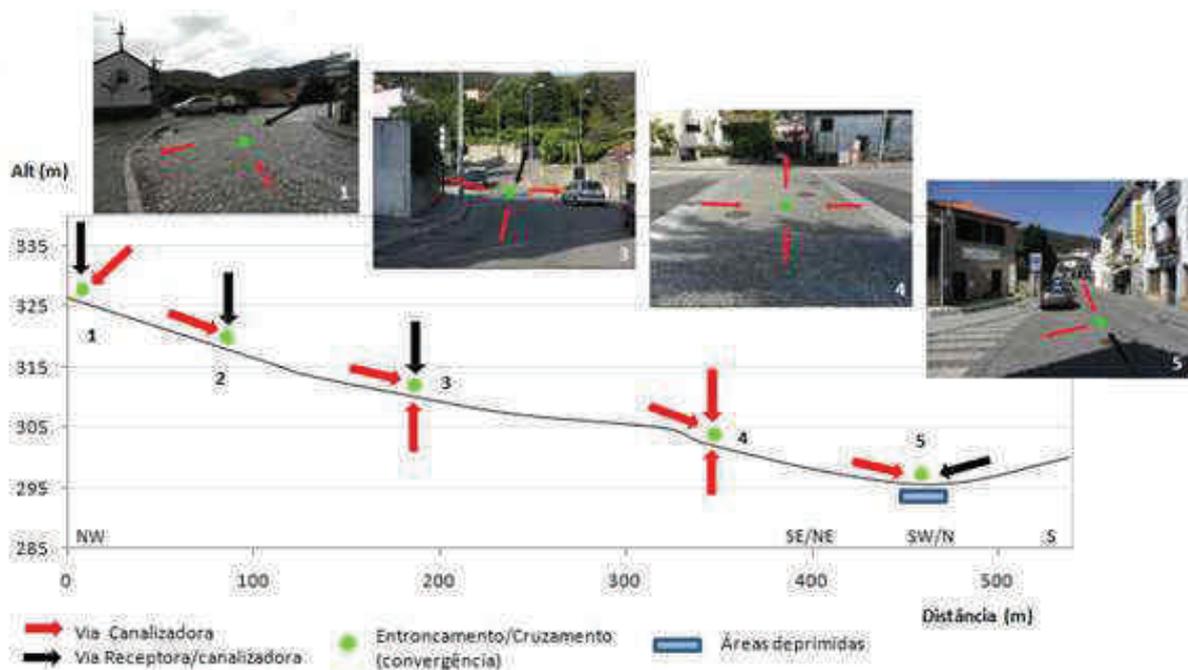
**Figura 6** - Posição dos elementos da malha urbana relativamente ao percurso subterrâneo do rio Arda.

No entanto, é nos locais topograficamente mais deprimidos da vila, que correspondem na maioria dos casos a antigos leitos de cursos de água, que a magnitude das inundações é maior. A posição paralela das ruas, relativamente aos cursos de água encanados, provoca maiores problemas nestas áreas, devido à coincidência das suas direções e do eixo urbano, o que, tal como noutros casos do país *“incrementa e acelera os fluxos de água em situações*

de inundação, e também por receberem lateralmente as águas das ruas que descem as vertentes (...)" (Oliveira & Ramos, 2002: 50).

De facto, como se pode verificar pela figura 6, as ruas mais problemáticas da vila foram construídas paralelamente ao leito do antigo rio ou mesmo sobre ele, ocupando as áreas deprimidas do antigo fundo de vale. São exemplos a Rua Alfredo Vaz Pinto (número 1, figura 6), a Alameda (número 2, figura 6) e a área da rotunda (número 3 e 4, figura 6). No caso do ponto 3 (figura 6) existe um parque de estacionamento que funciona como barreira ao fluxo da água, pelo que existe uma tendência para a acumulação de água nessa área.

Para exemplificar o que foi mencionado, efectuou-se um perfil topográfico (figura 7) que demonstra a influência do declive na velocidade de propagação do escoamento e da sua reunião em áreas deprimidas. Ao longo de um percurso de 538 m, o fluxo de água é encaminhado pela Rua Dr. Figueiredo Sobrinho, com declive acentuado, deparando-se, em toda a sua extensão, com três momentos de convergência de drenagem (ponto 2, 3 e 4 da figura 7).



**Figura 7** - Perfil topográfico: Rua Dr. Figueiredo Sobrinho - Rua Dr. Coelho da Rocha.

Com efeito, esta rua funciona como uma via de concentração do escoamento superficial, uma vez que canaliza todo o escoamento que recebe dos vários cruzamentos. No final do seu trajeto, existe uma convergência deste fluxo com o escoamento proveniente

da Rua Dr. Teixeira de Brito e da Rua do Aqualva. Sublinhe-se que o rio é encanado a partir do início da Rua Aqualva, pelo que a água encaminhada por estas três vias percorre a Rua Dr. Coelho da Rocha exatamente sobre o antigo curso de água. A fotografia relativa ao ponto 5 da figura 7 evidencia o momento da convergência do escoamento proveniente dos dois extremos desta rua, que é posteriormente encaminhado para a Rua Alfredo Vaz Pinto, constituindo esta via uma área deprimida que é inundada aquando de precipitações intensas. Por outro lado, como foi referido anteriormente, o mau funcionamento do sistema de drenagem pluvial (mau estado das sarjetas) dificulta a passagem do escoamento superficial para a rede subterrânea.

Em síntese, apresenta-se um quadro com a tipologia e contagem dos elementos que compõem a malha urbana da bacia urbana de Arouca (quadro 1). Das 170 ruas analisadas, 121 funcionam como canalizadoras de escoamento e 49 como ruas recetoras/canalizadoras. As vias são o elemento que maior contributo tem no processo de escoamento superficial, pela quantidade, extensão e disposição que ocupam na vila.

**Quadro 1** - Quadro síntese dos elementos constituintes da bacia urbana da Vila de Arouca.

| Tipologia dos elementos     |                          | Número | Extensão (m) | Área (m <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|--------------------------|--------|--------------|------------------------|
| Vias                        | Canalizadora             | 121    | 11041,95     | ---                    |
|                             | Recetora/canalizadora    | 49     | 3299,15      | ---                    |
| Praças, largos, rotundas    | Divergência              | 3      | ---          | 2840,54                |
|                             | Convergência             | 1      | ---          | 97,84                  |
|                             | Convergência/divergência | 6      | ---          | 2122,17                |
| Cruzamentos, entroncamentos | Divergência              | 35     | ---          | ---                    |
|                             | Convergência             | 52     | ---          | ---                    |

As praças, largos e rotundas são essencialmente convergentes/divergentes embora as que constituem áreas de divergência de águas apresentem maior área (2840,5 m<sup>2</sup>). Verifica-se ainda o predomínio de cruzamentos e entroncamentos onde há convergência de escoamento, o que remete para a existência de maiores volumes de água a circular depois destes pontos onde se dá a reunião de fluxos.

#### 4. Discussão e conclusões

O conhecimento dos processos hidrológicos e de todos os fatores que influenciam o escoamento superficial das águas de escorrência e sua infiltração é fundamental para que se tomem decisões corretas ao nível do ordenamento e do planeamento do território. O aumento dos eventos de inundações, sobretudo urbanas, leva a que haja maior necessidade de planear de modo mais sistemático, devido ao incremento da *“complexidade do sistema antrópico e da sua crescente divergência com o sistema natural”* (Partidário, 1999: 11).

Neste âmbito, o inventário realizado permitiu conhecer o contributo que cada elemento da malha urbana desempenha no processo de escoamento superficial na área urbana da vila de Arouca. Por outro lado, a análise da evolução dos usos do solo, comprova o aumento das áreas artificializadas, e, conseqüentemente, do índice de impermeabilização do solo no período de 1958 até 2005. Este incremento, sem ter em conta a dinâmica natural destas áreas, é um dos fatores que ajuda a explicar a ocorrência de inundações, nomeadamente, pela diminuição de áreas com boa capacidade de infiltração, facto que reforça a água disponível para o escoamento superficial e promove a concentração mais rápida desse escoamento. Estas especificidades do meio urbano, aliadas à morfologia da vila, explicam os elevados volumes de água que circulam na “bacia urbana”, bem como a sua velocidade de propagação, acabando por se concentrar nas áreas topograficamente deprimidas, de menor altitude. Posto isto, na figura 8 representam-se os principais elementos expostos a este tipo de evento. As principais ruas afetadas encontram-se em áreas deprimidas, situadas paralelamente ao antigo curso de água ou no seu antigo leito, funcionando como verdadeiros *“ribeiros urbanos”* em situações de precipitação intensa. A existência de obstáculos à livre circulação da água, como é o caso do parque de estacionamento localizado na Avenida 25 de Abril, também favorece a concentração de água neste local. Nestes arruamentos identificaram-se alguns estabelecimentos comerciais cujos pisos térreos são geralmente afetados por inundações provocadas pelo transbordo do escoamento das vias próximas.

Por fim, sugerem-se algumas medidas de mitigação que podem contribuir para a resolução ou minimização destes problemas. Em primeiro lugar, é fundamental uma reflexão apurada sobre a configuração da malha urbana atual, para evitar cometer erros semelhantes aos existentes, sobretudo no que diz respeito à impermeabilização do solo, que negligencia as dinâmicas naturais da bacia. Neste sentido, seria útil repensar os usos do solo na vila de modo a contrariar os efeitos negativos da impermeabilização do solo.

Também seria útil refletir mais detalhadamente sobre as áreas e pontos onde a malha atual favorece a concentração do escoamento superficial, criando artificialmente pontos críticos; corrigindo as situações mais gravosas e evitando a sua repetição futura.



**Figura 8** – Áreas mais suscetíveis à ocorrência de inundações urbanas e principais elementos expostos na vila de Arouca - alguns exemplos.

A implementação de espaços com vegetação, nomeadamente espaços arborizados, especialmente no setor montante da bacia hidrográfica, contribuirá para um aumento da capacidade de retenção de água e reduzirá a quantidade de escoamento que rapidamente

circula na “bacia urbana”, atenuando a rapidez da sua convergência às vias públicas. Já o escoamento superficial, que é encaminhado para o centro da vila, muitas vezes não é canalizado para o sistema de drenagem das águas pluviais. As causas observadas dizem respeito ao entupimento de algumas sarjetas que impedem a entrada do escoamento, bem como a escassez de condutas nos locais mais críticos da vila. Conclui-se também que o aumento de ações regulares de limpeza e conservação destas infraestruturas é um passo crucial para minimizar os problemas de vazão da água para o sistema subterrâneo.

## **Agradecimentos**

Os nossos agradecimentos à Associação de Municípios das Terras de Santa Maria que facultou o acesso a diversa cartografia de base relativa ao município de Arouca, no âmbito do projeto de revisão do Plano Municipal de Emergência e Proteção Civil de Arouca, nomeadamente, ortofotomapas e cartografia vetorial à escala 1.10000. O auxílio que a Eng<sup>o</sup> Ana Santiago da Câmara Municipal de Arouca nos prestou foi providencial durante as primeiras visitas de campo e para a superação de algumas dificuldades logísticas. Aos bombeiros de Arouca, particularmente ao Comandante Amaral e ao Sr. Sérgio pela ajuda na identificação dos locais problemáticos e ao CDOS de Aveiro pela cedência de informação referente às ocorrências registadas no concelho de Arouca.

## **Referências bibliográficas**

- Bateira, C. (2001) – *Movimentos de Vertente no NW de Portugal, Susceptibilidade Geomorfológica e Sistemas de Informação Geográfica*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 2001.
- Boonya-aroonnet, S.; Maksimovic, C.; Prodanovic, D.; Djordjevic, S. (2007) – *Urban pluvial flooding: development of GIS based pathway model for surface flooding and interface with surcharged sewer model*. NOVATECH. pp. 481-488.
- Delgado, C. (2010) – *Expansão urbana e fragmentação de áreas com forte aptidão agrícola. O caso de estudo da “bacia leiteira primária” de Entre-Douro-e-Minho*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- DGOTDU (2008) – *Proposta de projecto de decreto regulamentar que estabelece conceitos técnicos a utilizar nos instrumentos de gestão territorial*. 41 p.

Lawall, S.; Santos, A.; Silva, P.; Mota, P.; Fernandes, N. (s/d) – *Modificações da dinâmica hidrológica do solo em resposta às mudanças de uso e cobertura: um estudo de caso na região serrana do Rio de Janeiro*.

Lencastre, A.; Franco, F. M. (1984) – *Lições de Hidrologia*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

Meller, A.; Paiva, E. (2007) – *Simulação Hidrodinâmica 1D de Inundações em Sistema de Drenagem Urbana*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.2 n.º 2. pp. 81-92.

Oliveira, P. E.; Ramos, C. (2002) – *Inundações na Cidade de Lisboa durante o século XX e seus factores agravantes*. *Finisterra*, XXXVII, 74. pp. 33-54.

Oliveira, P. (2003) – *Inundações na Cidade de Lisboa. Estudo de Hidrogeografia Urbana*. Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa.

Oliveira, P. E. (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.

Partidário, Maria do Rosário (1999) – *Introdução ao Ordenamento do Território*. Universidade Aberta, Lisboa.

Prokop, G.; Jobstmann, H. & Schonbauer, A. (2011) – *Overview of best practices for limiting soil sealing or mitigating its effects in EU-27*. Technical Report. European Commission.

Ramos, C. (2005) – *Programa de Hidrogeografia*. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa.

Rebelo, F. (2001) – *Riscos Naturais e Acção Antrópica*. Imprensa da Universidade de Coimbra. pp. 199 - 237.

Santos, P. (2009) – *Cartografia de áreas inundáveis a partir do método de reconstituição hidrogeomorfológica e do método hidrológico-hidráulico. Estudo comparativo na bacia hidrográfica do rio Arunca*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Teixeira, J. ; Chaminé, H.; Espinha Marques, J.; Gomes, A.; Carvalho, J.; Pérez Albertí, A.; Rocha, F. (2008) – *Integrated approach of hydrogeomorphology and GIS mapping to the evaluation of ground water resources: an example from the hydromineral system of Caldas da Cavaca, NW Portugal*. *Global Goundwater Resources and Management*. B.S. Paliwal.

### **Endereços electrónicos**

<http://www.emdat.be/>

<http://www.eea.europa.eu/articles/urban-soil-sealing-in-europe>

[http://www.igeo.pt/e-IGEO/egeo\\_downloads.htm](http://www.igeo.pt/e-IGEO/egeo_downloads.htm)

<http://www.igeoe.pt/>

<http://pt.scribd.com/doc/16632985/30/INDICE-DE-IMPERMEABILIZACAO-DO-SOLO-Ficha-n%C2%BA31>