

MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

O RISCO DE CHEIAS NA CIDADE DE AMARANTE: CARTOGRAFIA DE ÁREAS INUNDÁVEIS RECORRENDO À MODELAÇÃO HIDRÁULICA

Márcia Matilde Castro Martins

M

2017



Márcia Matilde Castro Martins

O RISCO DE CHEIAS NA CIDADE DE AMARANTE:

CARTOGRAFIA DE ÁREAS INUNDÁVEIS RECORRENDO À MODELAÇÃO HIDRÁULICA

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes e coorientada pelo Doutor Pedro Pinto Santos.

Faculdade de Letras da Universidade do Porto

setembro de 2017

O RISCO DE CHEIAS NA CIDADE DE AMARANTE:

CARTOGRAFIA DE ÁREAS INUNDÁVEIS RECORRENDO À MODELAÇÃO HIDRÁULICA

Márcia Matilde Castro Martins

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, orientada pelo Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes e coorientada pelo Doutor Pedro Pinto Santos.

Membros do Júri

Professora Doutora Laura Maria Pinheiro Soares
Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Professor Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território - Universidade de Lisboa

Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes
Faculdade de Letras - Universidade do Porto

Classificação obtida: 19 valores

Aos meus pais, irmão e avó

Índice Geral

Agradecimentos	IX
Resumo.....	X
Abstract.....	XI
Índice de Figuras.....	XII
Índice de Quadros.....	XV
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	XVI
Capítulo 1 - Introdução	1
1.1. Enquadramento e Objetivos	1
1.2. Estrutura da dissertação	2
Capítulo 2 - Considerações gerais sobre cheias/inundações: O caso de Amarante.....	4
2.1. Cheias e Inundações: conceitos, tipos e causas	4
2.2. Risco de Cheia	7
2.3. Gestão do risco de cheia	10
2.4. As cheias em Amarante	14
Capítulo 3 - Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Tâmega.....	17
3.1. Recolha e tratamento dos dados.....	17
3.2. Delimitação e Caracterização da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Tâmega e Sub-bacia de Amarante	18
3.3. Parâmetros morfométricos como fatores condicionantes das cheias/inundações	23
3.3.1. Características Geométricas	23
3.3.2. Sistema de Drenagem.....	25
3.3.3. Relevo.....	28
3.4. Geologia.....	34
3.5. Uso/Ocupação do Solo.....	35
3.6. Tempo de Concentração	37
Capítulo 4 - Análise das precipitações e caracterização do regime hidrológico.....	39

4.1. Precipitações	39
4.1.1. Recolha dos dados pluviométricos	39
4.1.2. Precipitação anual e mensal	40
4.1.3. Precipitação diária máxima anual	41
4.2. Regime Hidrológico.....	45
4.2.1. Recolha de dados hidrométricos	45
4.2.2. Caudal instantâneo máximo anual.....	45
4.2.3. Caudal de ponta de cheia.....	49
Capítulo 5 - Análise das cheias mais significativas na cidade de Amarante	53
Capítulo 6 - Modelação hidráulica da área inundável.....	62
6.1. Metodologia	62
6.2. Modelação Hidráulica - <i>Software Iber</i>	68
6.2.1. Modelo Numérico	68
6.2.2. Estrutura do <i>software Iber</i>	69
6.3. Resultados da Modelação Hidráulica.....	71
Capítulo 7 - Conclusões	83
7.1. Discussão/Considerações finais	83
7.2. Perspetivas futuras	87
Referências Bibliográficas.....	88
Anexos	95

Agradecimentos

Nesta etapa final do meu percurso académico gostaria de agradecer, em primeiro lugar, ao meu orientador, Professor Doutor Alberto Gomes, por todo o apoio, disponibilidade e dedicação prestados ao longo desta investigação. Agradeço ainda pela constante partilha dos seus conhecimentos e pela atenta revisão e análise crítica, fundamentais para concluir esta dissertação.

Fico igualmente agradecida ao meu coorientador, Doutor Pedro Pinto Santos, pela constante disponibilidade prestada, assim como pela leitura crítica do trabalho e por todas as sugestões que me permitiram melhorá-lo.

Quero agradecer a todos os meus amigos que me acompanharam, incentivaram e ajudaram ao longo deste percurso, especialmente nesta fase final.

Um especial agradecimento à minha família, pois sem eles eu não tinha conseguido, principalmente aos meus pais, irmão e avó, por todo o esforço, apoio e compreensão que demonstraram, incentivando-me ao longo de toda a minha formação. Agradeço particularmente ao meu pai pela constante ajuda e presença em todos os trabalhos realizados no terreno.

A todos o meu sincero obrigado!

Resumo

Esta dissertação apresenta uma visão geral das cheias e inundações que afetam o centro histórico e urbano de Amarante, tendo como principal objetivo a modelação hidráulica da área inundada de um evento para a obtenção de perímetros de inundação, e a representação de outras variáveis hidráulicas como a profundidade da água e a velocidade do fluxo. Tendo isto em vista, recorreu-se ao *software* Iber que usa um modelo matemático bidimensional para a simulação do fluxo da água em rios e estuários, e que foi desenvolvido para dar resposta às exigências contidas na legislação espanhola, maioritariamente baseadas em diretivas europeias (BLADÉ *et al.*, 2012).

Para um melhor entendimento destes processos procedeu-se, inicialmente, à caracterização da bacia hidrográfica do rio Tâmega (BHT), assim como à análise das características de uma pequena sub-bacia, delimitada a montante de Amarante, a qual exerce uma influência determinante na ocorrência de cheias nesta cidade. Esta caracterização é indispensável para a avaliação do risco de cheias e também para o conhecimento da área em estudo, quer pela análise das componentes biofísicas como a geometria, rede de drenagem e relevo, quer ao nível da geologia, uso/ocupação do solo e tempos de concentração. Este trabalho envolveu ainda a análise dos dados de precipitação registados nas estações localizadas na bacia hidrográfica do Tâmega, bem como a caracterização do regime hidrológico que permite avaliar a quantidade de água escoada numa dada secção que, neste trabalho, corresponde ao setor da bacia hidrográfica do Tâmega delimitado a montante de Amarante. Posteriormente, procedeu-se à criação de um Modelo Digital de Elevação (MDE), visto ser uma condição necessária à execução da modelação hidráulica, onde se tentou obter um modelo bastante detalhado, uma vez que estes processos são fortemente condicionados pelas condições do terreno.

Num contexto em que é cada vez mais aceite que as alterações climáticas têm contribuído para o aumento da frequência e magnitude destes eventos hidrológicos extremos (EEA, 2017), torna-se cada vez mais importante o desenvolvimento de medidas e estratégias para contornar os seus impactos negativos. Assim, a modelação hidráulica constitui uma ferramenta relevante para a avaliação do risco de cheias, sustentando um adequado ordenamento do território e auxiliando na tomada de decisões ao nível planeamento de emergência.

Palavras-chave: Cheias/inundações; Modelação hidráulica; Áreas inundáveis; *Software* Iber; Amarante.

Abstract

This thesis presents an overview of the floods that affects the historical and urban center of Amarante, with the main purpose being the hydraulic modeling of the flooded area to obtain flood perimeters and the representation of other hydraulic variables such as water depth and flow velocity.

With this in mind, it was used Iber software based on a two-dimensional mathematical model for the simulation of water flow in rivers and estuaries, which was developed to meet the requirements of Spanish legislation, mainly based on European directives (BLADÉ *et al.*, 2012).

For a better understanding of these processes, the Tâmega's river catchment was initially characterized and analysed the characteristics of a small sub-catchment, delimited upstream of Amarante, which has a determining influence on the occurrence of floods in this city. This characterization is indispensable for the evaluation of the flood risk and for the knowledge of this studied area, that can be performed either by analysing the biophysical components such as the geometry, the drainage network and the relief, either through the geology, land use and time of concentration. This work also includes the analysis of the precipitation data recorded in the weather stations, located in the Tâmega's river catchment, as well the characterization of the hydrologic regime that allows to evaluate the amount of water drained in each section. Then a Digital Elevation Model (DEM) was created, once it is a necessary condition for of hydraulic modeling performing, where it was tried to produce a very detailed model, since the terrain conditions strongly influence these processes.

In a context where it is now widely accepted that climate change has contributed for the increasing of the frequency and magnitude of these extreme hydrological events (EEA, 2017), it is becoming more important the development measures and strategies to overcome their negative impacts. Thereby, hydraulic modeling is a relevant tool for assessing flood risk, supporting an adequate territorial planning, and assisting in decision-making at the emergency planning level.

Keywords: Flood/inundation; Hydraulic modeling; Flood-prone areas; Iber software; Amarante.

Índice de Figuras

Figura 1 - Esquema metodológico da abordagem realizada para o estudo das cheias em Amarante.	3
Figura 2 - Causas das cheias em todo o mundo (1985-2002) (<i>Dartmouth Flood Observatory</i>).	5
Figura 3 - Componentes do Modelo de Risco (DFCI, 2012).	7
Figura 4 - Modelo conceptual do Risco (PANIZZA, 1990 <i>in</i> ZÉZERE <i>et al.</i> , 2006).	8
Figura 5 - Ciclo de 6 anos para a aplicação da Diretiva <i>Floods</i> da UE (BRENNER <i>et al.</i> , 2016).	10
Figura 6 - (A) Distribuição dos trabalhos académicos realizados sobre a temática das cheias/inundações; (B) Densidade populacional por município; (C) Áreas suscetíveis a cheias e inundações, segundo a ANPC; (D) Cronologia dos trabalhos e cheias mais significativas no território nacional.	13
Figura 7 - Cronologia dos trabalhos anteriores realizados sobre as cheias em Amarante.	15
Figura 8 - Metodologia seguida para a delimitação da bacia hidrográfica do rio Tâmega.	19
Figura 9 - (A) Enquadramento geográfico da BHT; (B) Hipsometria da BHT; (C) Precipitação média anual na BHT.	21
Figura 10- (A) Exposição de Vertentes; (B) Declives (em graus).	22
Figura 11 - Influência do sistema de drenagem no comportamento hidrológico das bacias hidrográficas (LIMA <i>et al.</i> , 2010).	25
Figura 12 - (A) Hierarquia da rede hidrográfica segundo o critério de Strahler na BHT (B) e na sub-bacia de Amarante (BHA).	27
Figura 13 - (A) Curva hipsométrica e frequências altimétricas na sub-bacia hidrográfica do Tâmega (B) e sub-bacia de Amarante.	30
Figura 14 - Perfil longitudinal do rio Tâmega e principais afluentes.	31
Figura 15 - Perfis topográficos da bacia hidrográfica do rio Tâmega.	32
Figura 16 - Tectónica e geologia da BHT simplificada por complexos litológicos.	35
Figura 17 - escoamento superficial vs. Infiltração (Adaptado de HAMBLIN & CHRISTIANSEN, 2001).	36
Figura 18 - Evolução da ocupação do solo na bacia hidrográfica do Tâmega (1990; 2000; 2012).	37

Figura 19 - Precipitação anual na estação de Amarante, entre 1940-1990 (SNIRH, 2017).....	40
Figura 20 - (A) Localização das estações udográficas; (B) Precipitações mensais nas estações selecionadas, entre 1948 e 1994.....	41
Figura 21 - Relação entre os períodos de retorno da precipitação diária máxima anual (Amarante) e os períodos de retorno do caudal instantâneo máximo anual (Ponte de Canavezes e Ponte de Cavez).	47
Figura 22 - Tempos de concentração (em horas) dos principais afluentes do Tâmega (retângulos brancos) e possível influência no aumento dos caudais (Exemplo da cheia de 1962).....	48
Figura 23 - Caudal médio diário (Cheia de abril de 1962) em Ponte de Canavezes e Ponte de Cavez.	48
Figura 24 - Caudal médio diário (Cheia de dezembro de 1989) nas estações de Fridão, Ponte Cavez e Parada Monteiros.	49
Figura 25 - Cronologia dos principais eventos ligados às cheias na cidade de Amarante.	53
Figura 26 - Marcas das principais cheias ocorridas na cidade de Amarante.....	54
Figura 27 -Precipitação diária e caudal médio diário durante o mês de novembro de 1960.....	55
Figura 28 -Precipitação diária e precipitação acumulada durante o mês de novembro de 1960.....	55
Figura 29 - Precipitação diária e caudal médio diário entre 1 de março e 30 de abril de 1962.....	56
Figura 30 - Precipitação diária e precipitação acumulada entre 1 de março e 30 de abril de 1962.	57
Figura 31 - Precipitação diária e caudal médio diário durante o mês de fevereiro de 1966.....	58
Figura 32 - Precipitação diária e precipitação acumulada durante o mês de fevereiro de 1966.....	58
Figura 33 - (A) Alturas das varandas situadas na margem esquerda do rio Tâmega; (B) Medições efetuadas com recurso a um fio de prumo; (C) Aspeto das mesmas varandas durante a cheia de 21 de março de 2001.....	59
Figura 34- Precipitação diária e caudal médio diário entre 1 de janeiro e 30 de março de 2001.....	60

Figura 35 - Precipitação diária e precipitação acumulada entre 1 de janeiro e 30 de março de 2001.	61
Figura 36 - Jornal de Notícias, 6 de janeiro de 2001 (pág. 31).	61
Figura 37 - Esquema metodológico da modelação hidráulica.....	63
Figura 38 - (A) Modelo digital do terreno de base; (B) Atualização e tratamento da cartografia de base; (C) Modelo Digital de Elevação (MDE) corrigido.	64
Figura 39 - Exemplo das medições efetuadas no terreno.	65
Figura 40 - Medidas da ponte de São Gonçalo, em Amarante (DGPC, 2017).....	65
Figura 41 - Incorporação do efeito da ponte de São Gonçalo no modelo hidráulico.	66
Figura 42 - Carta de Ocupação do Solo (COS) 2010 para a área em estudo.....	67
Figura 43 - Equações bidimensionais de <i>Saint Venant</i> (BLADÉ <i>et al.</i> , 2012).....	68
Figura 44 - Método volumes finitos: nós da malha de cálculo (IBER, 2017).	69
Figura 45 - Esquema metodológico da modelação hidráulica no software Iber.	70
Figura 46 - (A) Geometria e (B) Malha geradas com o software Iber.	71
Figura 47 - Área inundada para eventos com períodos de retorno de 10, 100 e 500 anos.	72
Figura 48 - Profundidade da água para uma cheia com um período de retorno de 10 anos.	73
Figura 49 - Profundidade da água para uma cheia com um período de retorno de 100 anos.	74
Figura 50 - Profundidade da água para uma cheia com um período de retorno de 500 anos.	75
Figura 51 - Velocidade da água para períodos de retorno de 10, 100 e 500 anos.	76
Figura 52 - Profundidade da água durante a cheia de 21 de março de 2001.	77
Figura 53 - Cota da água durante a cheia de 21 de março de 2001.	78
Figura 54 - Lacuna nos resultados da modelação hidráulica.	79
Figura 55 - (A) Antigo curso de água encanado; (B) Jornal Flor do Tâmega, 10 de dezembro de 1992 (extraído de COSTA, 2009).	80
Figura 56 - Perigosidade a cheias segundo a legislação espanhola.	81
Figura 57 - Perigosidade a cheias segundo a metodologia da CNGRI.....	82

Índice de Quadros

Quadro 1 - Tipos de inundações e suas causas (RAMOS, 2009).	5
Quadro 2 - Desastres naturais com maior número de mortes, maior número de pessoas afetadas e maiores prejuízos económicos em Portugal (1900-2016).	9
Quadro 3 - Síntese dos trabalhos anteriores sobre as cheias em Amarante.....	16
Quadro 4 - Características geométricas da sub-bacia hidrográfica do Tâmega e sub-bacia de Amarante.	24
Quadro 5 - Características do sistema de drenagem da sub-bacia hidrográfica do Tâmega e sub-bacia de Amarante.....	26
Quadro 6 - Características do relevo da sub-bacia hidrográfica do Tâmega e sub-bacia de Amarante.....	29
Quadro 7 - Parâmetros para a caracterização da bacia hidrográfica (Adaptado de CHRISTOFOLETTI, 1980; LENCASTRE & FRANCO, 2010; RAMOS, 2009).	33
Quadro 8 - Fórmulas utilizadas para o cálculo do tempo de concentração (COSTA & LANÇA, 2011; MARTINS, 2000).	38
Quadro 9 - Tempos de concentração, segundo as fórmulas de <i>Giandotti</i> e <i>Temez</i> , para a sub-bacia hidrográfica do Tâmega (BHT) e sub-bacia de Amarante (BHA).....	38
Quadro 10 - Características das estações udográficas (SNIRH, 2017).	39
Quadro 11 - Parâmetros estatísticos da precipitação diária máxima anual para as estações udográficas.	42
Quadro 12 - Precipitação diária máxima anual estimada para diferentes períodos de retorno.....	43
Quadro 13 - Períodos de retorno da precipitação diária máxima anual na estação de Amarante (1932-1994).	44
Quadro 14 - Características das estações hidrométricas usadas (localização na figura 22; SNIRH, 2017).	45
Quadro 15 - Períodos de retorno do caudal instantâneo máximo anual nas estações de Ponte de Canavezes e Ponte de Cavez (1960-1986) (SNIRH, 2017; PEDROSA & COSTA, 1999).	46
Quadro 16 - Fórmula de <i>Giandotti</i> : Parâmetro em função da área da bacia para o cálculo do caudal de ponta de cheia (Ramos, 2009).	51
Quadro 17- Caudais de ponta de cheia - <i>Giandotti</i>	51
Quadro 18 - Caudais de ponta de cheia - Método de Loureiro.....	52
Quadro 19 - Caudal aproximadamente escoado por cada arco da ponte.....	66
Quadro 20 - Critérios seguidos para a determinação da perigosidade a cheias (adaptado de APA, 2015).	80

Lista de Abreviaturas e Siglas

AEA - Agência Europeia do Ambiente

ANPC - Autoridade Nacional de Proteção Civil

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

BHA - Sub-bacia hidrográfica de Amarante

BHT - Sub-bacia hidrográfica do rio Tâmega

CLC - *Corine Land Cover*

CNGRI - Comissão Nacional da Gestão de Riscos de Inundação

COS - Carta de Ocupação do Solo

DGPC - Direção Geral do Património Cultural

DGT - Direção-Geral do Território

IGME - Instituto Geológico e Mineiro de Espanha

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MDE - Modelo Digital de Elevação

MDT - Modelo Digital do Terreno

PDM - Plano Diretor Municipal

PDMA - Precipitação diária máxima anual

PGRH - Planos de Gestão de Região Hidrográfica

PGRI - Planos de Gestão dos Riscos de Inundações

PNPOT - Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território

Pr - Período de Retorno

RTIN - *Right-Triangulated Irregular Network*

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*

Tc - Tempo de concentração

UE - União Europeia

UNISDR - *United Nations Office for Disaster Risk Reduction*

Capítulo 1 - Introdução

1.1. Enquadramento e Objetivos

A presente dissertação insere-se no Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território, da Faculdade de Letras da Universidade do Porto, e foca-se na temática dos riscos naturais, nomeadamente, as cheias e inundações na cidade de Amarante.

Os fenómenos hidrológicos extremos, especialmente as cheias/inundações fluviais são considerados um dos desastres de origem natural mais importantes em território europeu, em termos de prejuízos económicos (EEA, 2017; MOEL *et al.*, 2009). Além disso, é cada vez mais aceite que o aquecimento global modifica o ciclo hidrológico e aumenta a ocorrência e frequência dos episódios de cheia em diversas regiões deste continente (EEA, 2017). Neste contexto, foi implementada a Diretiva 2007/60/CE, que obriga os Estados-Membros a desenvolver estratégias que mitiguem os seus impactos negativos, através de uma avaliação preliminar dos riscos de cheias, da elaboração de cartas de zonas inundáveis e cartas de risco de inundações que, posteriormente, auxiliam a definição dos Planos de Gestão dos Riscos de Inundações (UE, 2007). No centro histórico e urbano da cidade de Amarante a ocorrência de cheias e inundações remonta a tempos muito antigos e, sempre que o rio transborda as margens, são numerosos os prejuízos que se abatem sobre a zona ribeirinha (GOMES & COSTA, 2004), dada a grande concentração de atividades, serviços e locais de interesse que se concentram e atraem muitas pessoas a este local. Perante esta realidade, surgiu o interesse pelo estudo destes processos potencialmente devastadores, que já foram abordados por diversos autores nos seus trabalhos (PEDROSA & COSTA, 1999; TEDIM *et al.*, 2010), mas que a nível nacional, ainda não é devidamente considerado verificando-se, por isso, algumas lacunas ao nível da gestão do risco. Neste sentido, a realização do presente trabalho pretende ser um contributo para melhorar compreensão e gestão do risco de cheia que recorrentemente afeta a cidade de Amarante.

O objetivo primordial deste trabalho prende-se com a delimitação de perímetros de inundação para vários períodos de retorno recorrendo à modelação hidráulica, bem como a determinação de outros parâmetros descritivos da inundação, tais como a profundidade da água e a velocidade do fluxo. A modelação hidráulica foi realizada com recurso ao *software* Iber 2.4.2.

Para além disto, estabeleceram-se objetivos específicos que serviram de base para a realização das várias etapas deste trabalho, onde se destacam uma breve sinopse dos estudos realizados anteriormente sobre esta temática, o conhecimento aprofundado das características da bacia hidrográfica do rio Tâmega, a interpretação e descrição dos principais episódios de cheia ocorridos em Amarante, e a análise das precipitações e das características do regime hidrológico do rio Tâmega.

1.2. Estrutura da dissertação

Este trabalho encontra-se estruturado em sete capítulos principais, representando-se na figura 1, as principais etapas da metodologia adotada. O primeiro capítulo é de carácter introdutório, apresentando-se um breve enquadramento do tema, assim como a identificação do objetivo principal e dos objetivos específicos que conduziram esta investigação.

No segundo capítulo, efetua-se uma reflexão geral sobre o tema das cheias e inundações, clarificando alguns conceitos, distinguindo os vários tipos e destacando as principais causas que as originam. Seguidamente, faz-se uma abordagem ao conceito de risco, ilustrando alguns dos esforços que têm surgido no sentido de melhorar a sua gestão como, por exemplo, a implementação da Diretiva 2007/60/CE e o projeto DISASTER. Aqui, realçam-se ainda os trabalhos já realizados sobre as cheias na cidade de Amarante, para se entender quais as abordagens e metodologias já utilizadas pelos vários autores, de modo a que este trabalho não se torne numa repetição daquilo que já existe.

No terceiro capítulo, analisa-se as características da bacia hidrográfica do rio Tâmega e procede-se à delimitação de duas sub-bacias, nas quais se focou a análise dos diversos fatores que têm influência na ocorrência das cheias. Entre eles destacam-se as características geométricas, o sistema de drenagem, o relevo, a geologia e o uso do solo, que evidenciam as particularidades destas unidades hidrográficas, permitindo uma melhor compreensão do processo que leva à geração de cheias na cidade de Amarante.

O quarto capítulo aborda a questão das precipitações e estabelece a caracterização do regime hidrológico. Estes aspetos assumem uma extrema importância, na medida em que influenciam diretamente a ocorrência das cheias. Para além disto,

discutem-se algumas fórmulas para a determinação dos valores dos caudais de ponta de cheia, essenciais para a execução da modelação hidráulica.

Por sua vez, no quinto capítulo faz-se uma breve análise e descrição de alguns dos principais eventos de cheia que afetaram Amarante, dado que a sua compreensão é fundamental para se anteverem cenários que possam vir a ocorrer no futuro. Estes episódios de cheia foram analisados em função da disponibilidade de dados relativos à precipitação e caudal registados no/s dia/s do evento.

O sexto capítulo é dedicado à modelação hidráulica da área inundável, onde se explica a metodologia utilizada que engloba a criação de um detalhado Modelo Digital de Elevação, a determinação dos caudais máximos e a atribuição dos valores de rugosidade, com base no coeficiente de *Manning*, para cada tipo de uso/ocupação do solo. Nesta parte da dissertação apresentam-se os principais resultados obtidos através da aplicação da modelação hidráulica, com recurso ao *software* Iber.

Para finalizar, no sétimo capítulo encontram-se expostas as considerações finais que se retiraram da elaboração deste trabalho, bem como as perspetivas futuras para novas abordagens do tema.

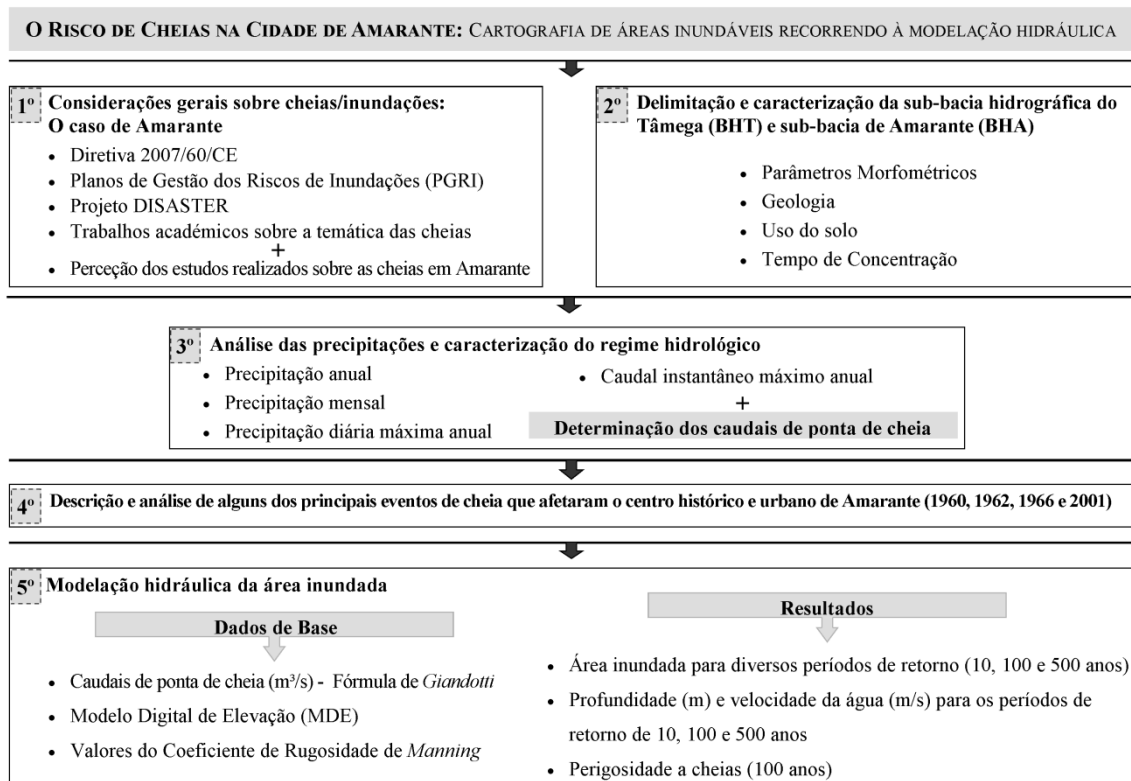


Figura 1 - Esquema metodológico da abordagem realizada para o estudo das cheias em Amarante.

Capítulo 2 - Considerações gerais sobre cheias/inundações: O caso de Amarante

2.1. Cheias e Inundações: conceitos, tipos e causas

Na literatura existem vários conceitos associados à definição de cheias, sendo para V. T. CHOW (1956) (*in* RAMOS, 2013) um "*fenómeno hidrológico extremo, de frequência variável, natural ou induzido pela ação humana, que consiste no transbordo de um curso de água relativamente ao seu leito ordinário, originando a inundação dos terrenos ribeirinhos*". Já ZÊZERE *et al.* (2006) afirmam que "*as cheias são fenómenos naturais extremos e temporários, provocados por precipitações excessivas que fazem aumentar o caudal dos cursos de água*". Desta forma, considera-se que as cheias são fenómenos naturais, com origem em processos hidrológicos extremos e de carácter aleatório, cujo conhecimento é importante aprofundar no sentido de minimizar os riscos delas decorrentes (LENCASTRE & FRANCO, 2010). Todavia, é necessário fazer a distinção entre o conceito de cheia e inundação, que não devem ser confundidos, visto que todas as cheias originam inundações, mas nem todas as inundações são provocadas pelas cheias, podendo uma inundação ser definida como a submersão de uma área geralmente emersa (RAMOS, 2013). Para além disso, nem todas as inundações estão associadas aos rios, podendo ser originadas por galgamentos oceânicos da linha de costa (inundações costeiras), inundações urbanas devido a precipitações intensas, à impermeabilização dos solos e, ainda devido à ineficiência dos sistemas de escoamento de águas residuais e pluviais (RAMOS, 2005b).

Segundo a Diretiva Comunitária 2007/60/CE para a avaliação e gestão dos riscos de inundações, uma inundação pode ser definida como "*a cobertura temporária por água de uma terra normalmente não coberta por água*", englobando não só as inundações provocadas pelos rios, mas também aquelas com origem noutros tipos de processos (UE, 2007).

As inundações podem ser agrupadas em vários tipos consoante as causas que as originam (quadro 1), destacando-se as cheias ou inundações fluviais, as inundações de depressões topográficas, as inundações costeiras e as inundações urbanas (RAMOS, 2013).

Quadro 1 - Tipos de inundações e suas causas (RAMOS, 2009).

Tipo	Causa
Cheia (inundação fluvial)	Chuvas abundantes e/ou intensas Fusão da neve ou do gelo Efeito combinado: chuva + efeito das marés e/ou + <i>storm surge</i> Obstáculos ao escoamento ou derrocadas que criam obstáculos
Inundação de depressões topográficas	Subida da toalha freática Retenção de água da precipitação por um solo ou substrato geológico de permeabilidade muito reduzida Cheias
Inundação costeira	<i>Storm surge</i> <i>Tsunamis</i> Subida eustática do nível do mar Sismos que originem processos de subsidência tectónica
Inundação urbana	Chuva intensa + sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais Subida da toalha freática Cheias

Na figura 2 estão representadas algumas das principais causas das cheias, verificando-se que embora nem todas sejam provocadas por causas de origem meteorológica, essa é a causa mais importante como fator desencadeante, sobretudo provocadas por precipitações abundantes (RAMOS, 2013).



Figura 2 - Causas das cheias em todo o mundo (1985-2002) (*Dartmouth Flood Observatory*).

No território português, as inundações são provocadas essencialmente pelas cheias lentas dos grandes rios, cheias rápidas nos rios de pequena e média dimensão, subida das águas subterrâneas em locais topograficamente deprimidos, inundações

devido à sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais em meio urbano e inundações costeiras originadas por galgamentos oceânicos (RAMOS, 2013).

As cheias podem ainda ser agrupadas em dois grandes tipos - progressivas ou rápidas - segundo a velocidade de progressão ou duração (RAMOS, 2009). As cheias progressivas resultam de longos períodos chuvosos que podem durar vários dias ou até mesmo semanas, afetando principalmente grandes bacias hidrográficas como, por exemplo, a do Tejo e a do Douro (RAMOS & REIS, 2001; ZÉZERE *et al.*, 2006). Por sua vez, as cheias rápidas (*flash floods*) devem-se a períodos de precipitação muito intensa e concentrada, ocorrendo frequentemente em pequenas bacias hidrográficas, pois a forte precipitação excede a capacidade de absorção e infiltração dos solos, originando uma rápida resposta do escoamento superficial (RAMOS, 2005b).

Estes fenómenos hidrológicos podem ser potencialmente perigosos, acarretando uma série de consequências adversas, tais como, perda de vidas, danos ambientais, desalojamento de pessoas, prejuízos económicos e doenças (AEA, 2005). No entanto, tal como salienta RAMOS (2013), as cheias e inundações só causam situações de risco se existirem elementos expostos às mesmas e que estejam situados em áreas inundáveis. Apesar de tudo, as cheias podem ter um carácter benéfico, nomeadamente, para os ecossistemas naturais, na recarga dos aquíferos e na fertilização natural dos solos (AEA, 2005; LENCASTRE & FRANCO, 2010).

Um aspeto que tem vindo a ganhar força entre a comunidade científica está relacionado com o impacto negativo das alterações climáticas nas catástrofes naturais, sendo vários os autores que defendem que a frequência, magnitude e intensidade das cheias tem vindo a aumentar, em várias partes da Europa, devido ao efeito das alterações climáticas (MILLS, 2005; KUNDZEWICZ *et al.*, 2007; EEA, 2017). No entanto, é necessário ter alguma precaução pois, estas conclusões não são, obrigatoriamente, aplicáveis ao território português, existindo modelos de previsão climática que sugerem uma redução dos quantitativos anuais de precipitação, não obstante o possível aumento da frequência de eventos de precipitação intensa no sul da Europa (IPCC, 2013). Para além disso, existem outros fatores que podem contribuir para o incremento das consequências negativas associadas às cheias, como é o caso do crescimento demográfico e urbano, do desenvolvimento industrial e da construção de infraestruturas em áreas de risco de inundação, aumentando a vulnerabilidade dos elementos expostos (NORÉN *et al.*, 2016; UN-ISDR, 2009; CUNHA *et al.*, 2017).

2.2. Risco de Cheia

O conceito de risco é entendido de diversas formas, por diferentes autores, no entanto, há uma concordância em considerar que o risco é o produto do perigo e das suas consequências (KRON, 2005). Segundo JULIÃO *et al.* (2009), o risco descreve a probabilidade de ocorrência de um determinado perigo e a respetiva estimativa das consequências negativas sobre pessoas, bens ou ambiente. As figuras 3 e 4 mostram algumas das principais componentes associadas ao conceito de risco, destacando-se os conceitos de suscetibilidade, perigosidade, vulnerabilidade, dano potencial e elementos em risco.

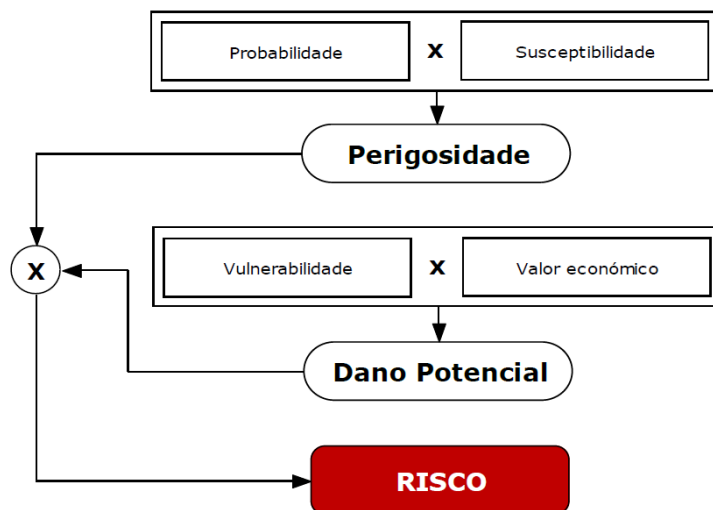


Figura 3 - Componentes do Modelo de Risco (DFCI, 2012).

Todavia, na figura 4, o conceito de risco integra três componentes fundamentais, nomeadamente, a perigosidade, a vulnerabilidade e os elementos em risco. Neste sentido, uma cheia pode ser considerada um perigo natural e este, por sua vez, pode ser entendido como a probabilidade de ocorrência de um evento natural potencialmente perigoso, num dado período de tempo e numa determinada área. Já a vulnerabilidade está associada ao grau de perda resultante da magnitude de um dado perigo natural. Em relação aos elementos em risco, estes representam a população, bens, atividades económicas, serviços, entre outros (RAMOS, 2009). Desta forma, o risco pode ser obtido através da seguinte expressão:

$$\text{Risco } (R) = \text{Perigosidade } (P) \times \text{Vulnerabilidade } (V) \times \text{Elementos em risco } (E)$$

Ao nível da cartografia deve também ser feita a distinção entre mapas de perigosidade e mapas de risco, sendo que os mapas de perigosidade contêm informação sobre a probabilidade e magnitude de um dado evento perigoso, enquanto os mapas de risco contêm informação adicional sobre as potenciais consequências (MOEL *et al.*, 2009).

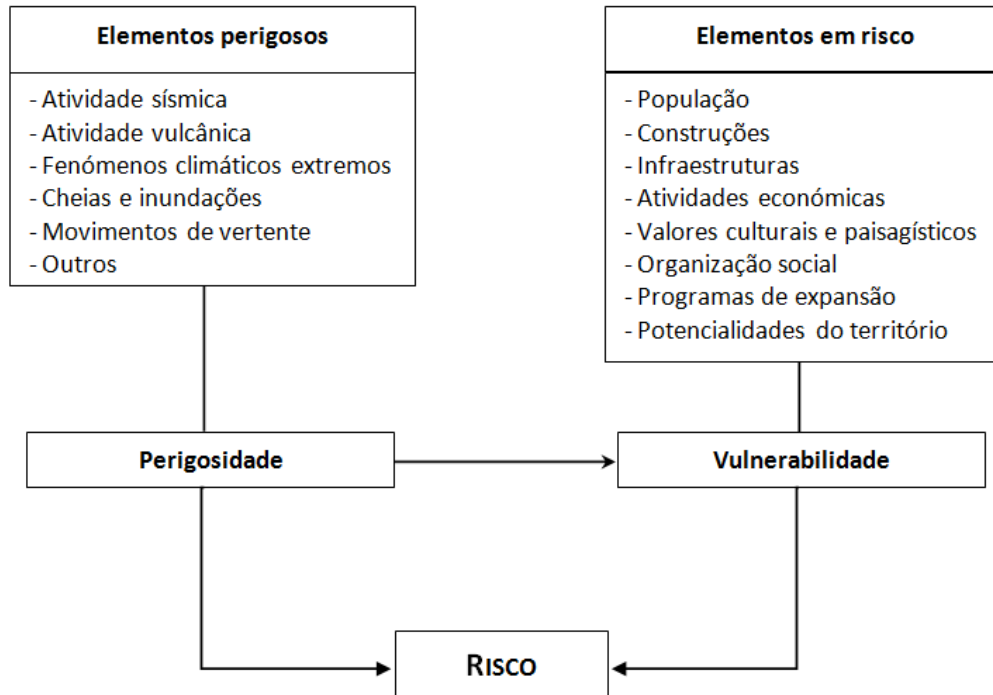


Figura 4 - Modelo conceptual do Risco (PANIZZA, 1990 *in* ZÉZERE *et al.*, 2006).

A Diretiva 2007/60/CE define o risco de inundação como "*a combinação da probabilidade de inundações e das suas potenciais consequências prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as actividades económicas*" (UE, 2007). Neste sentido, o presente trabalho cumpre o essencial da componente da perigosidade, não abrangendo totalmente a componente do risco, uma vez que não se consideram as potenciais consequências dele decorrentes.

As cheias são a catástrofe natural mais frequente no continente europeu e, entre 1998 e 2009, segundo dados da EM-DAT¹, provocaram aproximadamente 1 100 mortes, afetaram mais de 3 milhões de pessoas e originaram perto de 60 mil milhões de euros em prejuízos económicos (EEA, 2010).

¹A *Emergency Events Database* (EM-DAT) é uma base de dados internacional relativa às catástrofes naturais gerida pelo *Centre for Research of the Epidemiology of Disasters* (CRED).

Os dados registados na EM-DAT, entre 1900 e 2016, mostram os maiores desastres naturais, em Portugal, tendo em conta o número de vítimas mortais, o número de pessoas afetadas e os danos económicos. No entanto, apesar de se considerarem estes dados com uma certa fiabilidade, é importante referir que esta informação provém de agências governamentais e não governamentais, companhias de seguros, institutos de pesquisa e agências de notícias. Além disto, para que um dado evento perigoso seja inserido nesta base de dados, necessita de cumprir pelo menos um dos seguintes critérios: 10 ou mais vítimas mortais; 100 ou mais pessoas afetadas, prejudicadas ou desalojadas; e existência de um pedido de assistência internacional ou declaração do estado de emergência. Estes critérios resultam na exclusão, para Portugal, de diversos eventos de natureza hidrogeomorfológica (ZÉZERE *et al.*, 2014).

Posto isto, através da análise do quadro 2, é possível verificar que as temperaturas extremas são a catástrofe mais mortífera no nosso país, seguidas pelas cheias. Percebe-se ainda que os incêndios são o desastre que afeta um maior número de pessoas e que mais danos provoca. Contudo, as cheias são o evento que ocorre com mais frequência, de entre aqueles que causam mais vítimas mortais e mais pessoas afetadas.

Quadro 2 - Desastres naturais com maior número de mortes, maior número de pessoas afetadas e maiores prejuízos económicos em Portugal (1900-2016)².

Desastre Natural	Data	N.º Mortes	Desastre Natural	Data	Afetados	Desastre Natural	Data	Danos (\$)
Temp. Extremas	ago/2003	2696	Incêndios	ago/2003	150.000	Incêndios	ago/2003	1.730.000
Cheias	nov/1967	462	Cheias	fev/1979	25.000	Incêndios	mai/2005	1.650.000
Cheias	fev/2010	43	Cheias	jan/1979	20.220	Cheias	fev/2010	1.350.000
Temp. Extremas	jul/2006	41	Tempestades	jan/2013	3.967	Secas	set/2004	1.338.136
Cheias	dez/1981	30	Cheias	nov/1983	2.000	Tempestades	fev/2010	270.000
Tempestades	out/1997	29	Cheias	dez/1996	2.000	Cheias	nov/1983	95.000
Cheias	jan/1979	19	Cheias	nov/1967	1.100	Secas	abr/1983	95.000
Cheias	nov/1983	19	Cheias	jan/1996	1.050	Incêndios	set/1985	95.000
Incêndios	mai/2005	15	Cheias	dez/1981	900	Cheias	jan/1979	30.000
Incêndios	jun/1986	15	Cheias	fev/2010	618	Tempestades	out/1997	25.000

² <http://www.emdat.be/database>

2.3. Gestão do risco de cheia

De acordo com a Agência Europeia do Ambiente (2017) prevê-se um aumento da frequência e intensidade dos fenómenos hidrológicos extremos, em diversas regiões da Europa, daí a necessidade de se tomarem medidas no sentido de prevenir e mitigar os seus impactos negativos. Neste contexto, a União Europeia aprovou a Diretiva comunitária 2007/60/CE para a avaliação e gestão dos riscos de inundações, com o objetivo de reduzir as consequências nefastas associadas às cheias na comunidade europeia. Esta Diretiva encontra-se transposta para a ordem jurídica nacional por meio do Decreto-Lei n.º 115/2010 de 22 de outubro, que aprova um quadro para a avaliação e gestão dos riscos de inundações. Assim, para se dispor de um instrumento de informação eficaz que sirva de base para se estabelecerem prioridades e se tomarem decisões técnicas, financeiras e políticas em matéria de gestão de riscos de inundações, os Estados-Membros foram obrigados a desenvolver estratégias para mitigar os seus efeitos negativos (UE, 2007).

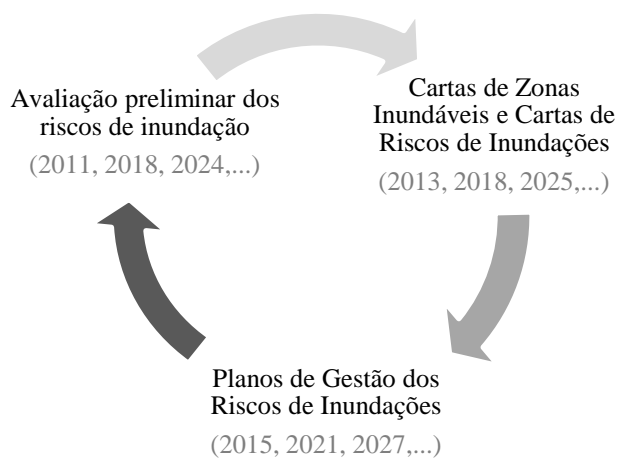


Figura 5 - Ciclo de 6 anos para a aplicação da Diretiva *Floods* da UE (BRENNER *et al.*, 2016).

Essas estratégias passam, numa primeira fase, pela avaliação preliminar dos riscos de inundações, seguindo-se a elaboração de cartas de zonas inundáveis e cartas de risco de inundações que, numa fase posterior, servirão de base para a criação de Planos de Gestão dos Riscos de Inundações (PGRI), os quais se devem focar na prevenção, proteção e preparação (UE, 2007). Conforme explicitado na figura 5, a Diretiva 2007/60/CE da União Europeia, apela a uma avaliação e atualização cíclica destas

estratégias. Desta forma, tal como salienta BRENNER *et al.* (2016), a cada seis anos, as fases individuais do ciclo devem ser repetidas e todas as informações sobre o risco de inundações devem ser atualizadas, sendo que esta avaliação regular ajuda a alcançar os objetivos preconizados pela Diretiva 2007/60/CE de reduzir as consequências negativas das inundações e evitar o aumento dos danos.

Em Portugal continental foram elaborados sete Planos de Gestão dos Riscos de Inundações³, que estão associados a sete regiões hidrográficas (Minho e Lima; Cávado, Ave e Leça; Douro; Vouga, Mondego e Lis; Tejo e Ribeiras do Oeste; Sado e Mira; Ribeiras do Algarve) onde foram identificadas 22 zonas críticas de risco de inundação.

Estas zonas críticas foram selecionadas mediante o cumprimento de dois critérios simultâneos, nomeadamente, registarem pelo menos uma pessoa desaparecida ou morta e no mínimo quinze pessoas afetadas (APA, 2015).

Sendo o foco desta dissertação as cheias em Amarante, através da análise dos PGRI é possível verificar que apesar do rio Tâmega possuir uma zona crítica de inundação, esta refere-se à cidade de Chaves (APA, 2015), evidenciando que Amarante não cumpre simultaneamente os critérios enunciados anteriormente.

Outro dos esforços realizados, em Portugal continental, no sentido de contribuir para uma melhor gestão dos riscos naturais aparece com o projeto de investigação DISASTER, no qual se procedeu ao desenvolvimento de uma base de dados sobre desastres hidrológicos (cheias) e geomorfológicos (movimentos de vertente), registados no território nacional, entre 1865 e 2010. Esta base de dados é de grande importância para a avaliação e gestão do risco, uma vez que analisa a sua distribuição espacial, a suscetibilidade dos territórios e a vulnerabilidade dos elementos em risco (SANTOS *et al.*, 2012). Estando a gestão do risco integrada como uma prioridade no Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), a base de dados DISASTER surge como um instrumento essencial no apoio à tomada de decisões em matéria de planeamento de emergência.

³ <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=1250>

Através da análise dos resultados obtidos pelo projeto DISASTER⁴, entre 1865 e 2010, registaram-se 1622 ocorrências de cheias, provocando 1071 vítimas mortais e 40283 desalojados. No caso da cidade de Amarante, verifica-se que apesar de se encontrar referenciada na base de dados DISASTER, esta apenas regista duas ocorrências de cheias/inundações, no período entre 1865 e 2010, que provocaram 90 evacuados e 10 desalojados⁵. O facto desta base de dados registar apenas duas cheias, em Amarante, está relacionado com o critério seguido para a determinação das ocorrências, que consistiu na identificação de um local afetado por cheias/inundações com mortos, ou feridos, ou desaparecidos, ou evacuados ou desalojados, independentemente do número de afetados, bem como a seleção da imprensa escrita consultada, que no caso da região norte de Portugal, incidiu sobre o Jornal de Notícias, Comércio do Porto e Primeiro de Janeiro.

A modelação hidráulica das áreas inundáveis, que é um dos principais objetivos deste estudo, constitui também um método que auxilia a gestão do risco de inundação, através da simulação de possíveis cenários de cheias, o que possibilita a redução das consequências negativas, apoia um adequado planeamento e ordenamento do território e previne a população que habita em áreas consideradas de risco.

Para além disto, ainda no sentido de contribuir para uma melhor gestão do risco de cheias e inundações, verifica-se a existência de vários trabalhos académicos desenvolvidos ao longo dos anos para o território nacional. Assim, dando seguimento ao trabalho elaborado por CAMPOS (2015), tentou-se perceber a incidência espacial de uma amostra de 85 trabalhos relacionados com cheias e inundações no território nacional, confrontando-os com a densidade populacional (2011) e com as áreas suscetíveis a cheias e inundações propostas pela Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC).

⁴ http://riskam.ul.pt/disaster/index.php?option=com_content&view=article&id=16&Itemid=18

⁵ Estes resultados podem ser consultados em: <http://riskam.ul.pt/disaster/>

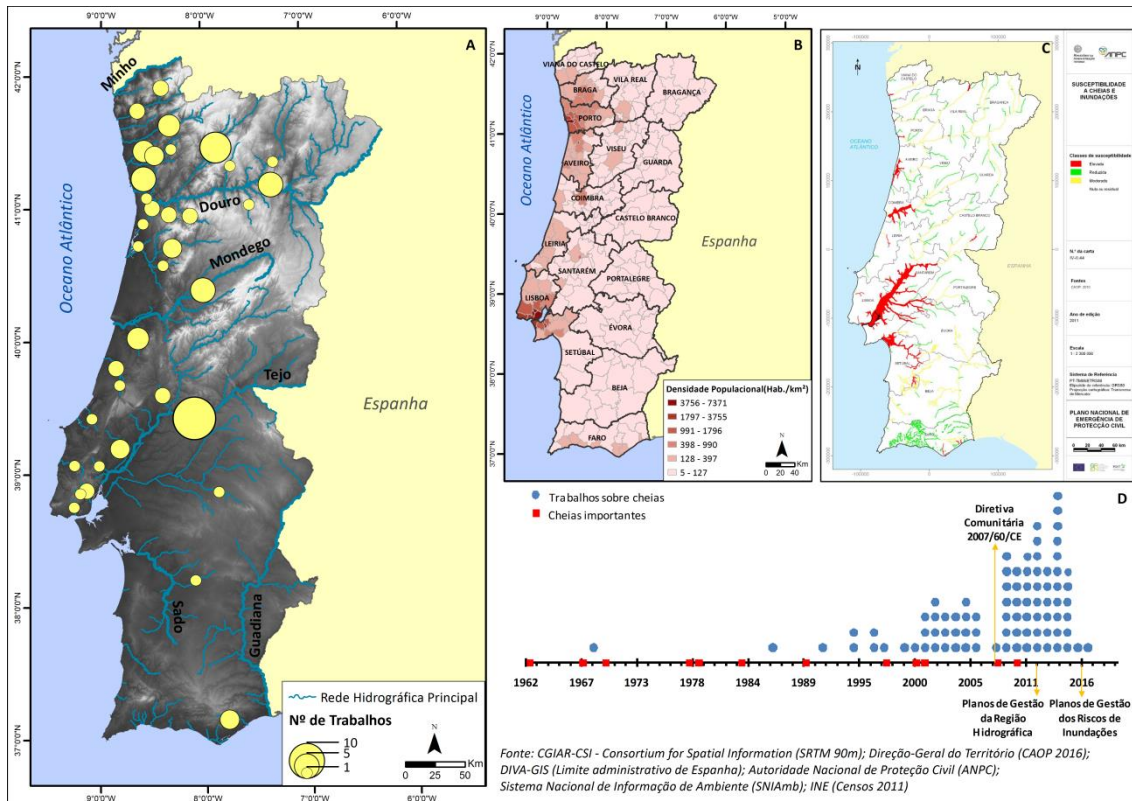


Figura 6 - (A) Distribuição dos trabalhos académicos realizados sobre a temática das cheias/inundações; (B) Densidade populacional por município; (C) Áreas suscetíveis a cheias e inundações, segundo a ANPC; (D) Cronologia dos trabalhos e cheias mais significativas no território nacional.

Deste modo, analisando a figura 6a é possível verificar discrepâncias na distribuição dos trabalhos, havendo uma clara concentração destes nos rios do Norte e Centro de Portugal, destacando-se principalmente o rio Tejo com 15 trabalhos, em detrimento dos rios e ribeiras da região do Alentejo. Esta concentração de trabalhos pode estar relacionada com a maior ou menor suscetibilidade a cheias e inundações que alguns cursos de água apresentam (figura 6c), sendo evidente que existem mais estudos nas áreas com maior suscetibilidade, muitas vezes com o intuito de interpretar o processo, reduzir os danos e prevenir as populações em risco. Comparando a figura 6b e 6c é possível constatar que as áreas mais suscetíveis a cheias e inundações coincidem em parte com aquelas que possuem uma elevada densidade populacional (habitantes/km²) e, por isso, uma maior concentração de atividades, serviços e infraestruturas. Isto indica que nestas áreas existem situações de risco elevado devido à grande exposição dos elementos em risco, daí a atenção especial dada pelos trabalhos académicos a essas áreas. A figura 6d representa a distribuição cronológica dos trabalhos (azul), os principais episódios de cheia que atingiram o nosso país (vermelho), e ainda alguns dos mais recentes documentos oficiais publicados que visam

implementar a melhoria na avaliação e gestão do risco de cheia (amarelo). Assim, pode-se aferir que nos últimos anos, houve um aumento considerável dos trabalhos sobre este tema, demonstrando uma crescente preocupação e consciencialização das pessoas e académicos em relação às cheias. No entanto, é particularmente notório o grande impulso na produção de estudos relacionados com a temática das cheias/inundações a partir de 2008, ou seja, após a implementação da Diretiva 2007/60/CE, que obriga os Estados-Membros a desenvolver estratégias que reduzam os impactos negativos associados a estes eventos extremos. Este aumento pode também estar relacionado com a crescente disponibilidade de *softwares* que permitem fazer novas abordagens do problema, como é o caso dos *softwares* de modelação hidrológica e hidráulica (HEC-RAS, Iber, SMS - *Surface-water Modeling System*, Mike, entre outros).

2.4. As cheias em Amarante

As cheias na cidade de Amarante são uma realidade muito antiga e, por isso, já alguns trabalhos foram realizados numa tentativa de compreender o processo e mitigar os seus impactos negativos (figura 7). No entanto, existem diferentes abordagens que podem ser feitas em relação a este problema, tais como a modelação hidrológica e hidráulica das áreas inundáveis, que se encontra pouco aprofundada nos trabalhos desenvolvidos anteriormente.

De facto, como mostra a figura 7, o tema das cheias em Amarante já foi abordado por alguns autores, destacando-se os autores FRANCISCO COSTA e FANTINA TEDIM, que possuem mais do que um trabalho, num total de 10 registados entre 1998 e 2014. Uma parte destes estudos dedica-se à análise dos principais episódios de cheia que afetaram a cidade de Amarante, recorrendo-se às notícias dos jornais e aos dados hidrométricos e pluviométricos disponíveis para caracterizar estes eventos, atribuindo-se uma importância acrescida à cheia de 21 de março de 2001 que registou maior magnitude e impacto local.

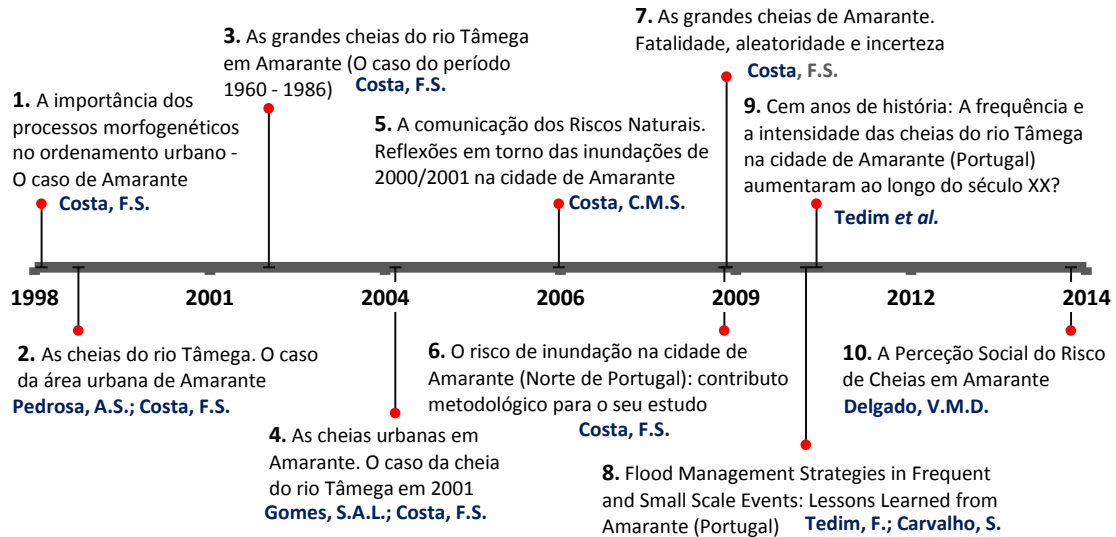


Figura 7 - Cronologia dos trabalhos anteriores realizados sobre as cheias em Amarante.

O trabalho elaborado por TEDIM *et al.* (2010) apresenta uma base de dados bastante completa sobre as cheias ocorridas em Amarante, no século XX, merecendo especial atenção devido ao grande interesse atribuído aos eventos observados no passado como forma de definir e prever cenários futuros, bem como aos potenciais danos que estes possam provocar. A partir da análise do quadro 3 percebe-se que existem estudos com perspetivas muito distintas, como é o caso daquele que foi desenvolvido por DELGADO (2014) que se refere essencialmente à perceção que os cidadãos de Amarante têm sobre as cheias que atingem a sua cidade, e também o trabalho realizado por COSTA (2006) que se centra em questões relacionadas com a comunicação dos riscos naturais, tentando entender aquilo que a imprensa valoriza na comunicação destes desastres e qual o seu papel na gestão do risco.

Apesar de tudo isto, o tema ainda não se encontra completamente estudado, existindo margem para concretizar outras ideias, uma vez que "*as cheias em Amarante são fenómenos que marcaram e continuarão a marcar a vivência do centro histórico da cidade*" implicando, por isso, novas formas de abordagem (COSTA, 2009b).

Quadro 3 - Síntese dos trabalhos anteriores sobre as cheias em Amarante.

Artigo/ Tese	Objetivos	Metodologia (s)	Resultados
1	Fazer uma abordagem interpretativa das cheias no espaço urbano de Amarante. Conhecer o comportamento e as características das cheias cujos efeitos foram mais significativos.	Análise e interpretação das variáveis hidrométricas e climáticas para caracterizar as cheias ocorridas; Aplicação de uma lei estatística - Lei de Gumbel - para a determinação de intervalos de retorno.	Caracterização e descrição das principais cheias que afetaram a cidade; Apresentação de fatores que podem agravar /atenuar as cheias e os seus efeitos; Descrição dos efeitos das inundações na cidade de Amarante; Elucidação de algumas medidas para a redução dos prejuízos.
2	Conhecer as principais cheias que afetaram Amarante e as suas características.	Análise e interpretação dos dados hidrométricos e climáticos. Aplicação de métodos estatísticos como, por exemplo, a Lei de Gumbel.	Caracterização e descrição das principais cheias que afetaram Amarante; Apresentação de alguns aspetos a considerar na delimitação de áreas inundáveis em Amarante.
3	Descrever e interpretar as principais cheias ocorridas em Amarante no período de 1960-1986.	Análise e interpretação das variáveis hidrométricas e pluviométricas.	Caracterização e descrição das principais cheias que atingiram a cidade de Amarante.
4	Descrever e interpretar a cheia do rio Tâmega, em 2001.	Análise do comportamento das variáveis hidrométricas e pluviométricas, fazendo uma comparação entre as cheias de 1961/62 e 2000/01.	Caracterização das cheias de 1962 e 2001; Identificação dos impactos mais visíveis provocados pelas cheias; Apresentação de medidas para a redução dos prejuízos.
5	Perceber se a comunicação é importante para a gestão dos riscos naturais e entender o que é que a imprensa valoriza na comunicação destes desastres.	Análise documental das notícias encontradas nos jornais, através do <i>software</i> QSR N6 que permite fazer análises de conteúdo temático.	Conclui-se que a comunicação dos riscos naturais é indispensável para as populações e auxilia na prevenção e gestão da emergência. Nota-se também que a imprensa privilegia sobretudo o relato das consequências.
6	Contribuir com aspetos metodológicos a considerar no cumprimento da Directiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho.	Análise dos dados hidrométricos e pluviométricos, no sentido de dar um contributo metodológico para o estudo das inundações em Amarante.	Caracterização das principais cheias que afetaram a cidade de Amarante; Identificação de alguns elementos em risco.
7	Descrever e interpretar aquelas que foram consideradas as maiores cheias na cidade de Amarante.	Análise e interpretação das variáveis hidrométricas e pluviométricas, entre 1960 e 2001.	Caracterização das principais cheias que afetaram Amarante; Apresentação de alguns factores que contribuem para a génese das cheias/inundações
8	Entender as características do risco de cheias em Amarante para melhorar a eficiência da sua gestão; Conhecer os impactos da cheia de 21 de Março de 2001.	Pesquisa e análise de bibliografia e dos dados hidrométricos para identificar e caracterizar as cheias ocorridas entre 1937-1955 e 1985-2001; Interpretação dos resultados obtidos por um questionário para uma melhor compreensão da cheia de 2001.	Proposta de um modelo de classificação dos episódios de cheia em seis níveis de acordo com a magnitude, área inundada e potenciais impactos; Caracterização da cheia de 2001, tendo em conta as respostas obtidas no questionário.
9	Conhecer aprofundadamente a cronologia e magnitude das cheias em Amarante durante o século XX; Procurar saber se a frequência e a magnitude das cheias, em Amarante, estão a aumentar.	Análise do conteúdo das notícias para identificar e caracterizar a magnitude dos eventos; Cruzamento dos dados hidrométricos disponíveis com a informação dos jornais; Aplicação da teoria dos valores extremos para previsão de períodos de retorno.	Construção de uma base de dados dos episódios ocorridos, ordenados cronologicamente e para os quais se procurou conhecer a magnitude; Conclui-se que parece haver um aumento da frequência e intensidade das cheias em Amarante não sendo, no entanto, uma resposta inequívoca.
10	Perceber como é que os habitantes da cidade lidam com os episódios de cheias. Que perceção têm dele? Que medidas tomam para gerir a situação de crise?	Análise e tratamento estatísticos das respostas obtidas no inquérito por questionário; Tratamento dos dados no <i>software</i> Microsoft Office Excel; Seleção dos inquiridos através da técnica de amostragem por quotas.	Apresentação dos factores que mais contribuem para a génese das cheias; Conclui-se que a população de Amarante está familiarizada com os episódios de cheia; Exposição de algumas medidas adotadas pelas populações para a gestão do risco.

Capítulo 3 - Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Tâmega

3.1. Recolha e tratamento dos dados

Para a realização deste capítulo foi necessário, inicialmente, proceder-se a uma recolha de dados que serviram de base para a caracterização da bacia hidrográfica e cálculo dos parâmetros morfométricos, de forma a perceber o comportamento hidrológico da bacia. Deve-se salientar a importância do modelo digital de terreno (MDT) que se baseou nos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*)⁶, disponibilizados pela agência NASA, com 30 metros de resolução espacial, para a obtenção de informação altimétrica, declives, orientação/exposição de vertentes e ainda da rede de drenagem. Posto isto, utilizando-se os dados SRTM e com o auxílio da extensão *Archydro* do *ArcGIS* (ESRI) procedeu-se à delimitação da bacia hidrográfica do rio Tâmega e extração da rede de drenagem. Relativamente à precipitação, recorreu-se aos valores da precipitação média anual, entre 1931 e 1960, publicados por SUZANNE DAVEAU (1977) e, visto que a bacia do Tâmega é uma bacia hidrográfica internacional, foram também utilizados os valores da precipitação média anual em Espanha (1971-2000), publicados no Atlas Nacional de Espanha (IGN). Outra informação fundamental na caracterização da bacia é a geologia, tendo-se recorrido à Carta Geológica de Portugal, à escala 1:200 000 (2000), do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), bem como ao Mapa Geológico de Espanha, na escala 1:200 000 (1989), produzido pelo Instituto Geológico e Mineiro de Espanha (IGME). Todavia, visto que o essencial é conhecer o comportamento do substrato geológico face ao escoamento, utilizou-se também a Carta Litológica de Portugal (escala 1:1000 000), do Atlas do Ambiente, de forma a constituir um mapa geológico da bacia uniformizado pelas unidades litológicas mais significativas. Quanto à ocupação do solo, foi usada a informação cartográfica da *Corine Land Cover*, relativa aos anos de 1990, 2000 e 2012, da Agência Europeia do Ambiente (EEA - *European Environment Agency*). A informação recolhida foi, posteriormente, tratada em sistemas de informação geográfica (SIG), recorrendo-se sobretudo ao *software ArcGIS*. Os parâmetros morfométricos foram calculados através do *Microsoft Office Excel*.

⁶ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

3.2. Delimitação e Caracterização da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Tâmega e Sub-bacia de Amarante

A bacia hidrográfica do rio Tâmega está integrada na bacia hidrográfica do rio Douro que segundo RIBEIRO, LAUTENSACH & DAVEAU (1988) constitui a "*unidade natural mais extensa e melhor definida da Península*", abrangendo uma área de cerca de 98 mil km². O rio Tâmega nasce em Laza, na província de Ourense (Espanha) a uma altitude que se encontra por volta dos 950 metros, e percorre cerca de 187,59 km até desaguar em Entre-os-Rios, no rio Douro, localizando-se na margem direita deste, e assumindo-se como um dos seus principais afluentes. A bacia do rio Tâmega possui uma área de aproximadamente 3314,77 km², pertencendo 80% (2645 km²) ao território nacional e apenas 20% (669,77 km²) ao território espanhol abrangendo, assim, 18 concelhos portugueses, entre os quais Amarante (totalmente incluído na bacia do rio Tâmega), Boticas, Cabeceiras de Basto, Chaves, Mondim de Basto, entre outros (APA, 2012). Esta bacia hidrográfica desenvolve-se segundo uma orientação NE - SW, encaixando-se entre as serras do Alvão e Marão, na parte oriental, as serras da Cabreira e do Barroso, na parte ocidental (COSTA, 1998). Em relação ao clima, distinguem-se dois tipos na bacia do rio Tâmega, nomeadamente, a feição atlântica na parte do Douro Litoral e Minho, e a feição continental na bacia superior (COSTA, 1998). O vale do Tâmega localiza-se numa área de transição climática que varia consoante a distribuição das massas montanhosas que o delimitam, constituindo um espaço onde ainda penetram as massas de ar marítimo, mas de forma indireta, dado que os períodos atlânticos alternam com os de matriz continental (RIBEIRO, LAUTENSACH & DAVEAU, 1988).

Para a delimitação da bacia hidrográfica do rio Tâmega e extração da rede de drenagem, utilizou-se a extensão *ArcHydro Tools* do *software ArcGis*. Na figura 8, encontra-se esquematizada a metodologia seguida para a realização deste processo, que utiliza como informação de base o MDT, baseado nos dados SRTM, seguindo depois uma série de procedimentos entre os quais se destacam:

- *Fill Sinks*: Preenchimento das depressões existentes no modelo digital do terreno, modificando a elevação da célula deprimida para um valor semelhante ao das células vizinhas;

- *Flow Direction*: Cálculo da direção do fluxo para um determinado conjunto de células, tendo por base o declive mais acentuado de uma célula em relação às células vizinhas;
- *Flow Accumulation*: Cálculo do fluxo acumulado de um dado conjunto de células, através da direção do fluxo criada anteriormente;
- *Stream Definition*: Criação de um *raster* com a rede de drenagem baseando-se no fluxo acumulado e tendo em consideração um limite imposto pelo operador. Neste trabalho o limite imposto foi de 250 (número de células), sendo que quanto menor for este limite, mais densa será a rede de drenagem e vice-versa;
- *Stream Segmentation*: Criação de um *raster* que divide o fluxo em segmentos, com uma identificação única;
- *Catchment Grid Delineation*: Definição de sub-bacias para cada segmento obtido com a função anterior de segmentação do fluxo;
- *Catchment Polygon Processing*: Esta função converte as sub-bacias definidas anteriormente em polígonos (formato vetorial);
- *Drainage Line Processing*: Transformação do *raster* obtido com a função de segmentação do fluxo, num tema vetorial, em que cada segmento contém informação de conectividade associada.

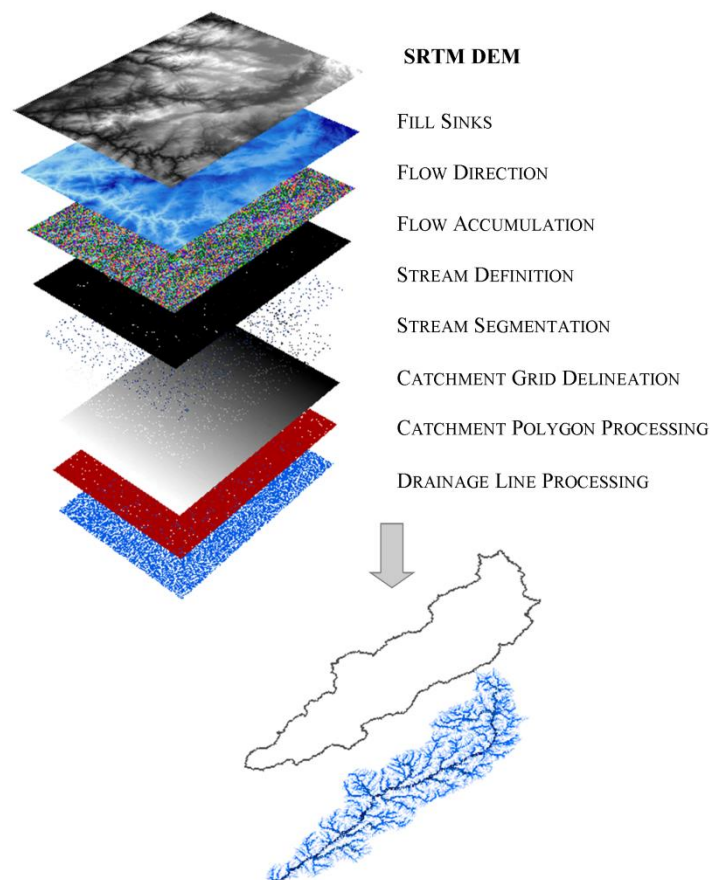


Figura 8 - Metodologia seguida para a delimitação da bacia hidrográfica do rio Tâmega.

Após a realização deste processo, foi necessário definir a secção de referência, a partir da qual se irá desenvolver a bacia hidrográfica do rio Tâmega correspondendo, neste caso, à confluência do rio Tâmega com o rio Douro.

Embora a bacia do rio Tâmega seja a grande unidade hidrográfica, neste estudo, optou-se também por delimitar uma sub-bacia, a montante da ponte de São Gonçalo, em Amarante, a qual se designou como sub-bacia hidrográfica do rio Tâmega (BHT), isto porque o escoamento resultante da contribuição de toda a bacia, a montante de Amarante, é que vai determinar a ocorrência de cheias nesta cidade. O processo de delimitação desta sub-bacia foi semelhante ao descrito anteriormente para a bacia hidrográfica do Tâmega, modificando-se apenas a secção de referência que, neste caso, corresponde à ponte de São Gonçalo, em Amarante. No entanto, como mostra a figura 9, definiu-se ainda outra sub-bacia (setor a tracejado), designada como sub-bacia de Amarante (BHA). A necessidade de delimitar este setor surgiu numa tentativa de compreender melhor a origem das cheias em Amarante, dado que esta sub-bacia possui algumas características específicas como por exemplo, o acentuado relevo dos sistemas montanhosos que aí se erguem e que contribuem para que, nesta região, o declive seja elevado, fazendo aumentar o escoamento superficial e a velocidade do fluxo. Assim, apesar do escoamento resultante da contribuição de toda a bacia a montante de Amarante ser importante para a ocorrência de cheias, considerou-se como hipótese a testar, que o setor da sub-bacia de Amarante contribui significativamente para que estes processos tenham um carácter mais repentino, uma vez que o escoamento que resulta dos afluentes do rio Tâmega, situados neste setor, pode provocar um aumento repentino do caudal e velocidade no rio principal.

Em relação à precipitação - sendo uma das variáveis climáticas que mais contribui para a compreensão da génese das cheias - torna-se importante salientar que a bacia hidrográfica do Tâmega, situada no Noroeste (NW) português, apresenta valores relativamente elevados. Conforme menciona RIBEIRO, LAUTENSACH & DAVEAU (1988) a bacia hidrográfica do rio Douro, na parte setentrional, isto é, na margem direita do rio, recebe precipitação mais abundante e, para além disso, o rio Tâmega está localizado no "*sopé oriental das serras mais chuvosas do Noroeste peninsular*". Assim, para a delimitação da sub-bacia de Amarante também influenciaram os valores da precipitação média anual, pois através da aplicação do método das isoietas, calculou-se um total de 1438 mm/ano para a sub-bacia do Tâmega, e cerca de 1730 mm/ano para a sub-bacia de

Amarante, podendo-se concluir que este setor apresenta os valores de precipitação mais elevados de toda a bacia, o que também é visível na figura 9c.

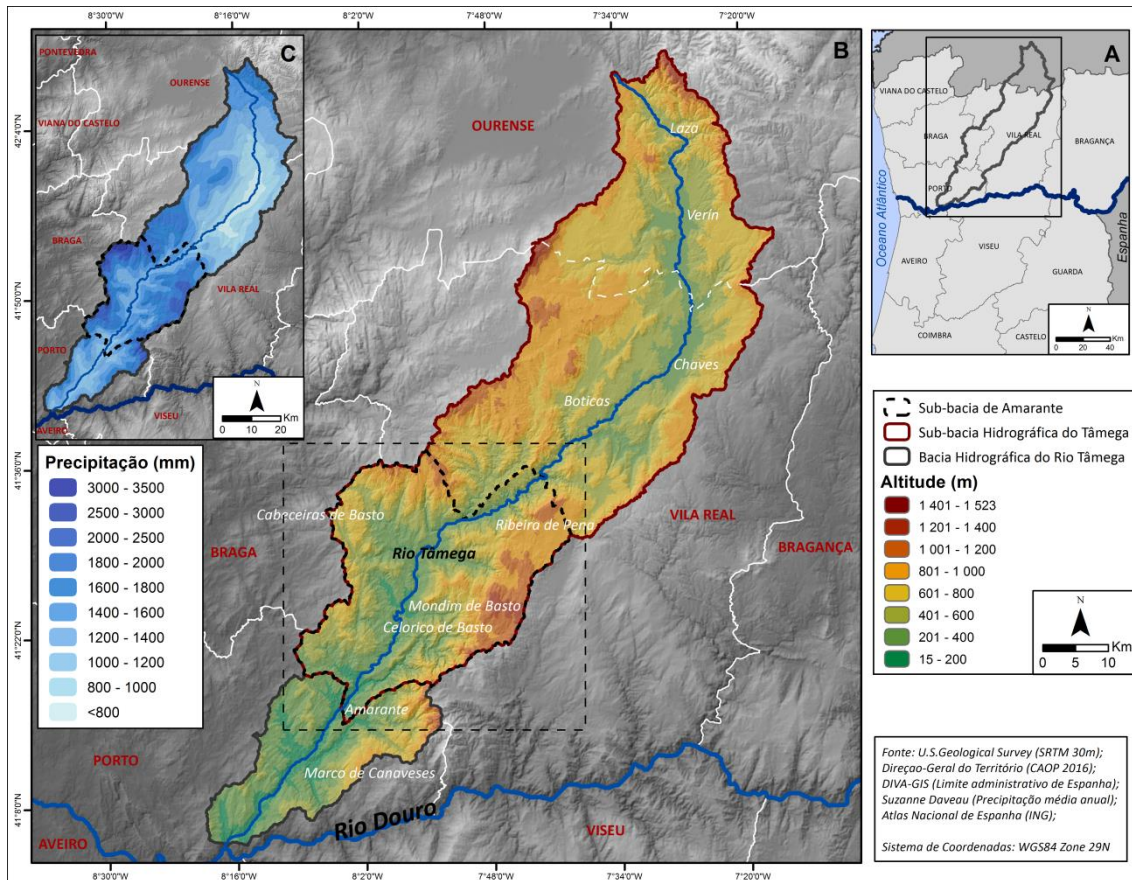


Figura 9 - (A) Enquadramento geográfico da BHT; (B) Hipsometria da BHT; (C) Precipitação média anual na BHT.

Analisando a figura 9 percebe-se que a altitude na bacia hidrográfica do rio Tâmega está compreendida entre os 15 e os 1523 metros, verificando-se um aumento da altitude à medida que nos afastamos do vale do Tâmega, em direção aos complexos montanhosos que a delimitam.

Em relação aos declives, estes são fundamentais para a caracterização das bacias hidrográficas e para a compreensão do seu comportamento relativamente às cheias. Quanto mais acentuados forem os declives, maior será a velocidade do escoamento, menor será a infiltração, maior será a erosão hídrica e fluvial e, por isso, maior será a carga de sedimentos transportados (LIMA *et al.*, 2010; NOAA, 2010; RAMOS, 2009; SANTOS, 2015). A sub-bacia hidrográfica do rio Tâmega apresenta um declive máximo de 63° e mínimo de 0°, sendo o declive médio de 11°. Através da análise da figura 10b, consegue-se perceber que cerca de metade da área total da BHT é ocupada por declives

inferiores a 5° (23 %) e entre 6 e 10° (28%), e a outra metade pelos declives intermédios, estando apenas 2% da área ocupada por declives superiores a 30°. Na sub-bacia de Amarante, o declive varia entre 0° e 61°, apresentando um valor médio de 13°. Neste setor é possível verificar um predomínio dos declives intermédios, visto que mais de 50% da área é ocupada por declives entre os 11° e os 30°. Deve-se ainda salientar uma maior percentagem de área ocupada por declives superiores a 30° (3,3%), em comparação com a BHT.

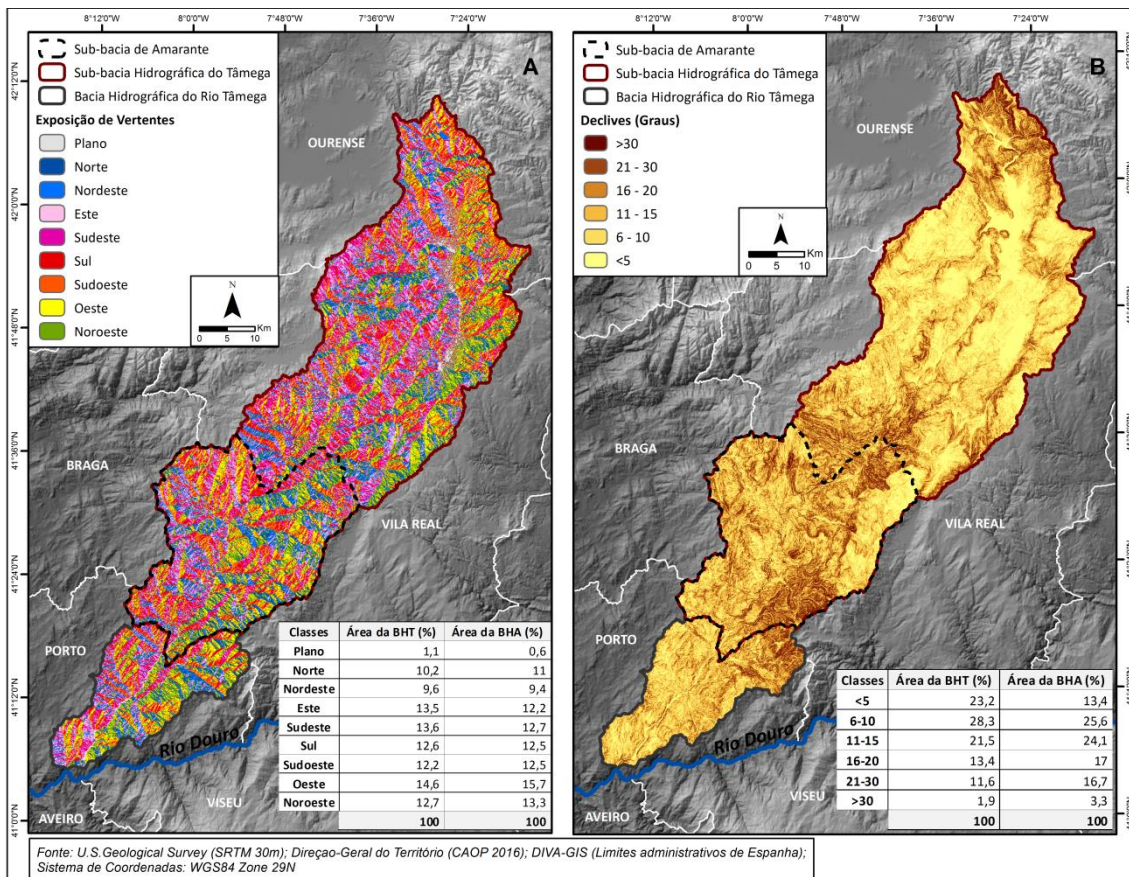


Figura 10- (A) Exposição de Vertentes; (B) Declives (em graus).

A exposição de vertentes é outro fator a ter em linha de conta para a caracterização das bacias hidrográficas, visto ter influência na quantidade de radiação solar que estas podem receber, assim como, a menor ou maior exposição aos fluxos pluviogénicos. Em Portugal, as vertentes viradas a Norte correspondem a áreas que recebem menor quantidade de radiação solar e, por essa razão, apresentam valores de humidade mais elevados, enquanto as encostas voltadas a Sul são áreas mais soalheiras, apresentando valores de humidade mais baixos (MARAFUZ, 2011). As vertentes voltadas a NW, W e SW são mais chuvosas, devido ao domínio da circulação de oeste, levando a

que estas se encontrem mais expostas aos fluxos pluviogénicos (RAMOS, 2009). No caso da BHT destacam-se as vertentes expostas a Oeste (14,6 %), Sudeste (13,6%) e Este (13,5%), enquanto as áreas planas e as encostas viradas a Nordeste assumem menor relevância. De uma forma geral, ao analisar a figura 10a verifica-se um contraste entre a margem esquerda da BHT que apresenta mais vertentes expostas a Noroeste, Oeste e Sudoeste, logo, mais chuvosas, relativamente à margem direita do rio onde existe uma maior expressão das encostas voltadas a Este, Sudeste e Sul. Quanto à sub-bacia de Amarante, as vertentes com maior expressão são as que se encontram viradas a Oeste (15,7 %) e Noroeste (13,3 %), o que evidencia o carácter chuvoso e húmido deste setor.

3.3. Parâmetros morfométricos como fatores condicionantes das cheias/inundações

Existem várias características biofísicas das bacias de drenagem (quadro 7) que atuam como fatores condicionantes das cheias e, por isso, a sua análise é um elemento essencial para descrever o comportamento hidrológico e hidráulico das bacias, de forma a compreender se estão mais ou menos propensas à ocorrência deste processo.

As propriedades físicas da bacia hidrográfica e dos seus cursos de água influenciam a velocidade de escoamento e, portanto, o tempo de concentração. Assim, qualquer fator que contribua para o aumento da velocidade e eficiência dos processos de escoamento pode tornar uma bacia mais propensa às cheias (NOAA, 2010). Os parâmetros aqui analisados influenciam sobretudo o tempo de concentração, como é o caso da área, forma, relevo e características do sistema de drenagem, bem como as perdas de precipitação onde se destacam a geologia e uso do solo (RAMOS, 2009). Estes fatores podem ser agrupados em características geométricas, sistema de drenagem, relevo, geologia, solos e vegetação (RAMOS, 2009; LENCASTRE & FRANCO, 2010). Seguidamente, faremos a análise destas características comparando os resultados obtidos para a sub-bacia do Tâmega (BHT) com o setor da sub-bacia de Amarante (BHA).

3.3.1. Características Geométricas

Na análise dos parâmetros geométricos destacam-se a área, o perímetro, o comprimento e a forma da bacia (RAMOS, 2009). A área de drenagem corresponde à área plana (projeção horizontal) limitada pelas linhas de separação topográfica,

enquanto o perímetro representa o comprimento da linha que delimita a área (LENCASTRE & FRANCO, 2010). Em relação ao comprimento da bacia existem vários critérios para a sua definição, sendo aqui utilizado aquele que corresponde à maior distância, medida em linha reta, entre a desembocadura e um determinado ponto situado no perímetro (RAMOS, 2009). A forma tem como objetivo comparar o formato da bacia hidrográfica com a de figuras geométricas recorrendo-se, para isso, a alguns parâmetros de descrição quantitativa (quadro 4), como é o caso do fator de forma, do coeficiente de compacidade, do índice de circularidade ou do índice de alongamento (RAMOS, 2009; LENCASTRE & FRANCO, 2010). Tal como afirma LOURENÇO (1986), o interesse pelo cálculo dos índices de forma, em estudos hidrológicos, assenta no facto de darem uma ideia sobre a propensão para as bacias hidrográficas registarem ou não cheias. Das características geométricas, a área e a forma da bacia são as mais importantes, isto porque quanto maior for a área, mais elevados serão os caudais de ponta de cheia produzidos pela bacia durante um período de precipitação. Por sua vez, quanto mais próxima da forma circular for a bacia, maior é a probabilidade de ser atingida por chuvas fortes e concentradas, em toda a sua extensão, o que não acontece numa bacia de forma alongada onde os valores de precipitação elevada são distribuídos mais uniformemente (RAMOS, 2009). Nas bacias alongadas, o escoamento proveniente dos afluentes, atinge o curso de água principal com maior desfasamento no espaço e no tempo relativamente ao período em que ocorrem as chuvas (LENCASTRE & FRANCO, 2010; RAMOS, 2009).

Quadro 4 - Características geométricas da sub-bacia hidrográfica do Tâmega e sub-bacia de Amarante.

	Sub-bacia H. do Tâmega	Sub-bacia de Amarante	Valores Extremos	
			Valor Mínimo	Valor Máximo
Área	2851,42 km ²	965 km ²		
Perímetro	482,26 km	242,52 km		
Comprimento da Bacia	112,06 km	47,50 km		
Fator de Forma (Horton)	0,23	0,43	0,1 (Alongada)	0,9 (Circular)
Coefficiente de Compacidade	2,53	2,19		1,6 (Compacta)
Índice de Circularidade (Miller)	0,15	0,21		1 (Circular)
Índice de Alongamento (Schumm)	0,54	0,74		1 (Circular)

Através da análise das características geométricas (quadro 4) verifica-se que a sub-bacia hidrográfica do rio Tâmega possui uma área de aproximadamente 2851,42

km², enquanto a sub-bacia de Amarante apresenta uma área bastante inferior, com apenas 965 km², o que equivale a 34% da área total. No que diz respeito à forma, a sub-bacia do rio Tâmega mostra-se mais alongada do que a sub-bacia de Amarante (BHA) que tem uma forma mais próxima da circular. Isto pode ser comprovado analisando, por exemplo, os resultados do índice de alongamento onde a BHA, com o valor de 0,74 se mostra mais próxima da forma circular do que a BHT com 0,54.

3.3.2. Sistema de Drenagem

"A rede de drenagem é constituída pelo curso de água principal e seus afluentes naturais e artificiais" (LIMA *et al.*, 2010). O estudo das suas características morfométricas é um dos fatores mais relevantes para a avaliação do escoamento superficial (NOAA, 2010; SANTOS, 2015). A análise do sistema de drenagem pode ser efetuada através de vários parâmetros, tais como, a ordem dos cursos de água (hierarquia), a magnitude ou o comprimento do curso de água principal. Todavia, estes fatores não permitem fazer comparações entre bacias hidrográficas com áreas muito diferentes, contrariamente à densidade de drenagem ou à densidade hídrica (LEAL, 2011; SANTOS, 2015). A densidade de drenagem constitui um indicador de tendência para a ocorrência de cheias, visto que as bacias com maior densidade de drenagem, isto é, com uma rede de drenagem eficiente, tendem a originar pontas de cheia mais elevadas (figura 11), ou seja, mais rapidamente se formará uma cheia e maior será a sua magnitude (LIMA *et al.*, 2010; RAMOS, 2009).

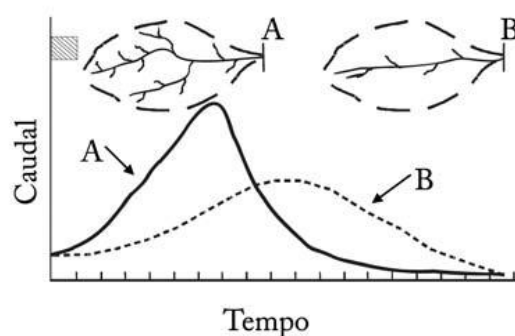


Figura 11 - Influência do sistema de drenagem no comportamento hidrológico das bacias hidrográficas (LIMA *et al.*, 2010).

Devem ser esperados valores elevados de densidade de drenagem em áreas com solos mais suscetíveis à erosão, impermeáveis, com vertentes inclinadas e vegetação dispersa, enquanto em áreas com solos relativamente permeáveis e relevos pouco acentuados, a densidade de drenagem deve ser baixa (REIS, 2006). Relativamente aos

valores que permitem classificar a densidade de drenagem, nota-se que ainda não existe um consenso nos valores de limite de classe a adotar, isto porque a representação dos cursos de água está muito dependente da qualidade dos dados de base e da escala de análise (RAMOS, 2009). Para além disso, é importante salientar também a influência que o critério utilizado para a extração da rede de drenagem tem nos resultados obtidos, nomeadamente, o limite imposto (250 células, referido anteriormente) que vai determinar a maior ou menor densidade de drenagem. No entanto, numa tentativa de classificar a densidade de drenagem, LENCASTRE & FRANCO (2010) defendem que este parâmetro varia entre 0,5 km/km², para bacias mal drenadas, e 3,5 km/km² (ou mais) para bacias bem drenadas. Já CHRISTOFOLETTI (1969) (*in* REIS, 2006) considera que uma baixa densidade de drenagem possui valores inferiores a 7,5 km/km², média quando os valores variam entre 7,5 e 10 km/km², e alta quando os valores são superiores a 10 km/km². Todavia, estes valores podem não ser adaptáveis a todas as situações, visto que os autores não referem os dados de base utilizados, a partir dos quais obtiveram estes limites, o que seria importante pois, como já se referiu, influenciam largamente os resultados obtidos (REIS, 2006).

Por sua vez, a densidade hídrica ou densidade de rios que relaciona o número total de cursos de água existentes na bacia (canais de 1º ordem) com a respetiva área, representa um aspeto fundamental do comportamento hidrológico que é a capacidade de gerar novos cursos de água. O coeficiente de manutenção é considerado um dos valores mais importantes para a caracterização do sistema de drenagem pois "*fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento*" (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Quadro 5 - Características do sistema de drenagem da sub-bacia hidrográfica do Tâmega e sub-bacia de Amarante.

	Sub-bacia H. do Tâmega	Sub-bacia de Amarante
Hierarquia (Strahler)	6º Ordem	6º Ordem
Magnitude (Shreve)	7703 Cursos de água	2592 Cursos de água
Comprimento do curso de água principal	156,76 km	63,11 km
Comprimento total dos cursos de água	4597,57 km	1506,98 km
Densidade de Drenagem	1,61 km/km ²	1,56 km/km ²
Densidade Hídrica (Horton)	3 canais/km ²	3 canais/km ²
Coeficiente de Manutenção (Schumm)	620 m	640 m

Analisando o quadro5 verifica-se que a sub-bacia hidrográfica do Tâmega, bem como a sub-bacia de Amarante, apresentam uma hierarquia de 6º ordem, segundo o critério de Strahler (figura 12), e uma magnitude de 7703 cursos de água (1º ordem) para a BHT, e 2592 para a BHA. Relativamente ao coeficiente de manutenção, este indica que quanto menor for o seu valor, mais rapidamente a água se concentra nos canais fluviais, aumentando a suscetibilidade a cheias. Os resultados obtidos através do cálculo deste parâmetro mostram-se similares quer para a sub-bacia hidrográfica do Tâmega, quer para a sub-bacia de Amarante (BHA). Desta forma, e considerando que os resultados obtidos estão muito dependentes da informação de base, da escala de análise e do critério utilizado para a definição da rede de drenagem, conclui-se que os valores destes indicadores têm pouca relevância na comparação dos setores em análise.

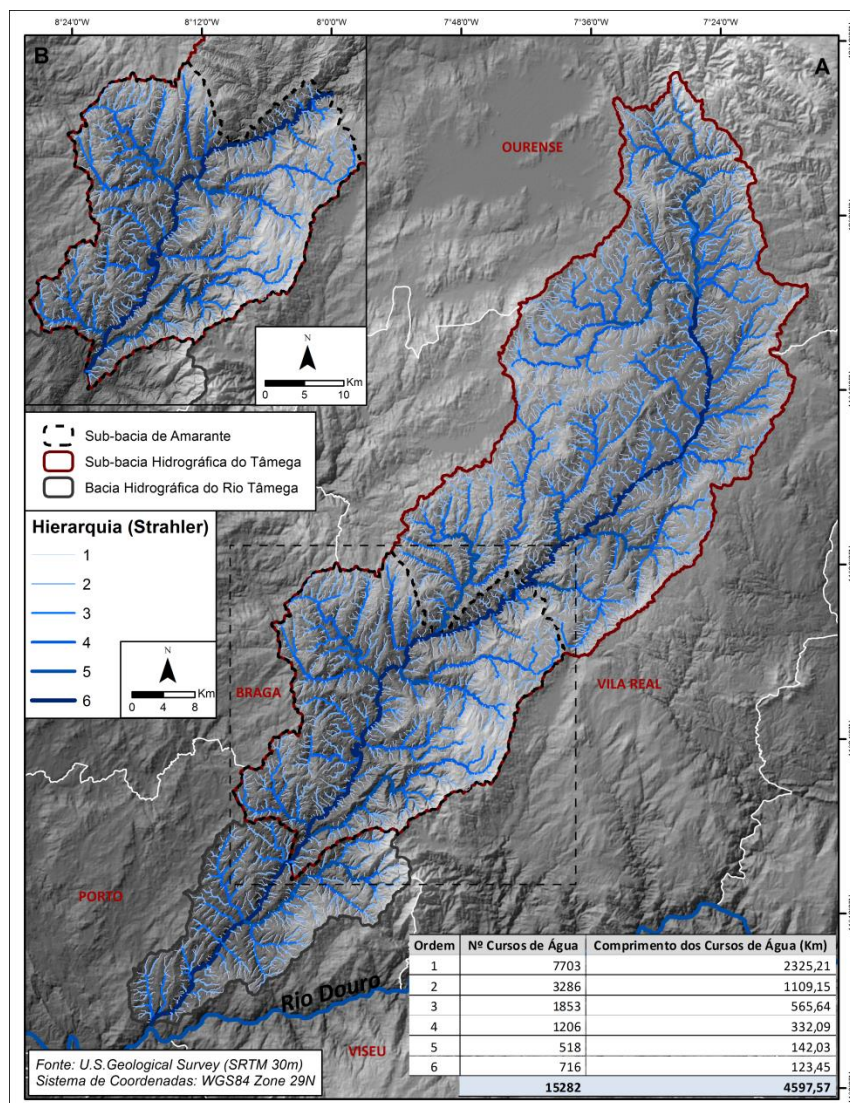


Figura 12 - (A) Hierarquia da rede hidrográfica segundo o critério de Strahler na BHT (B) e na sub-bacia de Amarante (BHA).

3.3.3. Relevô

A análise das características do relevo ou análise hipsométrica é outro fator importante, uma vez que influencia determinantemente o comportamento das bacias hidrográficas face às cheias (RAMOS, 2009). Tal como referido anteriormente, o relevo interfere com vários aspetos como a velocidade de escoamento, a infiltração, a intensidade da erosão e o transporte de materiais. No que respeita às suas componentes devem-se salientar a "*posição relativa das serras/montanhas, a exposição aos fluxos pluviogénicos, a altitude e o declive*" (RAMOS, 2009). Assim sendo, as bacias com declives mais elevados, regra geral, são mais perigosas em caso de cheia porque promovem o aumento da velocidade de propagação das águas e da sua capacidade de transporte de materiais (RAMOS, 2009). Dos vários indicadores que permitem fazer uma análise quantitativa do relevo, os principais são: a curva hipsométrica, a altitude e a altura média, a amplitude altimétrica, o coeficiente de massividade, o coeficiente orográfico, o índice de rugosidade, a relação de relevo, o índice de declive de Roche e o declive do canal fluvial principal.

Conforme define LOURENÇO (1986) a "*curva hipsométrica representa as áreas situadas acima e abaixo das diversas curvas de nível*", e tem como principal objetivo "*expressar a maneira pela qual o volume rochoso situado abaixo da superfície topográfica está distribuído desde a base até o topo*" (CHRISTOFOLETTI, 1980). Por sua vez, o coeficiente de massividade apresenta "*valores elevados em bacias pequenas que apresentam grandes desníveis, e valores pequenos em grandes bacias de relevo pouco acentuado*", sendo que o seu valor nunca poderá ser superior a 1 (CHRISTOFOLETTI, 1980; LENCASTRE & FRANCO, 2010). Contudo, como os valores obtidos podem ser iguais para bacias muito diferentes, foi criado outro indicador para distinguir esses casos, nomeadamente, o coeficiente orográfico (LENCASTRE & FRANCO, 2010). Este combina a altura média de uma bacia, que tem influência na energia potencial da água, e o seu declive, que influencia o escoamento superficial (LENCASTRE & FRANCO, 2010).

Quanto ao índice de rugosidade, este será maior em bacias mais acidentadas e mais afetadas pela erosão fluvial (RAMOS, 2009). A relação de relevo, proposta por Schumm, é um parâmetro que indica a inclinação da bacia, por isso, quanto mais

elevado for o seu valor, mais rápida é a chegada das águas à desembocadura (RAMOS, 2009). Relativamente ao índice de declive de Roche, este é considerado um dos mais utilizados índices de declive médio para toda a bacia. Para o seu cálculo é necessário conhecer o comprimento do retângulo equivalente (Le), que se pode ser obtido através da seguinte equação:

$$Le = 0,89 Kc \sqrt{A} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right)$$

Em que:

A corresponde à área da bacia e Kc ao coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius.

O declive do canal fluvial principal é outro importante fator, dado que controla a velocidade de escoamento influenciando, portanto, o tempo que a água leva a concentrar-se nos canais fluviais (RAMOS, 2009).

Quadro 6 - Características do relevo da sub-bacia hidrográfica do Tâmega e sub-bacia de Amarante.

	Sub-bacia H. do Tâmega	Sub-bacia de Amarante
Altitude Mínima	78 m	78 m
Altitude Máxima	1523 m	1322 m
Altitude Média	649,46 m	584,62 m
Altura Média	571,46 m	506,62 m
Amplitude Altimétrica	1445 m	1244 m
Coefficiente de Massividade	0,20	0,53
Coefficiente Orográfico	114,53	266
Índice de Rugosidade	2329,89	1942,85
Relação de Relevo	0,01	0,03
Índice de Declive de Roche	6,3 m/km	11,1 m/km
Declive do canal fluvial principal	5,55 m/km	2,85 m/km

A sub-bacia hidrográfica do rio Tâmega apresenta uma altitude média de 649 metros, e uma altura média de 571 metros, enquanto a sub-bacia de Amarante regista os valores de 585 e 507 metros, respetivamente (quadro 6). Pela análise das curvas hipsométricas (figura 13) verifica-se que mais de metade da área da sub-bacia do rio Tâmega (54,2%) se encontra entre os 400 e os 800 metros de altitude, e apenas 7,13% se encontra a altitudes superiores a 1000 metros. Por sua vez, a curva hipsométrica da BHA mostra que aproximadamente 52% da área drenante é ocupada por altitudes entre os 200 e os 600 metros, e cerca de 25% possui altitudes acima dos 800 metros.

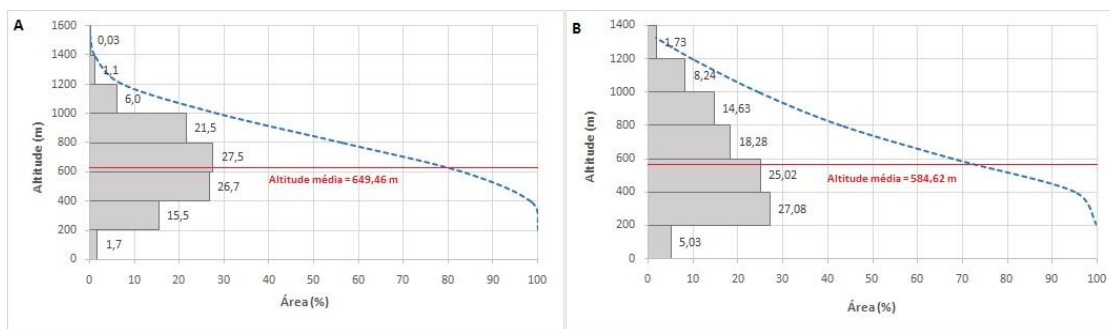


Figura 13 - (A) Curva hipsométrica e frequências altimétricas na sub-bacia hidrográfica do Tâmega (B) e sub-bacia de Amarante.

Em relação aos resultados do coeficiente de massividade, estes mostram que a sub-bacia de Amarante, com 0,53, apresenta um relevo mais acentuado do que a sub-bacia hidrográfica do Tâmega, com 0,20. Os resultados do coeficiente orográfico e do índice de rugosidade demonstram que o relevo na BHA é relativamente acidentado estando, por isso, mais suscetível à ocorrência de cheias. Também os valores obtidos na relação de relevo e no índice de declive de Roche confirmam estes resultados, visto que a sub-bacia de Amarante apresenta valores superiores em relação à sub-bacia do Tâmega, podendo-se concluir que este setor possui declives mais acentuados. O declive do curso de água principal apresenta-se mais elevado na BHT (5,55 m/km) em comparação com a sub-bacia de Amarante (2,85 m/km).

Para a elaboração do perfil longitudinal do rio Tâmega e seus principais afluentes (figura 14) foi necessário gerar curvas de nível (10 metros) através dos dados SRTM, utilizando-se como informação altimétrica os valores das curvas de nível no cruzamento com o curso de água, de forma a minimizar incorreções.

A análise do perfil longitudinal permite perceber com mais detalhe o desenvolvimento do rio desde a nascente até à foz. Deste modo, verifica-se que o rio Tâmega nasce por volta dos 950 metros de altitude sofrendo, em menos de 10 km, uma descida abrupta para cotas próximas dos 500 metros de altitude. No restante percurso, o rio apresenta uma descida gradual do declive até à desembocadura. Através do perfil longitudinal consegue-se compreender os valores mais baixos do declive do curso de água principal obtidos para a sub-bacia de Amarante (BHA), visto que na passagem por esse setor o rio regista um fraco declive.

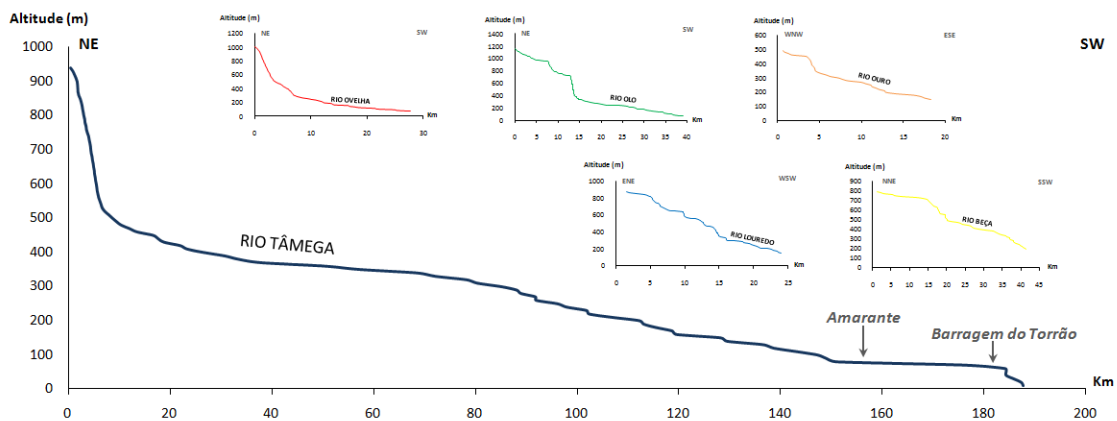


Figura 14 - Perfil longitudinal do rio Tâmega e principais afluentes.

Na figura 14 estão também representados os perfis longitudinais dos afluentes principais do Tâmega na BHA e o rio Ovelha que fica a jusante, ressaltando desde logo a variabilidade de formato dos perfis. Apenas o rio Ovelha parece aproximar-se de um perfil de equilíbrio enquanto os restantes apresentam, de uma forma geral um perfil muito irregular com inúmeras ruturas de declive, e com elevado declive longitudinal. Este comportamento favorece o escoamento rápido do fluxo ao longo destes afluentes.

Para uma melhor compreensão e descrição do relevo existente na bacia hidrográfica do Tâmega foram elaborados três perfis topográficos transversais ao curso de água principal (figura 15). O perfil A mostra as principais formas montanhosas que se destacam no setor superior da bacia, nomeadamente, a Serra do Larouco e a Serra de Leiranco. Relativamente à forma do vale do Tâmega, esta apresenta-se bastante larga e plana com declives pouco acentuados nas vertentes envolventes.

O perfil B coloca em evidência os relevos existentes na sub-bacia de Amarante, demonstrando que este setor possui altitudes elevadas e declives acentuados. O vale do Tâmega encontra-se delimitando pela Serra da Cabreira (margem direita) e pela Serra do Alvão (margem esquerda), possuindo um fundo relativamente plano, embora mais estreito do que aquele que é apresentado no perfil A.

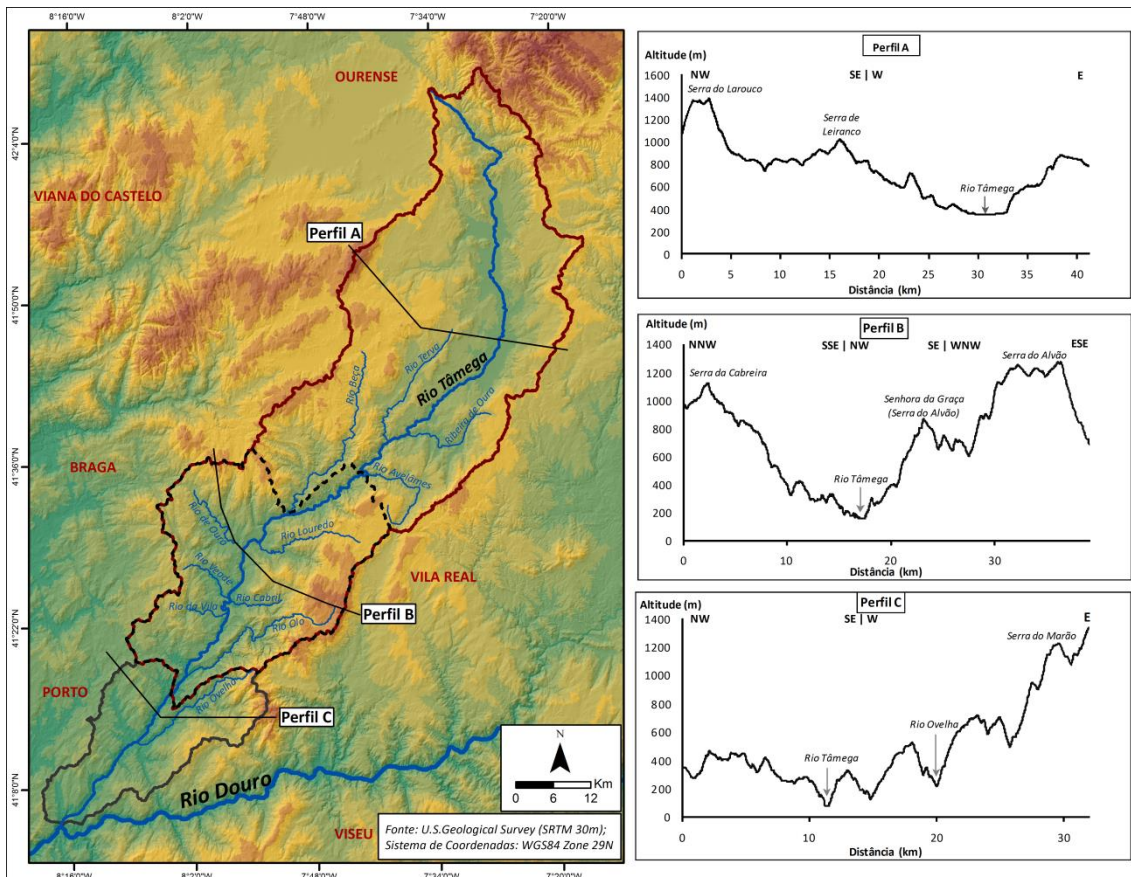


Figura 15 - Perfis topográficos da bacia hidrográfica do rio Tâmega.

Por sua vez, no perfil C é visível a existência de altitudes inferiores sobretudo na margem direita do rio Tâmega, embora na margem esquerda se verifiquem altitudes elevadas devido ao relevo bastante saliente da Serra do Marão. Neste perfil topográfico o vale do Tâmega mostra-se fundo e estreito, ladeado por vertentes íngremes, notando-se também o vale encaixado, em forma de "V", do rio Ovelha.

Quadro 7 - Parâmetros para a caracterização da bacia hidrográfica (Adaptado de CHRISTOFOLETTI, 1980; LENCASTRE & FRANCO, 2010; RAMOS, 2009).

Geometria		
Fator Forma (Horton)	$Kf = \frac{A}{L^2}$	Relação entre a largura média e o comprimento da bacia. Varia entre 0,1 (bacia alongada) e 0,9 (bacia arredondada).
Coefficiente de Compacidade	$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo com igual área. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade.
Índice de Circularidade (Miller)	$Ic = \frac{4\pi A}{P^2}$	Relação entre a área da bacia e a área de um círculo com o mesmo perímetro. O valor máximo deste índice é 1 que corresponde a uma bacia circular.
Índice de Alongamento (Schumm)	$Ia = \frac{2\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{L}$	Relação entre o diâmetro de um círculo de área igual à da bacia e o diâmetro maior da bacia. Valor máximo é 1 e quanto mais próximo de 0 mais alongada é a bacia.
Rede de Drenagem		
Densidade de Drenagem (Horton)	$Dd = \frac{Ct}{A}$	Relação entre o comprimento total dos cursos de água e a área da bacia. Fornece a indicação da eficiência da drenagem natural da bacia.
Densidade Hídrica (Horton)	$Dh = \frac{N}{A}$	Relação entre o número de cursos de água e a área da bacia. Representa a capacidade de uma área gerar novos cursos de água.
Coefficiente de Manutenção (Schumm)	$Cm = \frac{1}{Dd} \times 1000$	Fornece a área mínima para a manutenção de um metro de canal de escoamento.
Relevo		
Altitude Média	$Z = \frac{\sum zi Ai}{A}$	zi é a altitude média de cada classe altitudinal (m); Ai é a área dessa classe altitudinal; A é a área da bacia (km ²)
Altura Média	$H = \frac{\sum hi Ai}{A}$	Define-se de forma semelhante à altitude média, mas em vez de utilizar cotas acima do nível médio do mar, refere-se a cotas acima da área em estudo.
Amplitude Altimétrica	$D = Am - am$	Diferença entre a altitude máxima e a altitude mínima da bacia.
Coefficiente de Massividade	$Cm = H/A$	Representa o quociente entre a altura média da bacia (metros) e a respetiva área (km ²).
Coefficiente Orográfico (Fourier)	$Co = \frac{H^2}{A}$	Combina a altura média da bacia, que influencia a energia potencial da água, e o declive, que tem influência sobre o escoamento superficial.
Índice de Rugosidade (Melton)	$Ir = D \times Dd$	Relação entre o declive e o comprimento das vertentes com a densidade de drenagem.
Relação de Relevo (Schumm)	$Rr = \frac{D}{Cb}$	Razão entre a amplitude altimétrica e o comprimento da bacia (m).
Índice de Declive de Roche	$IdR = \frac{Am - am}{Le}$	Representa o índice de declive médio para toda a bacia, entre a cota mais elevada e a cota mais baixa.
Declive do canal fluvial principal	$Dc = Dh/Ch$	Relação entre o desnível dos pontos extremos e o comprimento do curso de água principal.

3.4. Geologia

O substrato geológico e o tipo de solos de uma determinada bacia hidrográfica estão estreitamente relacionados com a distribuição e movimento da água, uma vez que influenciam o escoamento superficial, condicionando a grandeza das pontas de cheia bem como os fenómenos de erosão (LENCASTRE & FRANCO, 2010). O substrato geológico pode ser constituído por formações não consolidadas como, por exemplo, o cascalho e as areias, ou por formações geológicas consolidadas (*e.g.*, rochas metamórficas e ígneas), as quais possuem permeabilidades distintas que condicionam a infiltração das águas (RAMOS, 2005a). Assim, a porosidade e a permeabilidade das formações geológicas assumem-se como as principais propriedades a ter em conta para a compreensão do escoamento nas bacias hidrográficas. A porosidade relaciona-se com a capacidade dos solos e das rochas reterem a água sendo, por isso, mais elevada nas formações geológicas não consolidadas. Em relação à permeabilidade, ou capacidade do solo se deixar atravessar pela água, esta será maior quanto menos compacto e coeso for o substrato, quanto mais grosseira for a sua textura e quanto mais descontinuidades existirem (RAMOS, 2005a). Deste modo, uma bacia hidrográfica com um substrato geológico pouco permeável dificulta a infiltração das águas, promove o desenvolvimento da rede de drenagem, aumenta o escoamento superficial e intensifica a ocorrência de cheias (RAMOS, 2009).

Pela análise da figura 16, nota-se claramente que na sub-bacia do Tâmega prevalecem dois tipos de litologias, nomeadamente, os granitos e rochas afins e os xistos e grauvaques. Estes complexos litológicos ocupam aproximadamente 94 % da área total da BHT sendo, no entanto, os granitos e rochas afins o afloramento predominante que ocupa cerca de 63% da área da bacia em comparação com os xistos e grauvaques que afloram apenas em 31 %. As areias e cascalheiras ocupam 4% da área, sendo bem visíveis na parte superior da bacia ao longo do curso principal, enquanto os quartzitos afloram somente em 1% da BHT.

Dada a composição geológica percebe-se que a bacia se insere numa área essencialmente granítica com alguns afloramentos significativos de xistos e grauvaques apresentando, por isso, uma permeabilidade moderada a muito reduzida, proporcionando um aumento do escoamento superficial.

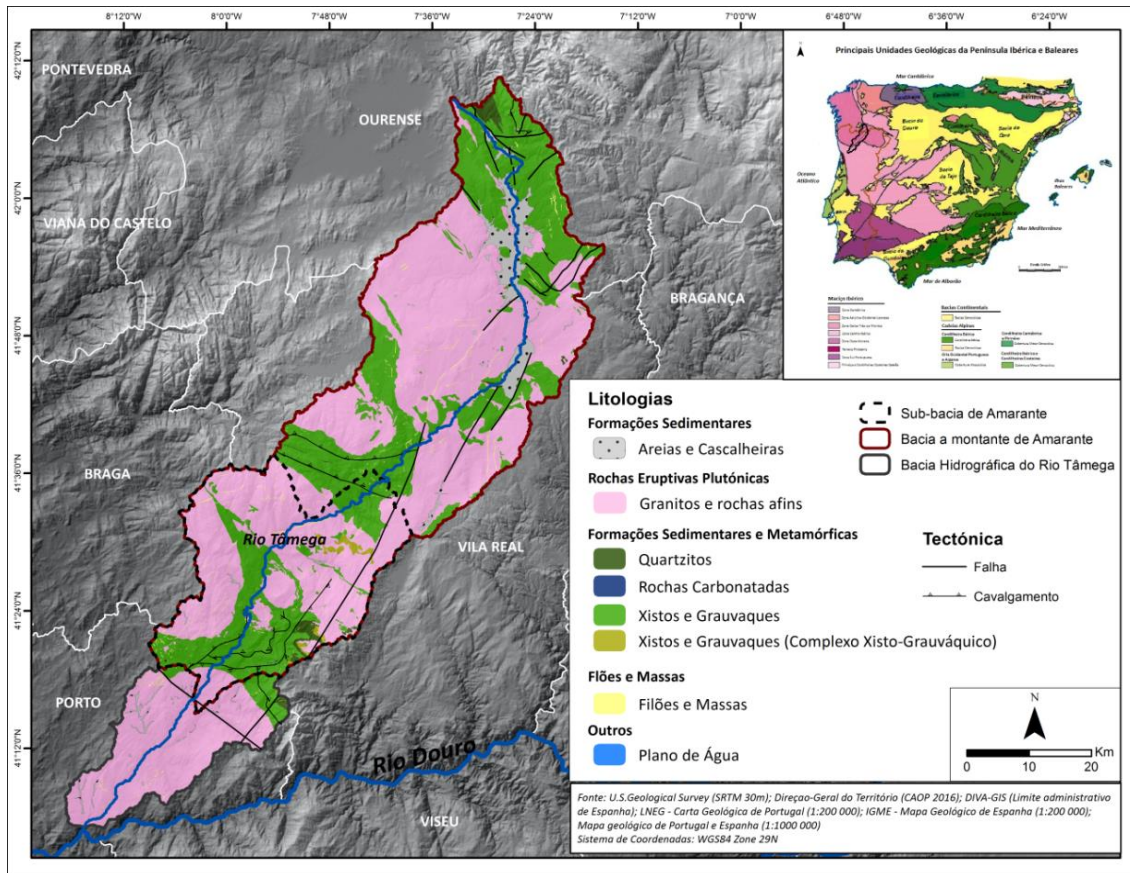


Figura 16 - Tectónica e geologia da BHT simplificada por complexos litológicos.

3.5. Uso/Ocupação do Solo

Para a análise dos processos hidrológicos que ocorrem numa bacia de drenagem é importante considerar também a influência que o uso/ocupação do solo tem no escoamento superficial, nas taxas de evaporação e na aptidão para a retenção de água (RAMOS, 2009). Quando uma bacia hidrográfica é ocupada por vastas zonas florestais, a infiltração é favorecida e a velocidade de escoamento diminui, reduzindo os fenómenos de erosão e a tendência para a ocorrência de grandes cheias (LENCASTRE & FRANCO, 2010). Porém, a ação antrópica tende a atuar no sentido de aumentar as superfícies impermeabilizadas, o que provoca alterações no comportamento hidrológico das bacias de drenagem, uma vez que reduz as taxas de infiltração, aumenta o escoamento superficial e potencia a ocorrência de cheias (figura 17) (RAMOS, 2009).

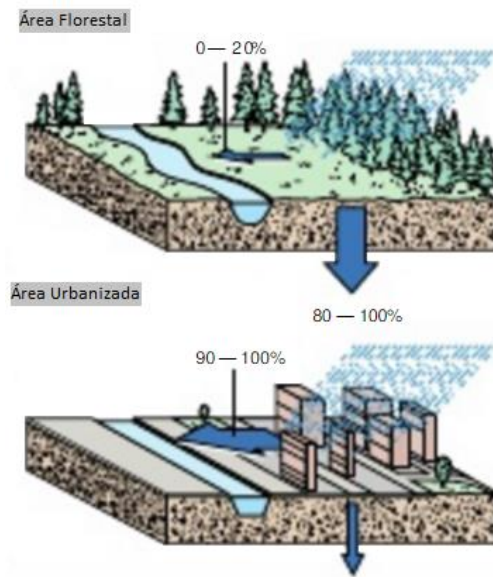


Figura 17 - Escoamento superficial vs. Infiltração (Adaptado de HAMBLIN & CHRISTIANSEN, 2001).

Para a elaboração do mapa de uso/ocupação do solo (figura 18) foram utilizadas as cartas *Corine Land Cover* de 1990, 2000 e 2012, disponíveis na Agência Europeia do Ambiente, com o objetivo de compreender a evolução dos usos do solo durante estes períodos. Posteriormente, agruparam-se as classes segundo a classificação do Nível I da *Corine Land Cover* resultando, para o caso da BHT, em 4 classes de uso do solo, nomeadamente, zonas artificializadas, zonas agrícolas, zonas florestais e semi-naturais e corpos de água.

Analisando a figura 18 percebe-se a evolução da ocupação do solo na BHT, sendo evidente o domínio das zonas florestais e semi-naturais em todos os momentos, aumentando ligeiramente (0,8%) entre 1990 e 2012. Destaca-se ainda uma expansão das zonas artificializadas (1,8%), em detrimento das zonas agrícolas e zonas florestais (-2,8%). No ano de 2012, a bacia hidrográfica rio do Tâmega apresentava aproximadamente 62,7 % da sua área ocupada por zonas florestais e semi-naturais, cerca de 34,6% por zonas agrícolas, e apenas 2,4% por zonas artificializadas.

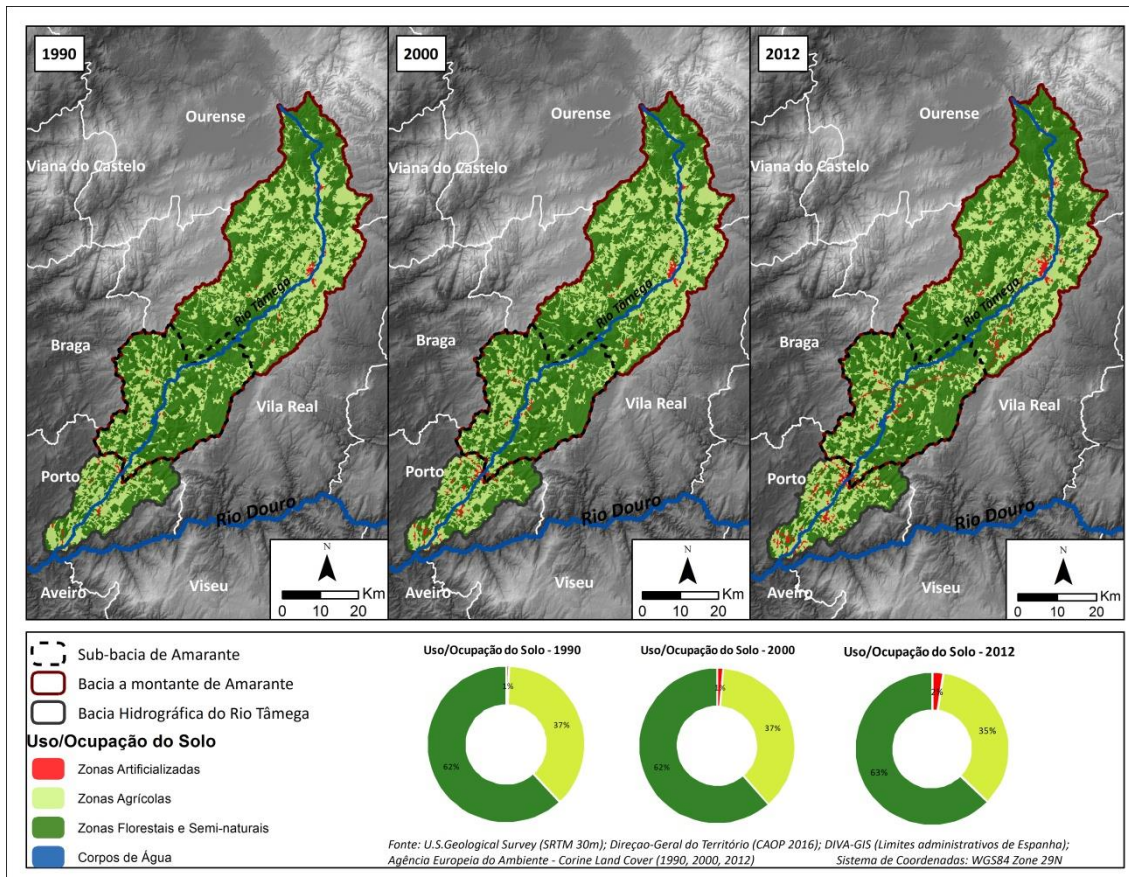


Figura 18 - Evolução da ocupação do solo na bacia hidrográfica do Tâmega (1990; 2000; 2012).

3.6. Tempo de Concentração

O tempo de concentração (T_c) pode ser entendido como o "tempo que a água demora a atingir a desembocadura ou secção de referência da bacia hidrográfica desde o ponto mais afastado", podendo ser expresso em minutos, horas ou dias (REIS, 2006). É considerado uma característica constante da bacia, pois está diretamente relacionado com as suas características geomorfológicas, independentemente das precipitações que possam ocorrer (RAMOS, 1994). Assim, o tempo de concentração pode ser influenciado por diversos fatores, tais como a área, forma e declive da bacia, comprimento e declive do curso de água principal e dos seus afluentes, tipo de cobertura vegetal, tipo de ocupação do solo, distância horizontal entre o ponto mais afastado e a secção em estudo, coeficiente de rugosidade do canal de escoamento e tipo de substrato geológico (COSTA & LANÇA, 2011; LIMA *et al.*, 2010; SANTOS, 2015). O T_c é um parâmetro essencial para a análise das cheias, visto que dele depende a magnitude e frequência das mesmas. Este apresenta valores mais elevados em bacias estreitas e alongadas e mais baixos em bacias arredondadas com fortes declives (RAMOS, 2009).

Na literatura existem várias fórmulas empíricas para a determinação do tempo de concentração (T_c), estando entre as mais usadas a fórmula de *Giandotti*, *Kirpich* (bacias rurais com declives compreendidos entre 3% e 10%), *Ven te Chow*, *Temez* (bacias hidrográficas com área até 3000 km²), *Soil Conservation Service* (bacias rurais com área inferior a 8 km²), *David* (bacias com área até 25 km²) e *Pickering* (MARTINS, 2000; LIMA *et al.*, 2010; COSTA & LANÇA, 2011). Dado que nem todas as fórmulas se adequam às características de determinadas bacias hidrográficas, neste estudo, optou-se por aplicar duas das que têm maior divulgação (quadro 8) - *Giandotti* (Giandotti, 1953) e *Temez* (Temez, 1978).

Quadro 8 - Fórmulas utilizadas para o cálculo do tempo de concentração (COSTA & LANÇA, 2011; MARTINS, 2000).

Nome	Fórmula	Descrição
<i>Giandotti</i>	$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,80\sqrt{H}}$	T_c é o tempo de concentração (horas); A é a área da bacia hidrográfica (km ²); L é o comprimento do rio principal (km); H é a altura média da bacia (m), medida a partir da secção considerada.
<i>Temez</i>	$T_c = 0,3 \left(\frac{L}{i^{0,25}} \right)^{0,76}$	T_c é o tempo de concentração (horas); L é o comprimento do rio (km); i é o declive médio do curso de água principal (m/m).

A fórmula de *Giandotti* é de uso bastante comum em Portugal sendo a sua aplicação recomendável a grandes bacias hidrográficas (MARTINS, 2000). Por outro lado, a fórmula de *Temez* tem apresentado bons resultados em Portugal (RAMOS, 2009).

Contudo, em cálculos posteriores como, por exemplo, na obtenção dos caudais de ponta de cheia, optou-se por utilizar a fórmula de *Giandotti* pois foi aquela que revelou melhores resultados para a bacia hidrográfica em estudo (quadro 9).

Quadro 9 - Tempos de concentração, segundo as fórmulas de *Giandotti* e *Temez*, para a sub-bacia hidrográfica do Tâmega (BHT) e sub-bacia de Amarante (BHA).

	Sub-bacia H. do Tâmega	Sub-bacia de Amarante
Tempo de Concentração	<i>Giandotti</i>	26,2
	<i>Temez</i>	43,9
	Média	35h

Capítulo 4 - Análise das precipitações e caracterização do regime hidrológico

4.1. Precipitações

A análise da distribuição da precipitação reveste-se de importância em estudos relacionados com as cheias pois, do conjunto das variáveis climáticas, esta é a que mais diretamente contribui para a sua ocorrência (VELHAS, 1991).

4.1.1. Recolha dos dados pluviométricos

Para a aquisição dos dados pluviométricos recorreu-se ao Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) de forma a caracterizar a distribuição das precipitações sobre a bacia hidrográfica do rio Tâmega. Foram selecionadas as estações udográficas, localizadas dentro da BHT (quadro 10), com séries de dados suficientemente longas de precipitação anual, mensal e precipitação diária máxima anual. Visto que o foco deste estudo incide sobretudo em Amarante, a análise da precipitação anual limitou-se aos dados existentes na estação udográfica situada na cidade (código 06I/01G), para o período entre 1940 a 1990. Em relação à precipitação mensal utilizaram-se os dados das sete estações consideradas, para o período compreendido entre 1948 a 1994, isto porque nenhuma das estações apresentava lacunas nos registos mensais para esta série temporal. Para a análise da precipitação diária máxima anual consideraram-se todos os postos udográficos, bem como todos os anos para os quais existem registos, de forma a obterem-se séries de dados suficientemente longas.

Quadro 10 - Características das estações udográficas (SNIRH, 2017).

Código	Nome	Tipo	Altitude (m)	Índice de Qualidade do SNIRH ⁷
06I/01G	Amarante	Udográfica	146	15
03L/03G	Boticas	Udográfica	501	14
04J/06UG	Cabeceiras de Basto	Udográfica	263	13
06J/02UG	Candemil	Udográfica	449	10
04J/04UG	Cavez	Udográfica	292	14
05I/01UG	Celorico de Basto	Udográfica	227	15
03M/01G	Chaves	Udográfica	350	15

⁷Qualidade da série de dados expressa pela pontuação: 5 a 8 - má qualidade da série anual; 9 a 12 - qualidade média ou razoável da série anual; superior a 12 - série anual com grande fiabilidade.

4.1.2. Precipitação anual e mensal

A análise da precipitação anual limitou-se aos dados existentes no posto udoográfico de Amarante, entre 1940-1990. Na figura 19 é possível observar que as precipitações anuais para este período apresentam algumas variações em relação ao módulo pluviométrico ou média aritmética das precipitações anuais que apresenta um valor de 1189 mm (LENCASTRE & FRANCO, 2010). Em 1965 registou-se o valor de precipitação mais elevado da série considerada com cerca de 2079 mm, enquanto que em 1948 se observou o valor mais baixo de 614 mm. Através dos dados da precipitação anual constata-se ainda que os seus valores não conseguem explicar a ocorrência de cheias em Amarante, ficando-se com a ideia de que a concentração de precipitação num dado período de tempo é que provoca a ocorrência destes processos. Neste sentido, na figura 19 verifica-se que nalguns dos anos com valores de precipitação anual mais elevados, tais como, 1959, 1965, 1968 e 1976, não existem quaisquer registos de cheias em Amarante, considerando-se o trabalho desenvolvido por TEDIM *et al.* (2010), onde consta uma base de dados das cheias ocorridas em Amarante ao longo do século XX.

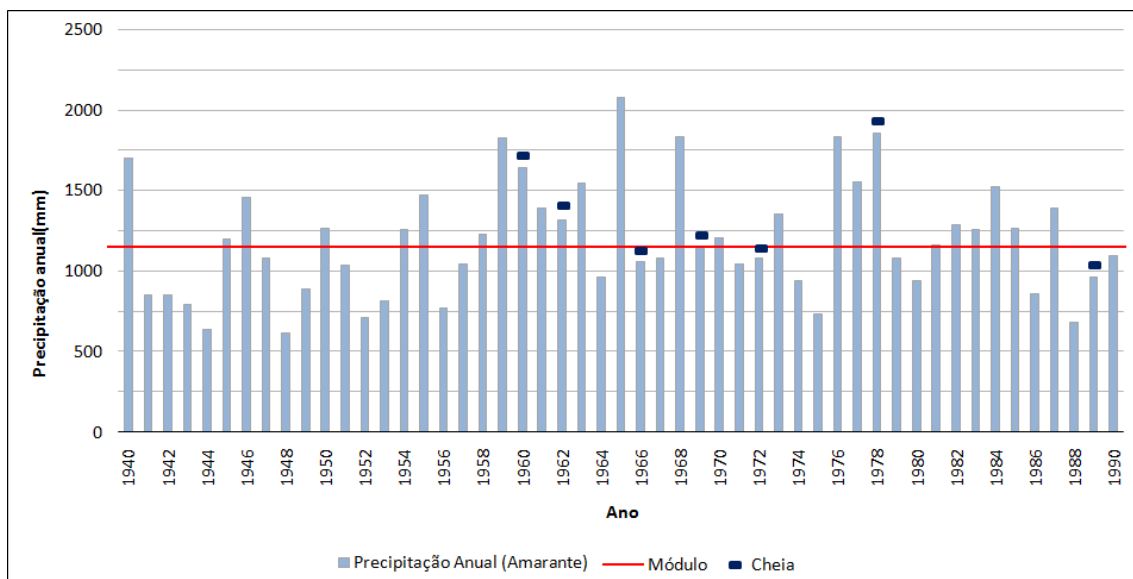


Figura 19 - Precipitação anual na estação de Amarante, entre 1940-1990 (SNIRH, 2017).

A precipitação mensal observada nos postos udoográficos selecionados, entre 1948 e 1994, permite perceber as características do regime pluviométrico na BHT, nomeadamente, a sua variabilidade espacial e temporal. Analisando a figura 20b constata-se a existência de dois picos correspondentes aos meses de dezembro e janeiro, que se assumem como os meses mais pluviosos. Nota-se também uma grande diferença

nos quantitativos de precipitação média mensal na transição do mês de setembro para outubro, ou seja, na mudança de estação, sendo que no Outono é comum se verificarem as precipitações mais fortes e concentradas.

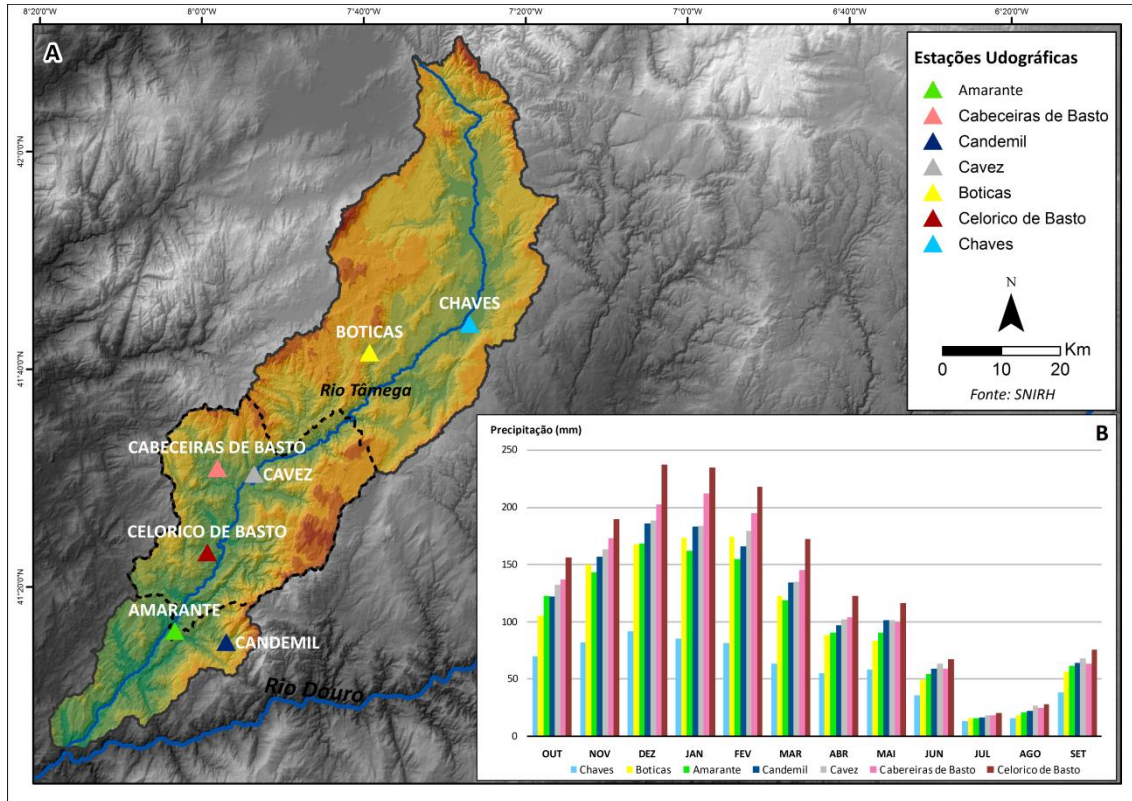


Figura 20 - (A) Localização das estações udográficas; (B) Precipitações mensais nas estações selecionadas, entre 1948 e 1994.

As estações de Celorico de Basto e Cabeceiras de Basto são as que possuem valores médios de precipitação mensal mais elevados, contrariamente ao que se sucede na estação de Chaves, onde se registam os valores mais baixos. Esta distribuição espacial da precipitação pode ser explicada pelo facto de a região da sub-bacia de Amarante ser a mais chuvosa em toda a extensão da BHT, sobretudo devido às suas características orográficas.

4.1.3. Precipitação diária máxima anual

A análise da precipitação diária máxima anual reveste-se de importância em estudos relacionados com as cheias e inundações e, por esta razão, foram considerados todos os anos para os quais existem registos, em todas as sete estações consideradas (SANTOS, 2009).

Quadro 11 - Parâmetros estatísticos da precipitação diária máxima anual para as estações udográficas.

Dados Estatísticos	Estação Udográfica						
	Amarante	Boticas	Cabeceiras de Basto	Candemil	Cavez	Celorico de Basto	Chaves
Nº Observações (anos)	63	47	71	63	63	31	69
Valor Mínimo (mm)	32	41,5	18,8	40,4	27,1	42	21,5
Valor Máximo (mm)	108	132	147	98,3	130	180	64
Mediana (mm)	56,6	68,6	68,4	60,1	60,4	82	39,5
Média (mm)	58,4	69,4	71,2	63,5	64,7	88,3	40,9
Desvio-padrão (mm)	17,1	19,7	24,3	16,2	21,2	32,2	11,1

No quadro 11 estão representados alguns parâmetros estatísticos de tendência central e de dispersão para os dados de precipitação diária máxima anual das estações selecionadas, podendo-se verificar que o posto udográfico de Cabeceiras de Basto possui a série mais longa de dados (71 anos) e o de Celorico de Basto a série mais reduzida (31 anos). A média da precipitação diária máxima anual varia entre 88,5 mm, na estação de Celorico de Basto, e 40,9 mm, em Chaves. O valor máximo de precipitação registado em 24 horas foi 180 mm e ocorreu no posto de Celorico de Basto, no dia 15 de outubro de 1987. Na estação de Amarante, o valor máximo registado foi 108 mm, no dia 26 de setembro de 1981 sendo possivelmente o resultado de uma chuvada muito intensa e concentrada.

Com base nos dados da precipitação diária máxima anual foram determinados os valores extremos da precipitação, em 24 horas, para distintos períodos de retorno recorrendo-se, para isso, ao seu ajustamento à Lei de Gumbel⁸. Esta função de distribuição de probabilidade é considerada por vários autores como uma das mais utilizadas e adequadas à distribuição dos valores da precipitação máxima (LENCASTRE & FRANCO, 2010; SANTOS, 2009). Relativamente aos períodos de retorno, foram escolhidos os valores de 2, 10, 20, 50, 100 e 500 anos. Este último valor justifica-se, uma vez que a cartografia de áreas inundáveis contemplada na Diretiva 2007/60/CE, utiliza um período de retorno de 1000 anos, no entanto, a reduzida dimensão das séries de dados usadas neste estudo torna pouco fiável esse cenário optando-se, por isso, pelo

⁸ A Lei de Gumbel é expressa pela equação:

$$x = \bar{p} - 0,78 \cdot \alpha \left[\ln \left(\ln \left(\frac{T+1}{T} \right) \right) + 0,577 \right]$$
 onde \bar{p} e α correspondem a parâmetros da distribuição de valores extremos, nomeadamente, à média e desvio-padrão respectivamente; e T é o período de retorno em anos (MARAFUZ, 2011).

período de retorno de 500 anos que, por ser mais elevado que 100 anos, dá uma noção do carácter excecional do evento.

Quadro 12 - Precipitação diária máxima anual estimada para diferentes períodos de retorno.

Estação Udográfica	Período de Retorno					
	2	10	20	50	100	500
Amarante	62,8	82,2	91,1	103,2	112,4	133,8
Boticas	74,4	96,7	107	120,9	131,5	156,2
Cabeceiras de Basto	77,4	104,8	117,4	134,5	147,5	177,9
Candemil	67,6	85,9	94,3	105,7	114,4	134,7
Cavez	70,1	94	105,1	120	131,4	157,9
Celorico de Basto	96,4	132,9	149,7	172,4	189,7	230
Chaves	46,8	59,7	65,7	73,7	79,8	89,7

Analisando o quadro 12 é possível verificar que alguns valores máximos estimados para períodos de retorno de 100 anos se aproximam bastante dos valores máximos observados nas séries consideradas, como é o caso da estação de Cavez, cujo valor máximo registado foi 130 mm, tendo-se determinado o valor de 131,4 para um período de retorno de 100 anos. Na estação de Amarante o valor máximo registado foi 108 mm, sendo o valor de 112,4 mm, o estimado para um período de retorno de 100 anos.

Tendo por base os registos da precipitação diária máxima anual, outro tipo de abordagem pode ser feita, através da qual é possível prever o período de retorno de uma série de valores máximos, aplicando o método de Gumbel. Para isso é necessário ordenar os valores registados, por ordem decrescente e atribuir, a cada um, o número de ordem que lhe corresponde (RODRIGUES, 2009; RAMOS, 2009). A equação utilizada para o cálculo dos períodos de retorno é expressa por $Ir = N+1/M$, onde Ir corresponde ao intervalo ou período de retorno, N é o número total dos eventos considerados na série anual e M é o número de ordem do valor de precipitação diária máxima anual na série organizada (PEDROSA & COSTA, 1999).

Segundo LENCASTRE & FRANCO (2010) $F(x)^9$ corresponde à probabilidade de um dado valor x não ser excedido num determinado ano.

Desta forma, analisando o quadro 13, nota-se que o valor de precipitação diária máxima anual registado em Amarante, no ano de 1981, (108 mm) apresenta um período de retorno de 64 anos, tendo uma probabilidade de 98,4% de não ser ultrapassado.

⁹ $F(x)$ expressa-se pela equação $F(x) = (1-1/Pr)$ em que Pr é o período de retorno (RODRIGUES, 2009).

No dia 16 de janeiro de 1939, registou-se uma das maiores cheias na cidade de Amarante, sendo que o valor de precipitação diária máxima anual foi atingido um dia antes (15 de janeiro de 1939) com um valor de 85 mm, e um período de retorno de aproximadamente 13 anos, traduzindo-se numa probabilidade de 92% de não ser excedido. O valor mínimo de precipitação diária máxima anual registado na série de dados é de 32 mm, apresentando um período de retorno de 1 ano e uma probabilidade de 2% de não ser ultrapassado.

Quadro 13 - Períodos de retorno da precipitação diária máxima anual na estação de Amarante (1932-1994).

Ordem	Data	PDMA (mm) ¹⁰	Período de retorno	F(x)	Ordem	Data	PDMA (mm)	Período de retorno	F(x)
1	1981	108	64,00	0,98	33	1948	55,8	1,94	0,48
2	1955	98,2	32,00	0,97	34	1934	55	1,88	0,47
3	1977	94,5	21,33	0,95	35	1966	54	1,83	0,45
4	1994	90,5	16,00	0,94	36	1959	53,6	1,78	0,44
5	1939	85	12,80	0,92	37	1964	53,4	1,73	0,42
6	1974	84,4	10,67	0,91	38	1967	52,7	1,68	0,41
7	1978	83,8	9,14	0,89	39	1940	50,8	1,64	0,39
8	1984	82,6	8,00	0,88	40	1957	50	1,60	0,38
9	1972	82,4	7,11	0,86	41	1952	49,2	1,56	0,36
10	1960	78,5	6,40	0,84	42	1985	48,5	1,52	0,34
11	1992	77,2	5,82	0,83	43	1971	48,1	1,49	0,33
12	1936	71,4	5,33	0,81	44	1988	47	1,45	0,31
13	1986	68,7	4,92	0,80	45	1991	46,8	1,42	0,30
14	1941	67,8	4,57	0,78	46	1954	46,4	1,39	0,28
15	1937	67	4,27	0,77	47	1938	46	1,36	0,27
16	1962	65,9	4,00	0,75	48	1946	46	1,33	0,25
17	1993	65,7	3,76	0,73	49	1951	45,8	1,31	0,23
18	1968	65,6	3,56	0,72	50	1961	43,2	1,28	0,22
19	1987	64,5	3,37	0,70	51	1989	42,6	1,25	0,20
20	1935	64	3,20	0,69	52	1982	42	1,23	0,19
21	1943	64	3,05	0,67	53	1980	41,6	1,21	0,17
22	1958	63,8	2,91	0,66	54	1932	40,4	1,19	0,16
23	1965	63,5	2,78	0,64	55	1950	40,4	1,16	0,14
24	1944	61,8	2,67	0,63	56	1945	40,2	1,14	0,13
25	1963	61,4	2,56	0,61	57	1956	40,2	1,12	0,11
26	1969	60,2	2,46	0,59	58	1942	40	1,10	0,09
27	1973	59,8	2,37	0,58	59	1975	37,2	1,08	0,08
28	1953	59,7	2,29	0,56	60	1976	35	1,07	0,06
29	1970	59,2	2,21	0,55	61	1949	33,4	1,05	0,05
30	1979	58,7	2,13	0,53	62	1933	32	1,03	0,03
31	1983	57,8	2,06	0,52	63	1990	32	1,02	0,02
32	1947	56,6	2,00	0,50					

¹⁰ Precipitação diária máxima anual.

4.2. Regime Hidrológico

O estudo do regime hidrológico de uma determinada bacia hidrográfica permite avaliar os volumes de água escoados numa dada secção, resultando da contribuição de toda a bacia a montante. Neste sentido, define-se caudal como o volume de fluido escoado ao longo de uma secção, por unidade de tempo, exprimindo-se geralmente em metros cúbicos por segundo (m^3/s) ou litros por segundo (l/s) (LENCASTRE & FRANCO, 2010; VELHAS, 1991).

4.2.1. Recolha de dados hidrométricos

A análise do regime hidrológico está condicionada pela disponibilidade de registos, visto que no rio Tâmega existem apenas quatro estações com informação relativa aos caudais, nomeadamente o caudal médio diário e o caudal instantâneo máximo anual, carecendo de registos relativos à altura da água. A estação de Ponte de Canavezes possui uma série com cerca de 30 anos completos de dados, encontrando-se atualmente extinta (SNIRH, 2017). Já a estação de Ponte de Cavez apresenta a série de dados mais extensa com aproximadamente 50 anos de registos. As estações de Fridão e Parada Monteiros apresentam pouco mais de 20 e 8 anos de dados, respetivamente. Para além da escassez de dados, a não simultaneidade dos registos é outra limitação no estudo dos caudais.

Quadro 14 - Características das estações hidrométricas usadas (localização na figura 22; SNIRH, 2017).

Código	Nome	Tipo	Altitude (m)	Área drenada (km ²)
06I/02H	Ponte Canavezes	Hidrométrica	67	3163,33
06I/03H	Fridão	Hidrométrica	111	2616,41
04J/05H	Ponte Cavez	Hidrométrica	211	1995,99
04K/01H	Parada Monteiros	Hidrométrica	24	1561,16

4.2.2. Caudal instantâneo máximo anual

A análise deste parâmetro cingiu-se ao período entre 1960 e 1986, devido às lacunas existentes nos registos, mas também pelo facto de ser o único período onde se verifica simultaneidade nas séries cronológicas para as estações de Ponte de Canavezes e Ponte de Cavez. Este período de dados foi também utilizado por outros autores como PEDROSA & COSTA (1999) devido às mesmas limitações. Assim, tendo por base os dados dos caudais instantâneos máximos anuais, utilizou-se o mesmo método estatístico

aplicado às precipitações máximas para a determinação dos períodos de retorno - método de Gumbel.

Quadro 15 - Períodos de retorno do caudal instantâneo máximo anual nas estações de Ponte de Canavezes e Ponte de Cavez (1960-1986) (SNIRH, 2017; PEDROSA & COSTA, 1999).

Ponte de Canavezes					Ponte de Cavez				
Ordem	Data	Caudal máx. anual	Período de retorno	F(x)	Ordem	Data	Caudal máx. anual	Período de retorno	F(x)
1	1962	1961	28,00	0,96	1	1966	1152	28,00	0,96
2	1978	1882	14,00	0,93	2	1962	1082	14,00	0,93
3	1972	1653	9,33	0,89	3	1969	1057	9,33	0,89
4	1969	1640	7,00	0,86	4	1960	1053	7,00	0,86
5	1960	1594	5,60	0,82	5	1978	957	5,60	0,82
6	1979	1334	4,67	0,79	6	1972	730	4,67	0,79
7	1981	1296	4,00	0,75	7	1981	711	4,00	0,75
8	1984	1262	3,50	0,71	8	1979	702	3,50	0,71
9	1966	1240	3,11	0,68	9	1961	688	3,11	0,68
10	1977	1214	2,80	0,64	10	1963	660	2,80	0,64
11	1970	1210	2,55	0,61	11	1970	624	2,55	0,61
12	1974	1193	2,33	0,57	12	1985	594	2,33	0,57
13	1963	1145	2,15	0,54	13	1977	502	2,15	0,54
14	1964	1098	2,00	0,50	14	1984	486	2,00	0,50
15	1983	956	1,87	0,46	15	1974	478	1,87	0,46
16	1961	936	1,75	0,43	16	1964	424	1,75	0,43
17	1985	893	1,65	0,39	17	1968	416	1,65	0,39
18	1973	815	1,56	0,36	18	1986	410	1,56	0,36
19	1968	766	1,47	0,32	19	1973	393	1,47	0,32
20	1982	713	1,40	0,29	20	1967	377	1,40	0,29
21	1967	631	1,33	0,25	21	1983	349	1,33	0,25
22	1971	627	1,27	0,21	22	1971	323	1,27	0,21
23	1976	561	1,22	0,18	23	1982	243	1,22	0,18
24	1965	485	1,17	0,14	24	1965	221	1,17	0,14
25	1980	478	1,12	0,11	25	1980	209	1,12	0,11
26	1975	422	1,08	0,07	26	1975	200	1,08	0,07
27	1986	361	1,04	0,04	27	1976	180	1,04	0,04

Através do quadro 15 constata-se que aos caudais mais elevados estão associados maiores períodos de retorno, sendo que na estação de Ponte de Canavezes o caudal mais elevado (1961 m³/s) registou-se no ano de 1962, no qual se verificou uma das grandes cheias em Amarante, sendo-lhe atribuído um período de retorno de 28 anos, e 96% de probabilidade de não ser excedido. Para caudais com um período de retorno de 2 anos e 50% de probabilidade de não serem ultrapassados, notam-se diferenças substanciais entre ambas as estações, uma vez que os valores alcançados em Ponte de Canavezes (1098 m³/s) são mais elevados do que aqueles que se registam em Ponte de Cavez (486 m³/s). Estas diferenças são bem visíveis na figura 21, onde estão representados graficamente os períodos de retorno quer para as precipitações máximas obtidas no posto de Amarante (pontos vermelhos) entre 1932-1994, quer para os caudais

máximos anuais registados nas estações de Ponte de Canavezes (pontos azuis) e Ponte de Cavez (pontos verdes) entre 1960-1986.

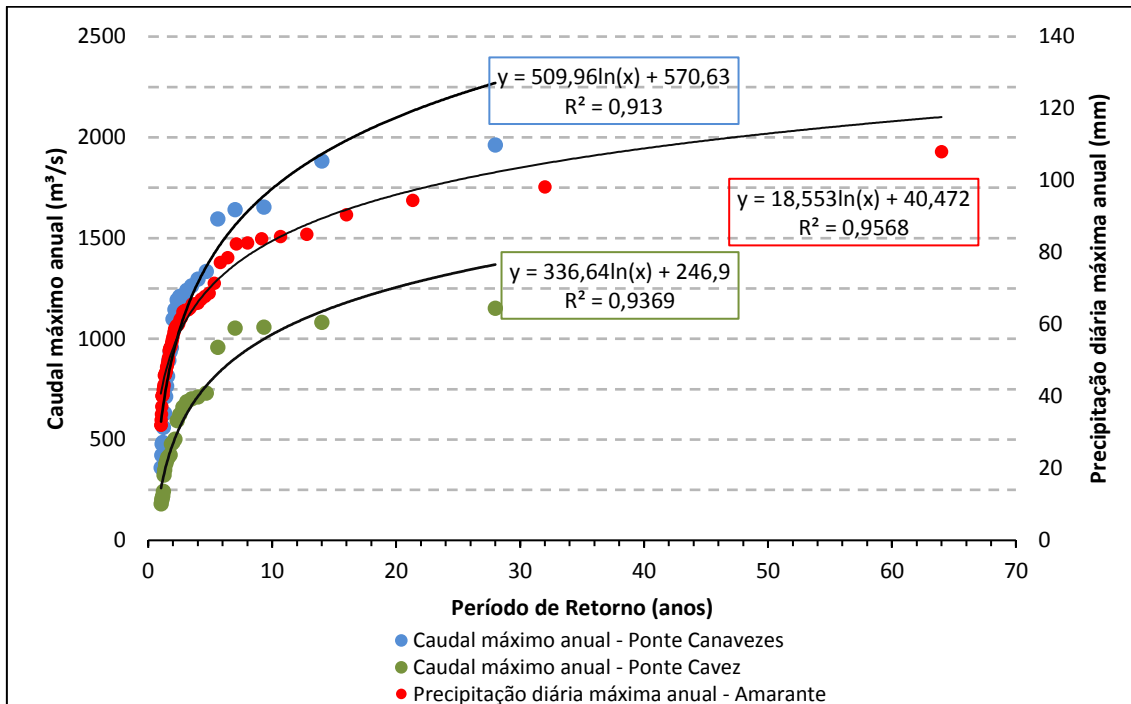


Figura 21 - Relação entre os períodos de retorno da precipitação diária máxima anual (Amarante) e os períodos de retorno do caudal instantâneo máximo anual (Ponte de Canavezes e Ponte de Cavez).

Observando a figura 21, é evidente a relação entre a precipitação e os caudais registados na bacia hidrográfica do Tâmega, mas destacam-se principalmente as discrepâncias entre os caudais da estação de Ponte de Cavez, significativamente mais baixos, em comparação com os da estação de Ponte de Canavezes, devido à sua localização a cerca de 40 km a montante de Amarante.

Todavia, analisando os tempos de concentração de alguns dos principais afluentes do rio Tâmega, pode constatar-se que nenhum excede as 9 horas, o que também contribui para o rápido incremento do caudal na região da sub-bacia de Amarante. Na figura 22 mostra-se o caudal máximo atingido na cheia de abril de 1962, onde se verifica um aumento de 81%, em aproximadamente 50 km, percorridos pelo rio Tâmega desde o posto de Ponte de Cavez até ao de Ponte de Canavezes.

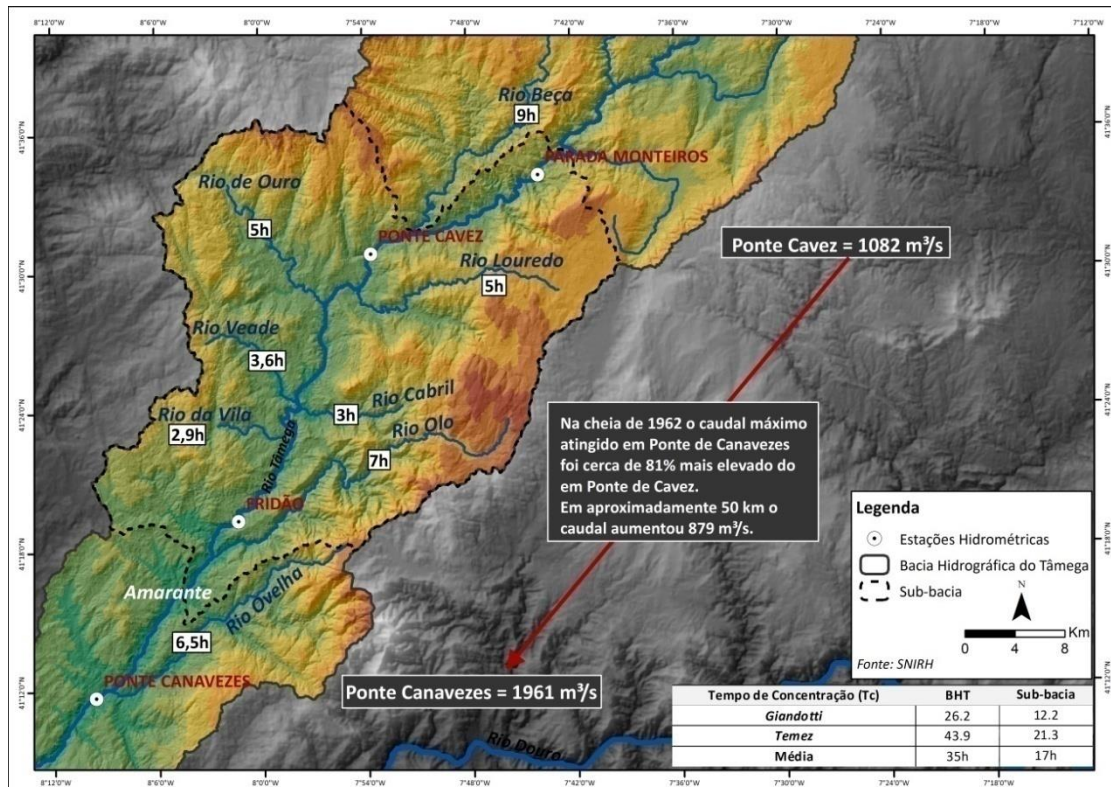


Figura 22 - Tempos de concentração (em horas) dos principais afluentes do Tâmega (retângulos brancos) e possível influência no aumento dos caudais (Exemplo da cheia de 1962).

Para além disso, existem ainda diferenças no momento em que o pico de cheia é atingido, sendo que este pode chegar mais rapidamente a Ponte de Canavezes (*i.e.*, a jusante de Amarante) do que a Ponte de Cavez, a montante de Amarante. As figuras 23 e 24 ilustram isso mesmo para dois eventos distintos, nomeadamente a cheia de 1962 e a de 1989. Assim, parece-nos possível afirmar que o comportamento das sub-bacias dos principais afluentes do rio Tâmega na denominada BHA, exercem uma forte influência sobre os valores dos caudais registados em Amarante.

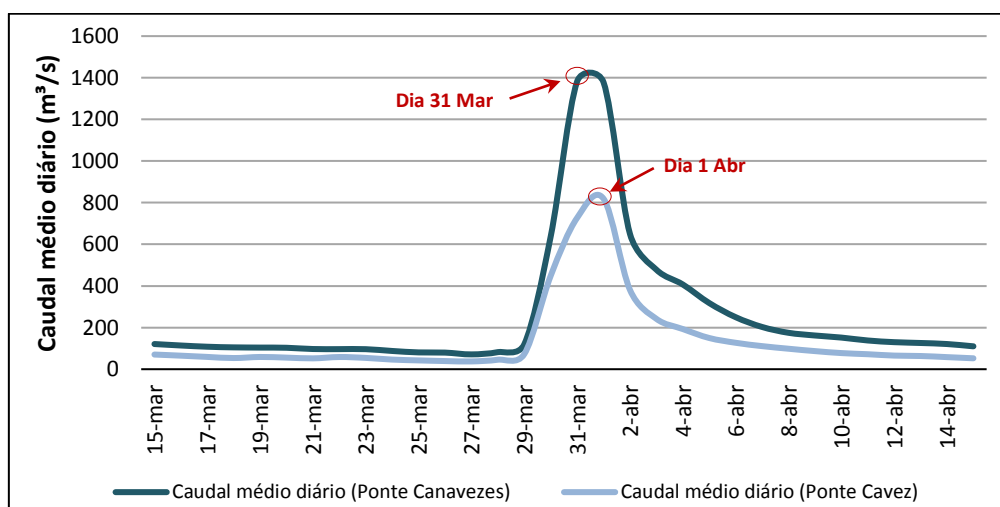


Figura 23 - Caudal médio diário (Cheia de abril de 1962) em Ponte de Canavezes e Ponte de Cavez.

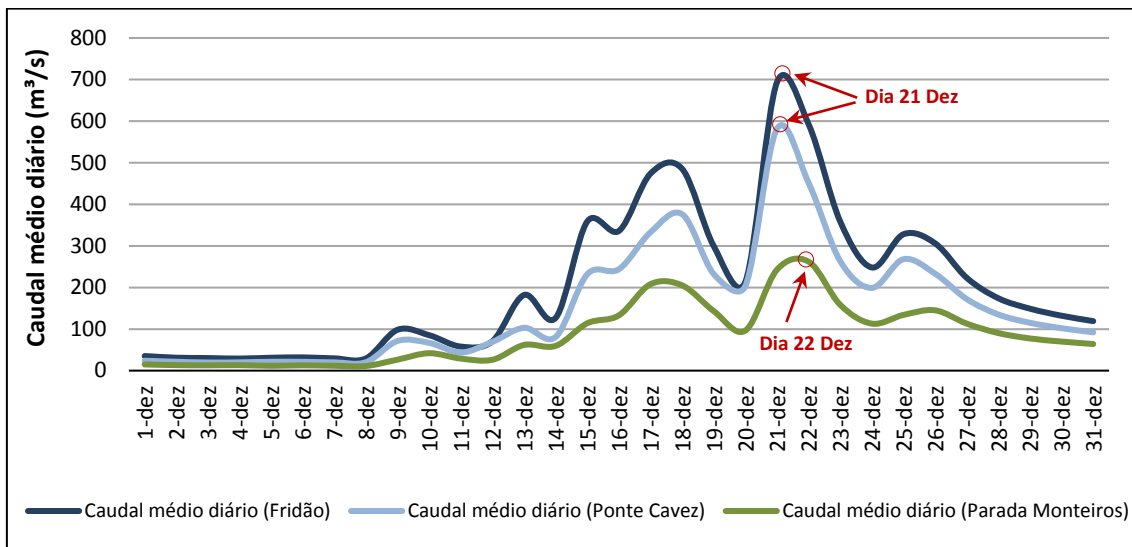


Figura 24 - Caudal médio diário (Cheia de dezembro de 1989) nas estações de Fridão, Ponte Cavez e Parada Monteiros.

A propósito da construção das novas barragens no rio Tâmega (Fridão, Gouvães, Daivões e Alto Tâmega) é importante referir que ouvimos inúmeras vezes, durante o trabalho de campo, os locais afirmarem que a frequência das cheias na cidade de Amarante aumentou desde a construção da barragem do Torrão (concluída em 1988, a jusante de Amarante) devido à má gestão dos caudais (DELGADO, 2014). Sabe-se que a construção destes empreendimentos hidroelétricos deveria ter um impacto positivo na regularização dos caudais mais elevados e, conseqüentemente, na frequência e magnitude das cheias. No entanto, verifica-se, por vezes, uma descoordenação e pouco eficiente gestão dos caudais, por parte das autoridades competentes, tal como aconteceu no rio Tejo, em 1978 e 1979, onde as descargas contínuas das barragens provocaram cheias e inundações em várias regiões do centro do país (RAMOS & REIS, 2001).

4.2.3. Caudal de ponta de cheia

Tendo em vista um conhecimento mais aprofundado do regime hidrológico, procedeu-se ao cálculo dos caudais de ponta de cheia, os quais são fundamentais na definição das áreas suscetíveis a cheias para diversas probabilidades de ocorrência. Para isso, existem vários métodos de cálculo que podem ser agrupados em fórmulas empíricas, fórmulas cinemáticas e métodos estatísticos (LENCASTRE & FRANCO, 2010).

As fórmulas empíricas apenas consideram a área da bacia hidrográfica, não associando os resultados obtidos com uma dada probabilidade de ocorrência (LENCASTRE & FRANCO, 2010). Dentro destas, podem ser referidas, entre outras, a fórmula de *Whistler*, a de *Pagliaro*, a de *Forti*, e ainda a fórmula de *Iskowski*, sendo esta a primeira a entrar em linha de conta com a precipitação ocorrida na bacia hidrográfica (LENCASTRE & FRANCO, 2010; COSTA & LANÇA, 2011).

As fórmulas cinemáticas, contrariamente às empíricas, consideram as características do movimento da água na bacia, através de parâmetros como o tempo de concentração e a duração da precipitação (LENCASTRE & FRANCO, 2010; MARAFUZ, 2011). De entre as fórmulas cinemáticas, destacam-se a fórmula Racional (pequenas bacias com áreas inferiores a 25 km²), a fórmula de *Giandotti*, sendo uma das mais utilizadas em Portugal, e ainda a fórmula do *Soil Conservation Service* destinada especialmente a bacias com utilização agrícola (RAMOS, 2009).

Os métodos estatísticos permitem estimar o caudal de ponta de cheia para uma dada secção de um curso de água em função do período de retorno, baseando-se em registos anteriores de cheias (MARTINS, 2000). Uma das fórmulas de base estatística de utilização mais generalizada é a de Loureiro, a qual recorre a parâmetros regionais específicos do contexto português.

Dada a grande variedade de fórmulas para a determinação de caudais de ponta de cheia, neste estudo, foi aplicada a fórmula de *Giandotti* (cinemática) devido à sua frequente utilização em Portugal, estando consagrada no Regulamento das Pequenas Barragens (VELHAS, 1991).

A fórmula de *Giandotti* permite estimar o caudal de ponta de cheia em função da análise das precipitações intensas e de parâmetros físicos da bacia (VELHAS, 1991), podendo ser expressa pela seguinte equação:

$$Q_p = \frac{\lambda A h}{T_c}$$

Em que:

Q_p é o caudal de ponta de cheia (m³/s), λ é um parâmetro definido em função da área (quadro 16), A é a área da bacia hidrográfica (km²), h é a precipitação máxima (mm),

correspondente ao tempo de concentração e a um determinado período de retorno e T_c é o tempo de concentração (horas).

Quadro 16 - Fórmula de *Giandotti*: Parâmetro em função da área da bacia para o cálculo do caudal de ponta de cheia (Ramos, 2009).

Área da bacia (km ²)	λ
<300	0,346
300 - 500	0,277
500 - 1000	0,197
1000 - 8000	0,100
8000 - 20000	0,076
20000 - 70000	0,055

Para o cálculo dos caudais de ponta de cheia foi necessário determinar as possibilidades udométricas visto que constituem um parâmetro fundamental que influencia diretamente o valor dos caudais recorrendo-se, para isso, aos registos da estação udográfica mais representativa da distribuição espacial da precipitação. Assim, procedeu-se à análise estatística da série de dados da precipitação diária máxima anual, para a estação de Celorico de Basto, de maneira a estimar o valor das precipitações máximas associadas a um determinado período de retorno, utilizando-se para o efeito a lei de Gumbel. A escolha do posto udográfico de Celorico de Basto justifica-se, pois, os resultados dos caudais de ponta de cheia obtidos utilizando os registos desta estação, foram mais próximos dos valores máximos atingidos em alguns episódios de cheia registados em Amarante, nomeadamente, em 1962 com o caudal máximo de 1961 m³/s e em 2001 como o valor de 2600 m³/s (GOMES & COSTA, 2004).

Deste modo, através da aplicação da fórmula de *Giandotti* foram obtidos os caudais de ponta de cheia estimados para a sub-bacia hidrográfica a montante da zona crítica em estudo, ou seja, a montante da ponte de São Gonçalo em Amarante, para os períodos de retorno de 10, 100 e 500 anos (quadro 17).

Quadro 17- Caudais de ponta de cheia - *Giandotti*.

	Período de Retorno (anos)	Q_p (m ³ /s)
<i>Sub-bacia H. do Tâmega</i>	10	1600,1
	100	2283,7
	500	2768,8

Os resultados obtidos pela aplicação desta metodologia demonstram que os valores estimados são razoáveis, embora o caudal de ponta de cheia aferido para um período de retorno de 100 anos seja subestimado, uma vez que o rio Tâmega atingiu o caudal máximo de 2600 m³/s, durante a cheia de 21 de março de 2001, considerada a cheia centenária por alguns autores (GOMES & COSTA, 2004).

Numa experiência comparativa foi aplicado o método estatístico de Loureiro, de uso bastante frequente em Portugal, para a determinação dos caudais de ponta de cheia, para os períodos de retorno de 10, 100 e 500 (quadro 18). No entanto, analisando os resultados é possível verificar que os valores estimados são superiores àqueles que foram obtidos através da aplicação da fórmula de *Giandotti*, assim como também são mais elevados do que os caudais máximos registados em episódios de cheia conhecidos, tal como a cheia de 21 de março de 2001 (2600 m³/s).

Quadro 18 - Caudais de ponta de cheia - Método de Loureiro.

	Período de Retorno (anos)	<i>Q_p</i> (m³/s)
<i>Sub-bacia H. do Tâmega</i>	10	1742
	100	2744,2
	500	3476,5

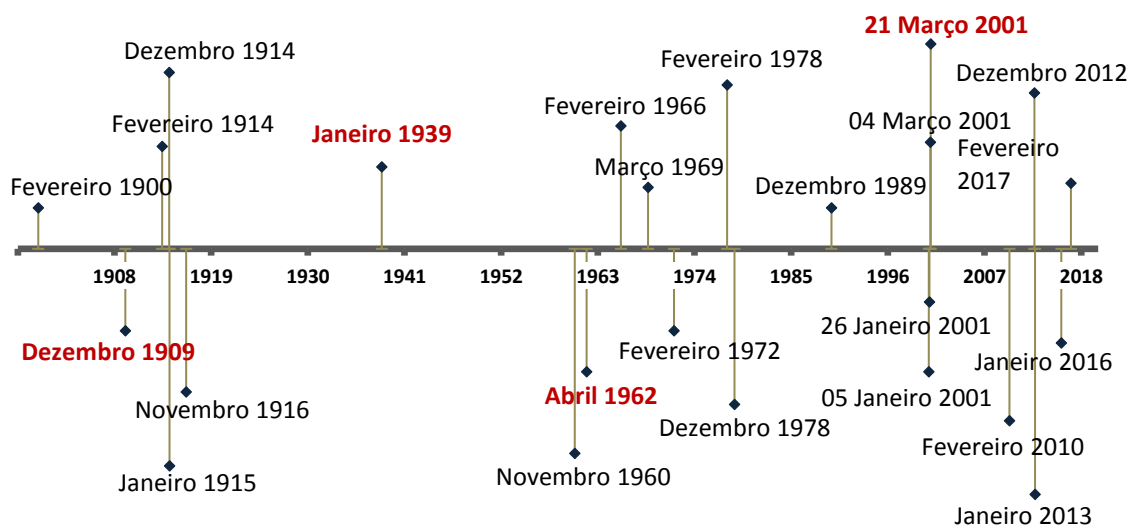
Contudo, os valores estimados recorrendo a ambos os métodos podem ser considerados satisfatórios, embora neste estudo se tenha optado pela fórmula de *Giandotti* pois, tal como foi referido anteriormente, as fórmulas cinemáticas consideram as características do movimento da água, recorrendo a parâmetros como o tempo de concentração e a chuvada crítica (LENCASTRE & FRANCO, 2010), o que não acontece com os métodos de base estatística.

Capítulo 5 - Análise das cheias mais significativas na cidade de Amarante

Compreender as principais cheias e inundações ocorridas no passado é essencial para se antever possíveis consequências negativas resultantes da ocorrência de cheias semelhantes no futuro, assim como para se identificar os locais normalmente afetados por estes processos (MARAFUZ, 2011; UE, 2007).

As cheias na cidade de Amarante ocorrem com elevada frequência e remontam a tempos muito antigos, havendo registos de cheias desde o século XVII, mais propriamente desde 1699 onde, segundo relatos da época, ocorreu uma grande cheia (TEDIM *et al.*, 2010). Já no século XVIII, sabe-se que na sequência de uma cheia, em 1763, se deu o desmoronamento da primitiva ponte onde se encontra a atual ponte de São Gonçalo classificada como monumento nacional desde 1910 (DELGADO, 2014).

Cheias em Amarante



Fonte(s): Tedim, F. *et al* (2010);

Figura 25 - Cronologia dos principais eventos ligados às cheias na cidade de Amarante.

Na figura 25 estão representadas algumas das cheias mais significativas e que maior impacto tiveram na cidade, desde o início do século XX até aos dias de hoje, existindo eventos que devido à sua importância, merecem um destaque especial, como é o caso das cheias de 1909, 1939, 1962 e 2001.

Estes eventos destacam-se pela extensão da área afetada e pelos prejuízos consideráveis que provocaram, o que se pode constatar nas várias placas indicativas da

altura que a água atingiu durante estas grandes inundações, situadas na Rua 31 de Janeiro e no Largo Conselheiro António Cândido (figura 26).



Figura 26 - Marcas das principais cheias ocorridas na cidade de Amarante.

Seguidamente, dada a importância de alguns episódios de cheia, procedeu-se a uma análise mais detalhada de cada um deles, através da comparação dos registos udométricos e hidrométricos disponíveis. No entanto, a existência de lacunas nos dados impossibilitou a descrição das grandes cheias de 22 de dezembro de 1909 e de 16 de janeiro de 1939.

Cheia de novembro de 1960

No dia 17 de novembro de 1960 o caudal médio diário do rio Tâmega atingiu os 1134 m³/s, na estação de Ponte de Canavezes, e a precipitação registou o valor de 46,4 mm (SNIRH, 2017). Todavia, através da análise da figura 27, percebe-se que no dia antecedente, a precipitação diária foi significativamente mais elevada, registando 78,5 mm ($P_T = 6$ anos). Isto torna evidente que o período contínuo de precipitação abundante registada desde o dia 15 de novembro até ao dia da ocorrência de cheia (dia 17) contribuiu claramente para o aumento do caudal do rio Tâmega, visto que em apenas

três dias choveu, aproximadamente, 44% da precipitação total do mês de novembro. Analisando a série de precipitação deste mês é possível verificar que a média ronda os 13 mm, e o valor máximo atingido foi de 78,5 mm, no dia 16, evidenciando que a precipitação foi fraca durante o mês de novembro de 1960, existindo apenas os picos de precipitação nos dias 15, 16 e 17 que estiveram na origem da cheia deste último dia. Em relação à velocidade de progressão e duração, esta cheia pode ser classificada como semi-rápida, uma vez que estas duram geralmente um a dois dias, sendo consideradas mais perigosas do que as cheias progressivas pois não existe tanto tempo para prevenir as populações (RAMOS, 2009).

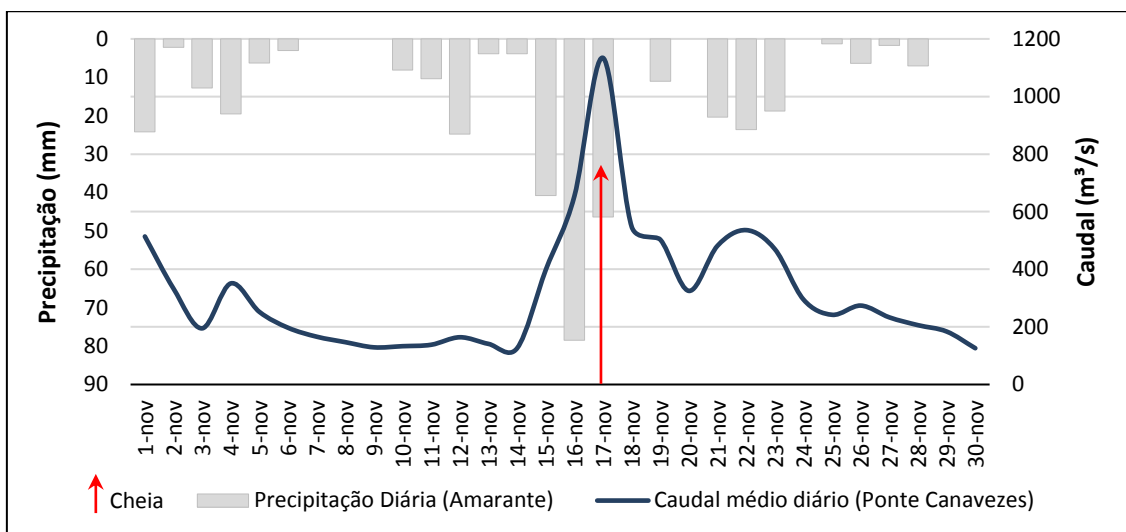


Figura 27 -Precipitação diária e caudal médio diário durante o mês de novembro de 1960.

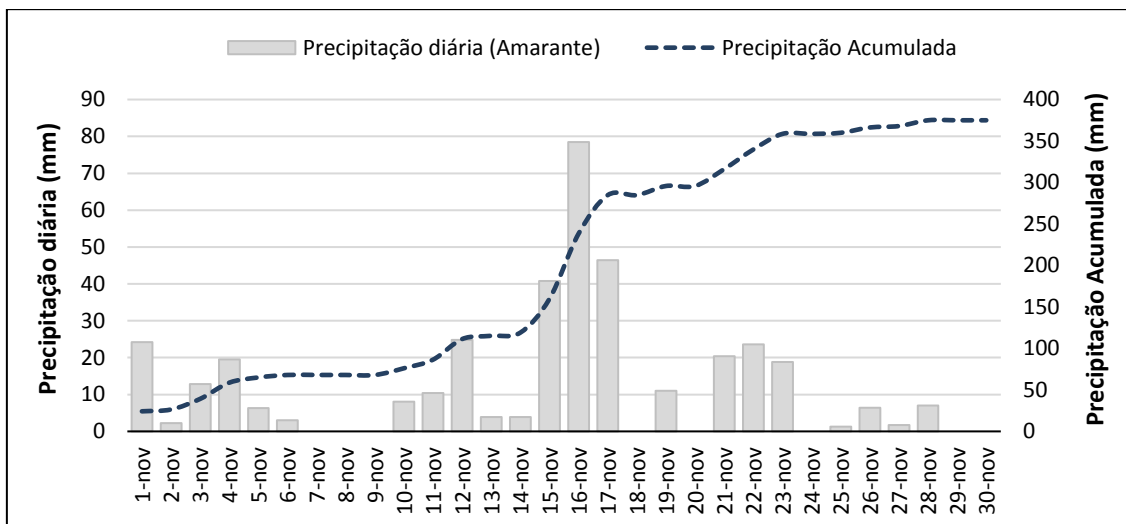


Figura 28 -Precipitação diária e precipitação acumulada durante o mês de novembro de 1960.

Através da análise da figura 28, pode-se constatar o efeito da precipitação acumulada para a ocorrência deste evento extremo, sendo clara a influência dos dois dias que antecedem a cheia. Assim, desde o início do mês de novembro até ao dia 14, a precipitação acumulada foi de 119,1 mm, sofrendo um aumento considerável em dois dias até atingir o valor de 284,8 mm, no dia 17 do mesmo mês.

Cheia de abril de 1962

A cheia de 1 de abril de 1962 é considerada uma das maiores ocorridas em Amarante (TEDIM *et al.*, 2010; GOMES & COSTA, 2004), registando-se um pico de precipitação diária de cerca de 66 mm e, um caudal médio de 1378 m³/s, conseguindo-se perceber através destes valores que a magnitude desta cheia foi mais elevada do que aquela que se verificou em 1960.

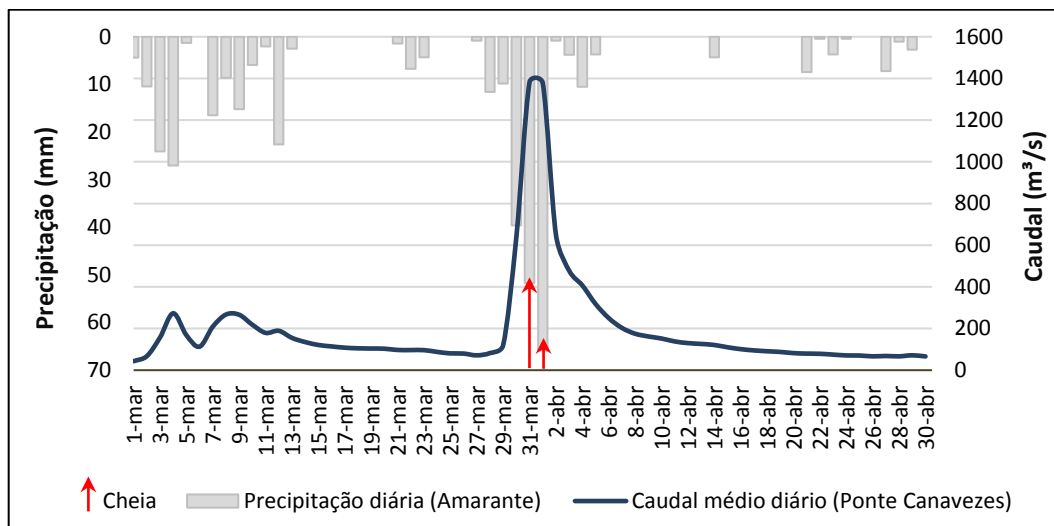


Figura 29 - Precipitação diária e caudal médio diário entre 1 de março e 30 de abril de 1962.

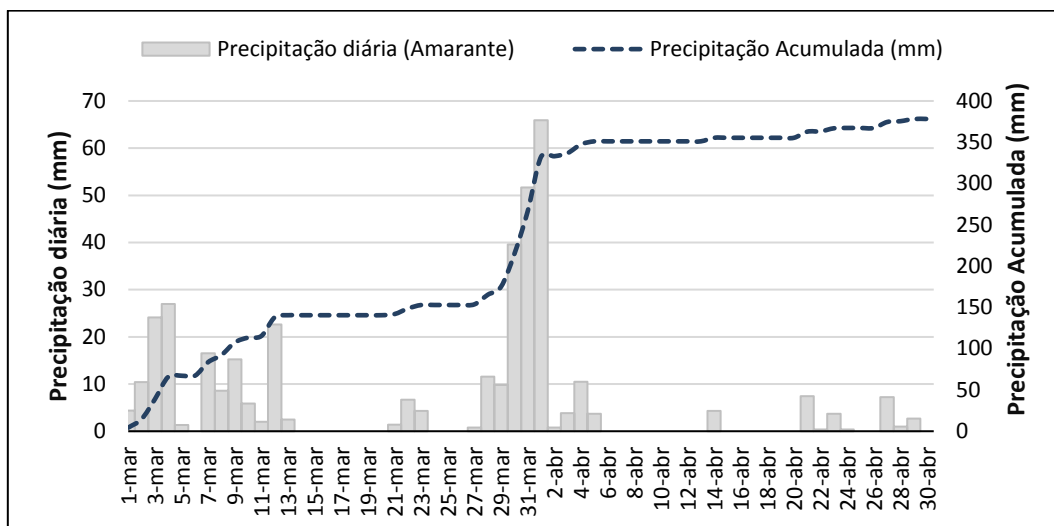


Figura 30 - Precipitação diária e precipitação acumulada entre 1 de março e 30 de abril de 1962.

No entanto, analisando a figura 29 compreende-se que na estação de Ponte de Canaveses, o caudal médio diário é ligeiramente mais elevado no dia 31 de março, em que atingiu o valor de 1382 m³/s. Para além disto, a figura 29 mostra que esta cheia se caracteriza por atingir um caudal elevado em relativamente pouco tempo, assim como, uma rápida e acentuada descida do mesmo, sendo considerada uma cheia simples pois apresenta uma única ponta de cheia provocada por chuva intensa (RAMOS, 2009).

Por sua vez, na figura 30 é visível o papel da precipitação acumulada que se revela importante para a ocorrência da inundação de 1962, dado que parece existir um período antecedente de chuvas contínuas, agravado com o forte contributo das precipita es registadas entre 30 de março e 1 de abril, sendo crucial para que se verificassem as condi es necessárias   ocorrência deste evento.

Cheia de fevereiro de 1966

Ao longo do mês de fevereiro de 1966 o rio Tâmega transbordou o seu leito ordinário devido a chuvas constantes, inundando a cidade de Amarante. Através da figura 31, percebe-se que a cheia de fevereiro de 1966 se caracteriza pela existência de duas pontas de cheia, nomeadamente no dia 12, onde se registou um valor de precipita o diária de 45 mm e um caudal médio de 1257 m³/s, e no dia 20 do mesmo mês verificando-se 44,5 mm de precipita o diária e um caudal médio diário de aproximadamente 1401 m³/s.

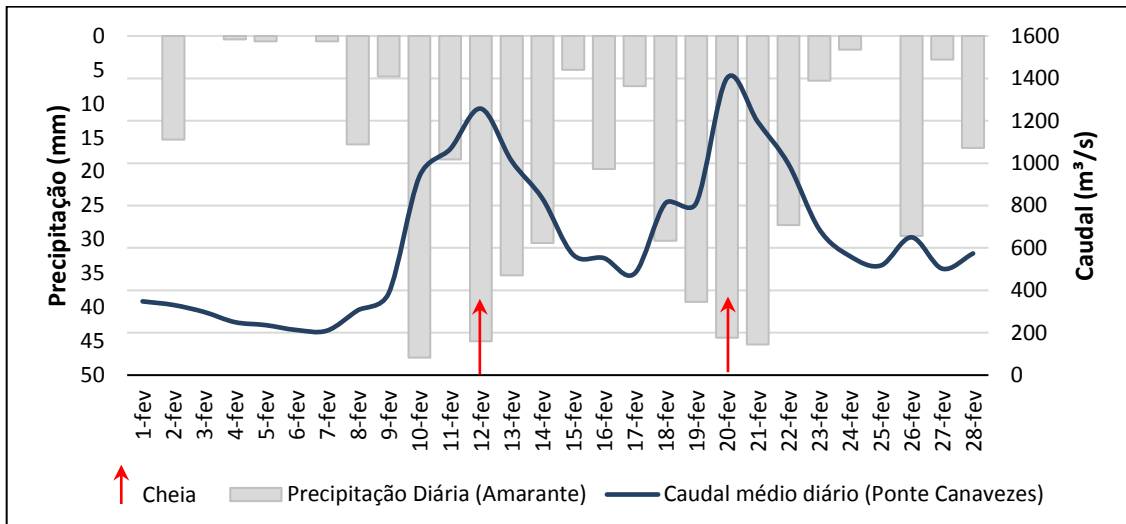


Figura 31 - Precipitação diária e caudal médio diário durante o mês de fevereiro de 1966.

Desta forma, nota-se que a última ponta de cheia possui uma magnitude mais elevada do que aquela que ocorreu a 12 de fevereiro, estando separadas por caudais mais baixos que, simultaneamente, mantêm níveis elevados durante mais tempo, em comparação com a cheia de 1962. Sendo assim, é notório que a cheia de 1966 é de carácter progressivo, dado que o caudal do rio Tâmega foi aumentando lentamente e manteve-se elevado durante mais tempo.

Analisando a precipitação acumulada (figura 32) percebe-se que o mês de fevereiro de 1966 foi extremamente chuvoso, ocorrendo precipitação na quase totalidade dos dias, o que contribui para que no final do mês a precipitação acumulada apresentasse um valor de aproximadamente 500 mm.

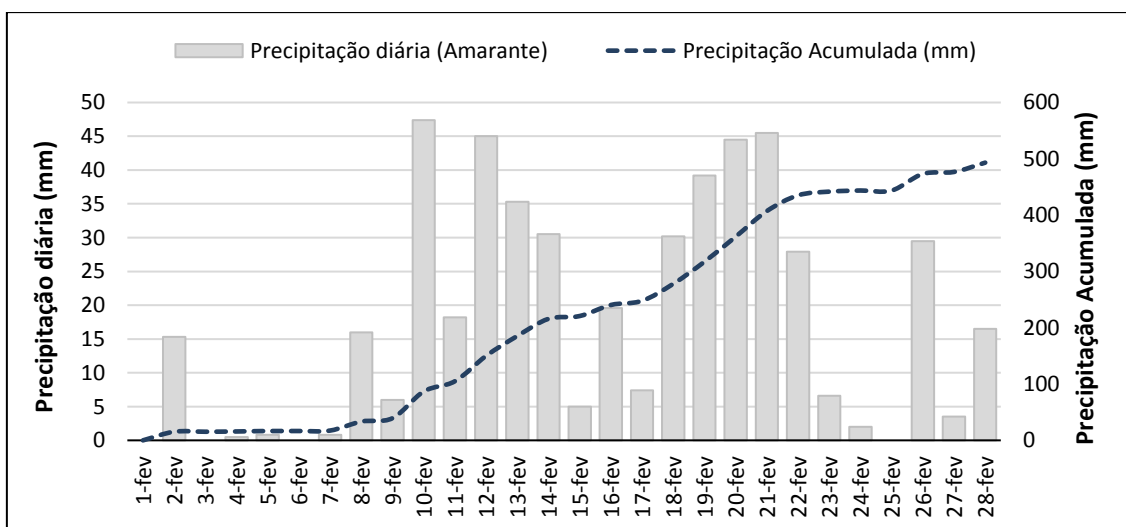


Figura 32 - Precipitação diária e precipitação acumulada durante o mês de fevereiro de 1966.

Cheias de janeiro e março de 2001

No ano de 2001, a cidade de Amarante foi atingida por consecutivos episódios de cheia, sendo consequência de um inverno muito pluvioso, o que culminou na ocorrência da maior cheia que há memória - a cheia de 21 de março de 2001. Estes eventos extremos originaram vários constrangimentos, afetando a vida de muitas pessoas, mas sobretudo, provocando elevados prejuízos em estabelecimentos comerciais (TEDIM & CARVALHO, 2010), visto que as ruas mais atingidas são maioritariamente ocupadas por lojas, cafés e restaurantes que vêm principalmente as suas caves e varandas serem inundadas (figura 33). Assim, tal como afirmam TEDIM & CARVALHO (2010), baseando-se num estudo feito pela Associação Comercial de Amarante com o objetivo de solicitar apoio financeiro ao governo português, a cheia de 21 de março de 2001 provocou perdas registadas no valor de 1,3 milhões de euros e afetou cerca de 67 estabelecimentos comerciais. Para além da destruição de bens e equipamentos, as cheias foram também responsáveis pela interrupção temporária de alguns negócios (TEDIM & CARVALHO, 2010).



Figura 33 - (A) Alturas das varandas situadas na margem esquerda do rio Tâmega; (B) Medições efetuadas com recurso a um fio de prumo; (C) Aspeto das mesmas varandas durante a cheia de 21 de março de 2001.

Apesar da população de Amarante estar familiarizada com os episódios de cheia que quase anualmente perturbam o normal funcionamento desta cidade, a magnitude da cheia de 21 de março surpreendeu várias pessoas, tendo-se registado um valor de precipitação diária de 100,4 mm, na estação de Amarante, e um caudal médio diário de cerca de 1217 m³/s no posto hidrométrico de Fridão (figura 34). No entanto, sabe-se que os valores de caudal alcançados em Amarante são mais elevados do que aqueles que se registam nas estações situadas a montante, mas devido à inexistência de dados não foi possível representar graficamente, porém, COSTA & GOMES (2004) que referem o valor de 2600 m³/s como pico máximo atingido pelo rio Tâmega na cheia de 21 de março de 2001.

Analisando a figura 34, percebe-se a grande magnitude alcançada pela cheia de 21 de março em comparação com as restantes ocorrências registadas em 2001, que não ultrapassaram os 900 m³/s de caudal médio diário. Nota-se ainda que cada pico de cheia está diretamente relacionado com níveis de precipitação diária muito elevados, tendo o maior ocorrido também no dia 21 de março de 2001. Na figura 35, é possível ver que entre janeiro e março de 2001, a precipitação acumulada rondou 1265,9 mm, colocando em evidência as características excepcionais desse inverno.

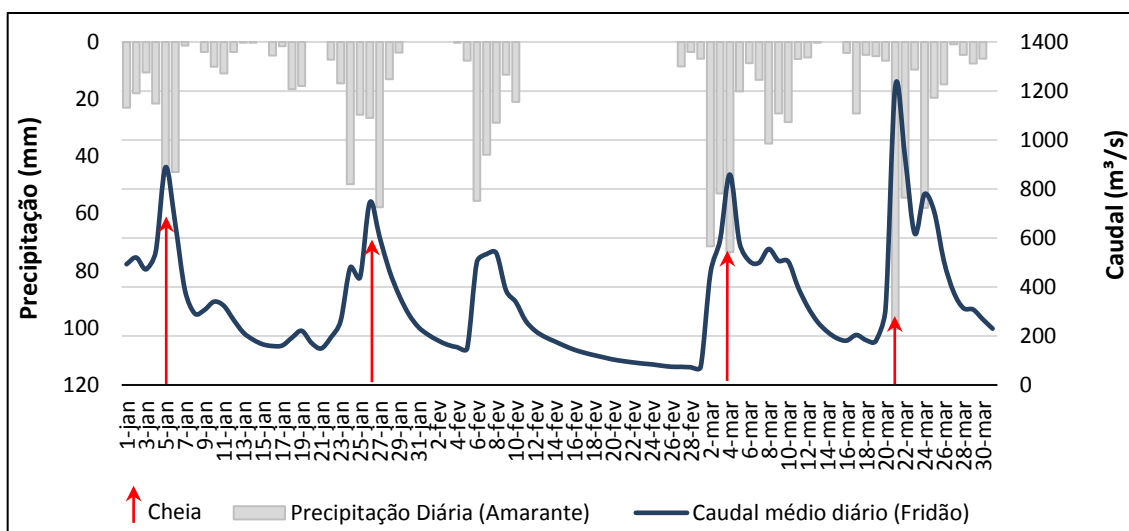


Figura 34- Precipitação diária e caudal médio diário entre 1 de janeiro e 30 de março de 2001.

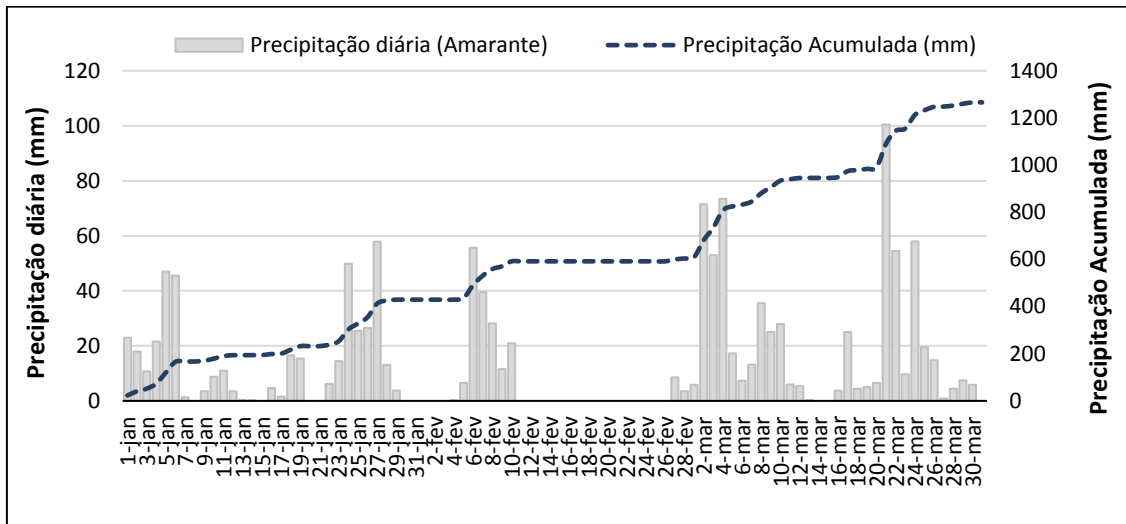


Figura 35 - Precipitação diária e precipitação acumulada entre 1 de janeiro e 30 de março de 2001.

Estes sucessivos episódios de cheia foram noticiados em diversos meios de comunicação social como, por exemplo, no Jornal de Notícias (figura 36).

É ainda importante salientar que estas ocorrências suscitaram várias preocupações em torno da ponte de São Gonçalo, pois dada a frequência destes episódios, um dos seus pilares sofreu estragos no decorrer das cheias de 2001. Para além disso, o facto de os pilares da ponte limitarem a passagem das águas, fez com que as autoridades ponderassem a destruição da mesma, dado que esta provoca uma subida desmesurada das águas a montante.



Figura 36 - Jornal de Notícias, 6 de janeiro de 2001 (pág. 31).

Capítulo 6 - Modelação hidráulica da área inundável

É cada vez mais usual recorrer à modelação hidráulica para o estudo das cheias e inundações, assim como, para a gestão das áreas inundáveis e mitigação dos riscos associados a estes processos. Isto acontece, em virtude desta ferramenta auxiliar de forma eficaz no ordenamento do território, contribuir para a redução de eventuais danos e por possibilitar o incremento da consciencialização da população, alertando-a para potenciais situações de risco (DI BALDASSARRE, 2012).

Assim, considerou-se fundamental modelar a área inundável da cidade de Amarante dada a elevada frequência com que é afetada por cheias/inundações no seu centro urbano, implicando uma grande perturbação no funcionamento das inúmeras atividades que aí se concentram. Com efeito, recorrendo-se à modelação hidráulica, é possível delimitar perímetros de inundação, determinar a profundidade (ou altura da coluna de água), o caudal específico e a velocidade da água para diversos períodos de retorno, através de *softwares* específicos. Neste estudo a escolha recaiu sobre o *software* Iber que foi desenvolvido pela administração pública espanhola em parceria com vários grupos e universidades (BLADÉ *et al.*, 2012).

6.1. Metodologia

A metodologia seguida para a realização da modelação hidráulica está esquematizada na figura 37 e divide-se em várias etapas, essenciais para a obtenção de bons resultados.

Na figura 37 indica-se a área escolhida para efetuar a modelação hidráulica, a qual corresponde a um pequeno troço do rio Tâmega com uma extensão de aproximadamente 580 m. O setor modelado incide sobre a área mais crítica às cheias/inundações do centro histórico e urbano de Amarante, devido à elevada presença de elementos expostos, sobretudo na margem esquerda do rio, onde existe um grande aglomerado de atividades, atraindo imensas pessoas a este local. Para avaliar a dinâmica de movimentos nessa área, realizou-se uma contagem do movimento de pessoas e veículos, no dia 2 de maio de 2017 (terça-feira), durante uma hora (8:30h às 9:30h), em três locais da área de estudo para se ter uma perceção mais exata da quantidade de elementos móveis possivelmente afetados numa situação de cheia. Desta contagem resultou um movimento total de 664 pessoas e cerca de 1163 veículos, o que torna evidente a grande movimentação que ocorre nestes locais, fundamentando a escolha

deste troço fluvial para realizar o cálculo da modelação. É importante salientar que durante a contagem destes movimentos notou-se uma grande afluência de veículos de transporte de mercadorias para abastecer os vários estabelecimentos comerciais que aí se concentram.



Figura 37 - Esquema metodológico da modelação hidráulica.

Posteriormente, executou-se uma das etapas fundamentais ao estudo e modelação das cheias que é a criação do modelo digital do terreno (MDT). Esta etapa revela-se de extrema importância, uma vez que as cheias são fortemente condicionadas pelas condições do terreno, daí ser necessário uma rigorosa e adequada representação do mesmo. Deste modo, procedeu-se primeiramente ao tratamento da informação altimétrica de base (escala 1:10 000), cedida pela Câmara Municipal de Amarante à Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Durante este processo, os dados de base, nomeadamente, curvas de nível e pontos cotados, que se encontravam num formato nativo do *AutoCAD* (.*dwg*) foram convertidos para ficheiros em formato *shapefile* (.*shp*) sendo depois a partir destes, gerado o MDT de base que não apresentava o rigor necessário para a realização da modelação hidráulica (figura 38A). Por esta razão, procedeu-se a uma atualização e tratamento da cartografia original, incluindo-se novos elementos tais como edifícios, muros/margens, pontes, passeios e ruas. Este processo de correção do MDT de modo a se obter um MDE (figura 38C) exigiu um detalhado trabalho de campo para adquirir as medidas necessárias à incorporação destes novos

elementos, recorrendo-se para o efeito a diversas ferramentas como, por exemplo, fita métrica, fio de prumo e uma aplicação para *smartphone* designada por "SmartMeasure"¹¹.

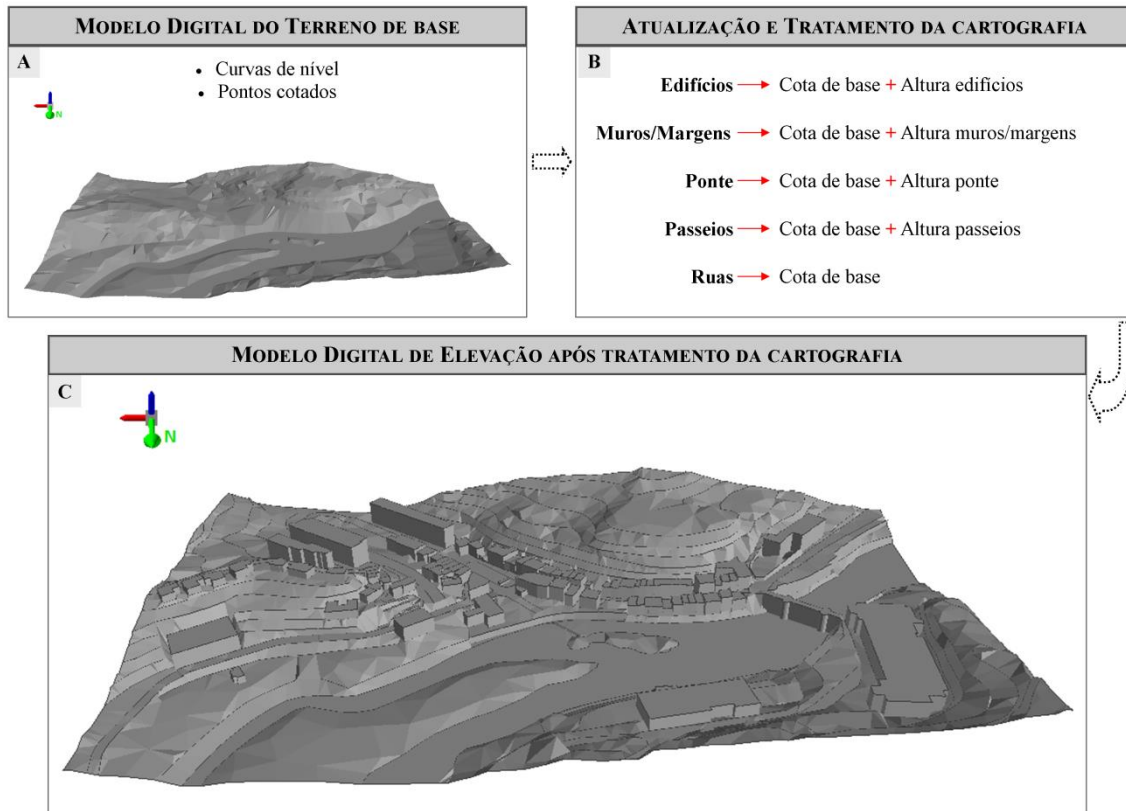


Figura 38 - (A) Modelo digital do terreno de base; (B) Atualização e tratamento da cartografia de base; (C) Modelo Digital de Elevação (MDE) corrigido.

Tendo ainda em atenção a figura 38B é possível verificar que durante esta fase de inclusão dos novos elementos foi preciso determinar o valor das cotas de base, assim como da respetiva altura de cada elemento, com exceção das ruas. Sendo assim, as cotas de base dos novos elementos cartográficos foram, em grande medida, extraídas diretamente do MDT de base embora, em alguns casos, devido à fraca qualidade do mesmo, tornou-se necessário corrigir as mesmas manualmente. Em relação à altura destes elementos, as medidas foram obtidas através do trabalho realizado no terreno (figura 39), com o auxílio das ferramentas mencionadas anteriormente, acrescentando-se depois ao MDE para uma representação mais fiel da realidade.

Este processo de correção do MDT revelou-se imprescindível para obtenção de um modelo adequado à realização da modelação hidráulica, sendo notórias as alterações

¹¹ https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.sira.measure&hl=pt_PT

efetuadas, sobretudo nas margens que, no MDT de base, se apresentavam bastante indefinidas e imprecisas.



Figura 39 - Exemplo das medições efetuadas no terreno.

Apesar de na secção escolhida para efetuar a modelação se verifique a existência de duas pontes, neste estudo, optou-se por incluir no modelo apenas uma, a ponte de São Gonçalo, pois dada a grande dimensão dos seus pilares, esta atua como um entrave à livre circulação das águas. O formato da ponte em três arcos corresponde a um estreitamento do vale e do canal do rio Tâmega, o que agrava a situação (figura 40). Assim, para incluir a ponte ou pelo menos, reproduzir o seu efeito no modelo, foi determinado o caudal aproximado que cada arco poderia escoar, utilizando-se, para o efeito, a Equação Fundamental da Hidrodinâmica, que pode ser expressa pela equação $Q=S \times V$, em que Q é o caudal em m^3/s , S corresponde à secção em m^2 e V à velocidade da água em m/s (CABEZAS, 1983).

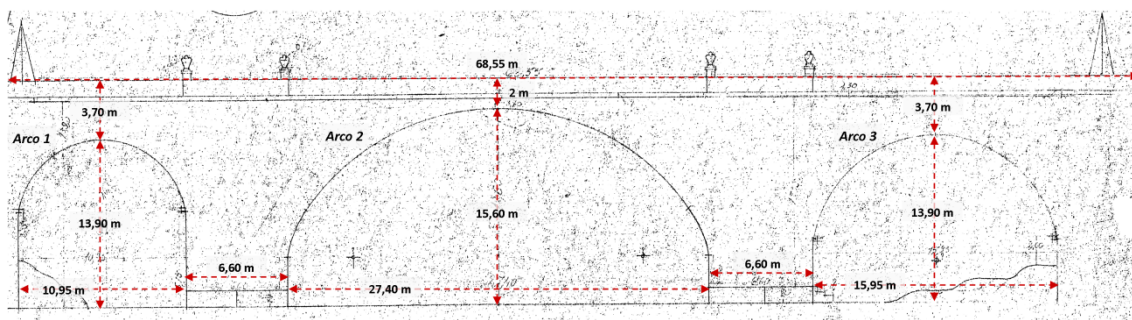


Figura 40 - Medidas da ponte de São Gonçalo, em Amarante (DGPC, 2017).

Para determinar a secção, calculou-se a área dos arcos, partindo do pressuposto que o arco do meio correspondia a meia circunferência e, os arcos das extremidades, à junção de duas peças, nomeadamente, um retângulo e meia circunferência. Relativamente à velocidade atingida na secção transversal da ponte, os dados foram obtidos previamente através do *software* Iber, que apresentou o valor de 5 m/s.

Após estes cálculos, foram obtidos os resultados apresentados no quadro 19, sendo, posteriormente, utilizado o valor da quantidade de água total escoada pelos três arcos da ponte (2412 m³/s) para se definir uma única secção, estreitando as margens até se atingir esse valor (figura 41).

Quadro 19 - Caudal aproximadamente escoado por cada arco da ponte.

Arco	Caudal Aproximado
1	331 m ³ /s
2	1473 m ³ /s
3	608 m ³ /s
Total	2412 m³/s

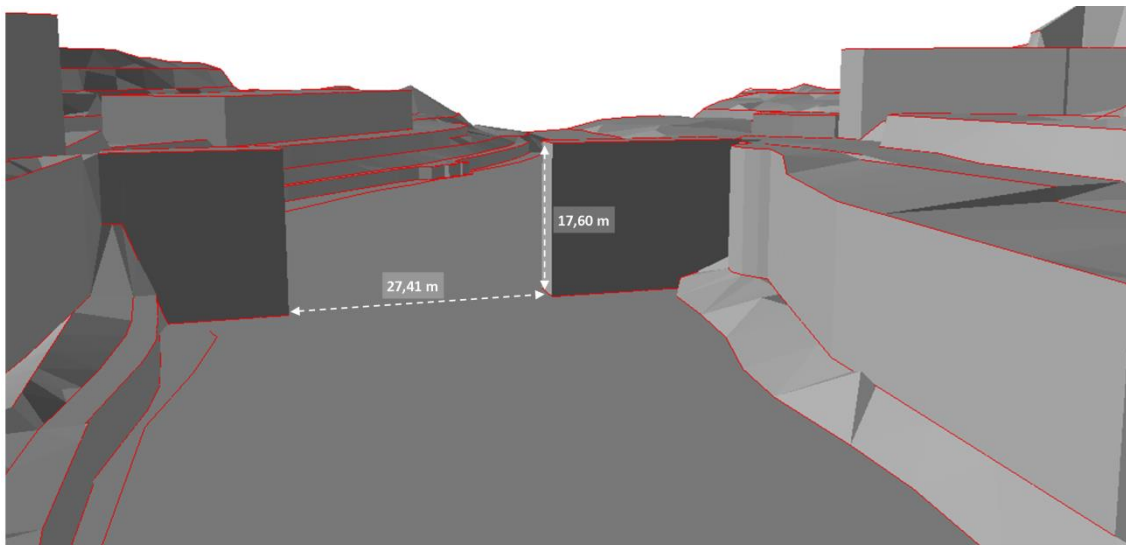


Figura 41 - Incorporação do efeito da ponte de São Gonçalo no modelo hidráulico.

A seguinte etapa está relacionada com a obtenção dos caudais máximos de cheia, cruciais para realização da modelação hidráulica e que possibilitam a determinação dos perímetros de inundação nas áreas inundáveis. Para isso, efetuou-se a modelação hidrológica com base na fórmula de *Giandotti*, de modo a estimar o valor dos caudais de ponta de cheia para os períodos de retorno de 10, 100 e 500 anos, processo já descrito anteriormente com mais detalhe (subcapítulo 4.2.3). O cálculo desta

metodologia foi aplicado a toda a secção da bacia hidrográfica do rio Tâmega, a montante de Amarante, mais especificamente a montante da ponte de São Gonçalo. Assim, foi possível determinar um caudal máximo, em 10 anos de 1600,1 m³/s, em 100 anos de 2283,7 m³/s e em 500 anos de 2768,8 m³/s, valores que posteriormente serão introduzidos na modelação hidráulica como condições de entrada.

Após a determinação dos caudais máximos seguiu-se a atribuição dos valores de rugosidade, através do coeficiente de *Manning*, para cada tipo de uso do solo, baseando-se na cartografia de uso e ocupação do solo, disponibilizada pela Direção-Geral do Território (COS 2010), para o setor onde se pretende realizar a modelação (figura 42). Os valores representativos do coeficiente de *Manning* dependem essencialmente da rugosidade da superfície, da quantidade de vegetação e da irregularidade do canal, por isso, quanto maior for o seu valor, mais elevada será a resistência oferecida ao fluxo (CHAUDHRY, 2007).

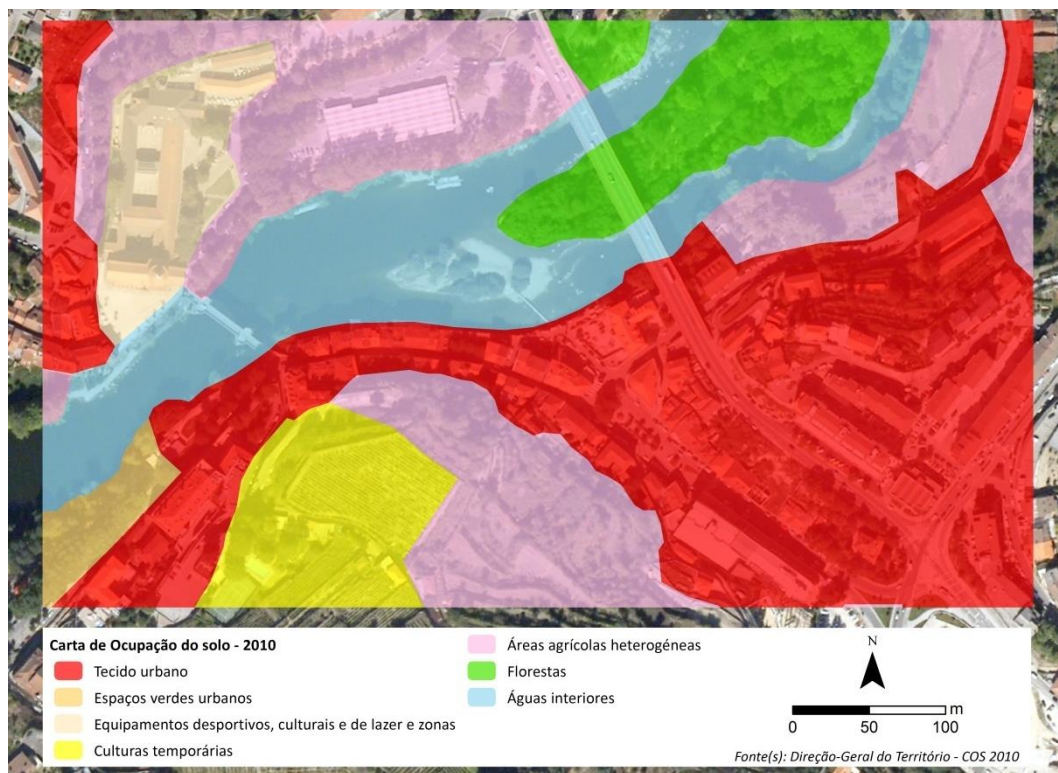


Figura 42 - Carta de Ocupação do Solo (COS) 2010 para a área em estudo.

6.2. Modelação Hidráulica - *Software Iber*

Para a realização da modelação, que consiste em tentar determinar os valores que assumem algumas das variáveis hidráulicas como a profundidade, velocidade e caudal, recorreu-se ao *software Iber* (BLADÉ & CEA, 2008). Este, assume-se como um modelo matemático bidimensional (2D) para a simulação do fluxo da água em rios e estuários (BLADÉ *et al.*, 2012). O desenvolvimento de modelos bidimensionais justifica-se para colmatar algumas limitações existentes nos modelos unidimensionais, como o HEC-RAS, que apesar de serem mais simples e exigirem menor capacidade de computação, os resultados estão mais dependentes da perícia do utilizador, pois a definição da geometria de um rio realiza-se em função do número e traçado de uma série de secções. O *software Iber* surgiu em 2010 e desenvolveu-se diretamente a partir da administração pública espanhola, em colaboração com vários grupos e universidades, destacando-se, dentro dos seus diversos campos de aplicação, a determinação e avaliação das áreas inundáveis (BLADÉ *et al.*, 2012). Além disso, é um *software* de uso livre que pode ser descarregado gratuitamente¹².

6.2.1. Modelo Numérico

O modelo Iber apresenta diferentes módulos de cálculo, tais como, o módulo hidrodinâmico para determinar a profundidade e velocidade da água, e dispõe também de um módulo de turbulência e um módulo de transporte de sedimentos, que lhe conferem capacidades adicionais (IBER, 2012; MUÑOZ, 2012).

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hU_x}{\partial x} + \frac{\partial hU_y}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial t}(hU_x) + \frac{\partial}{\partial x}\left(hU_x^2 + g\frac{h^2}{2}\right) + \frac{\partial}{\partial y}(hU_xU_y) &= -gh\frac{\partial Z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}\left(v_t h \frac{\partial U_x}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(v_t h \frac{\partial U_y}{\partial y}\right) \\ \frac{\partial}{\partial t}(hU_y) + \frac{\partial}{\partial x}(hU_xU_y) + \frac{\partial}{\partial y}\left(hU_y^2 + g\frac{h^2}{2}\right) &= -gh\frac{\partial Z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}\left(v_t h \frac{\partial U_y}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(v_t h \frac{\partial U_y}{\partial y}\right) \end{aligned}$$

Figura 43 - Equações bidimensionais de *Saint Venant* (BLADÉ *et al.*, 2012).

O módulo hidrodinâmico, que é a base de todos os processos incluídos nesta ferramenta, resolve as equações bidimensionais de *Saint Venant* (figura 43), também conhecidas como *2D Shallow Water Equations*, incorporando os efeitos provocados pela turbulência e fricção superficial do vento (BLADÉ *et al.*, 2012).

¹² <http://www.iberaula.es>

Nestas equações consideram-se algumas variáveis, tais como, a profundidade da água (h), as velocidades horizontais médias em profundidade ($U_x U_y$), a aceleração da gravidade (g), a densidade da água (ρ), a cota do fundo (Z_b), a fricção na superfície livre provocada pelo vento (τ_s), a fricção devido ao atrito do fundo (τ_b) e a viscosidade turbulenta (ν_t) (BLADÉ *et al.*, 2012).

Por sua vez, as equações bidimensionais de *Saint Venant* necessitam de um método numérico para a sua resolução, sendo frequentemente utilizado o método dos volumes finitos, pois permitem uma grande flexibilidade geométrica para definir o problema (IBER, 2017). No método dos volumes finitos aplicado a um problema bidimensional, o domínio físico divide-se em vários polígonos (o Iber permite polígonos triangulares e quadriláteros), denominados volumes de controle, que formam a malha de cálculo (MUÑOZ, 2012). Neste método, as variáveis de cálculo como, por exemplo, a profundidade e velocidade da água, são armazenadas no centro geométrico de cada polígono, também designados como nós da malha (figura 44), representando o valor médio de cada elemento (IBER, 2017).

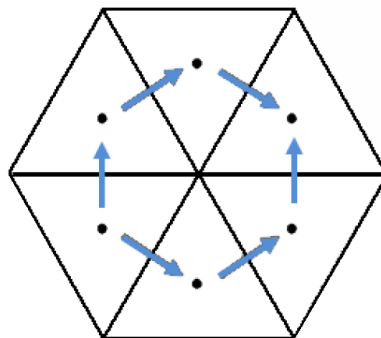


Figura 44 - Método volumes finitos: nós da malha de cálculo (IBER, 2017).

6.2.2. Estrutura do *software* Iber

O *software* Iber encontra-se estruturado em três etapas principais, sendo elas o pré-processo, processo e pós-processo. Na primeira etapa (pré-processo), procede-se à definição ou importação da geometria, determinação das condições do problema, atribuição dos valores de rugosidade do solo, criação da malha de cálculo, entre outros. Na segunda etapa (processo) é lançado o cálculo e, na terceira (pós-processo), visualizam-se os resultados obtidos.

Assim, para a concretização das várias etapas são necessários dados de base, tais como, um detalhado modelo digital de elevação (MDE), os valores dos caudais de ponta de cheia para a definição das condições de entrada do fluxo e a atribuição dos valores do coeficiente de *Manning* para cada tipo de uso do solo (figura 45). Após a preparação destes dados dá-se início à simulação no Iber, começando pela definição da geometria. Tal como foi referido anteriormente, este é um modelo bidimensional e, por isso, permite importar geometrias automaticamente a partir do modelo digital de elevação. Apesar de existir uma grande variedade de formatos que possibilitam esta importação, neste estudo, optou-se pela metodologia RTIN (*Right-Triangulated Irregular Network*) que consiste em dividir a superfície do terreno em triângulos retângulos de vários tamanhos. Porém, quanto maior for o número de triângulos, mais aproximada será a geometria às características reais do terreno, mas também mais elevado será o tempo de simulação (IBER, 2012).

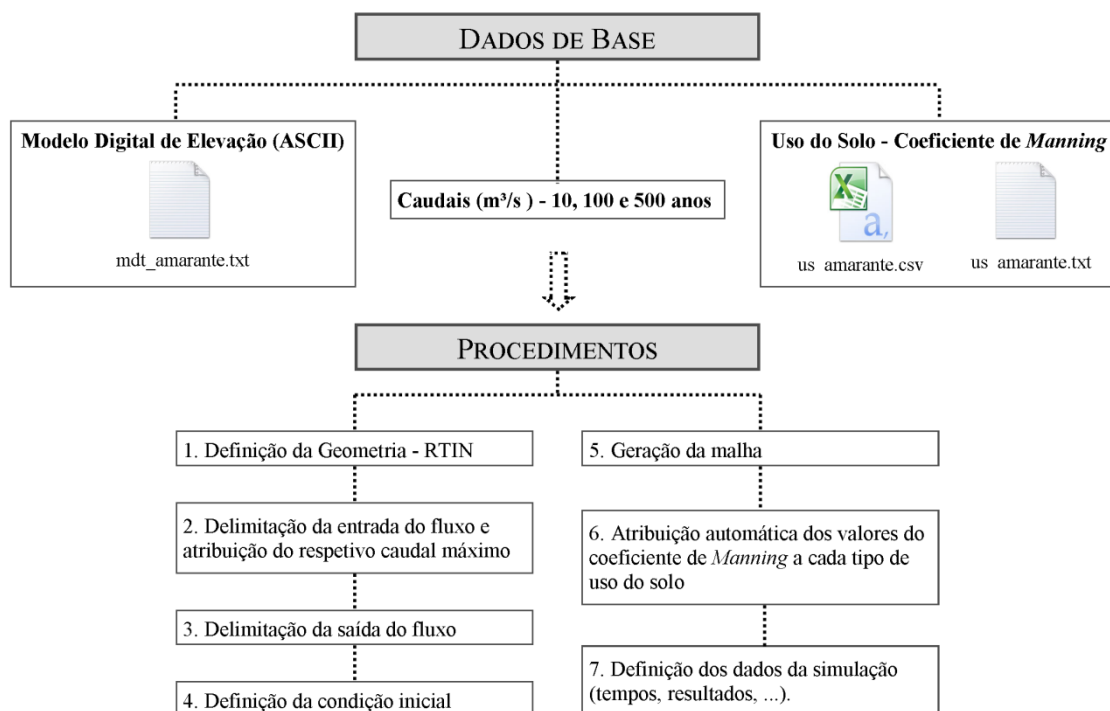


Figura 45 - Esquema metodológico da modelação hidráulica no software Iber.

Posto isto, delimitaram-se as condições de fronteira, isto é, o local de entrada do fluxo com a atribuição do respetivo caudal máximo estimado para um dado período de retorno, e o local de saída do mesmo, definindo-se ainda para todo o modelo a condição inicial da profundidade da água.

O passo seguinte relaciona-se com a geração da malha de cálculo (figura 46b) que possui o triplo dos elementos existentes na geometria (figura 46a) para se representar com o maior rigor possível as zonas inundáveis, visto que a malha é um elemento fundamental para a obtenção de bons resultados.

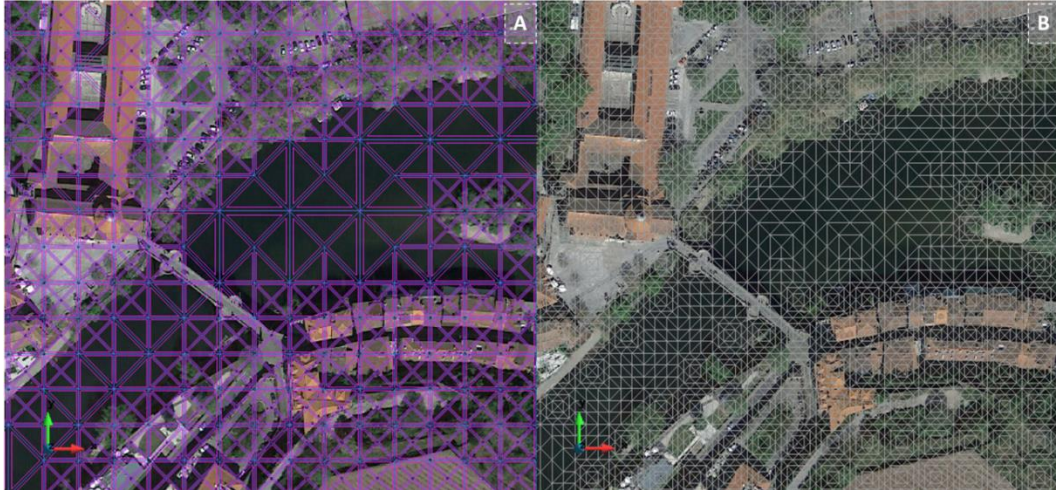


Figura 46 - (A) Geometria e (B) Malha geradas com o software Iber.

Em relação à rugosidade da superfície, esta foi atribuída de forma automática através do coeficiente de rugosidade de *Manning* sendo, para isso, necessário a existência de um ficheiro em formato ASCII (.asc) com os respetivos usos do solo, e ainda outro ficheiro (.csv) com a lista dos mesmos. Para concluir este processo são determinados os dados da simulação, onde se definem os parâmetros do tempo como, por exemplo, o tempo máximo de simulação e o intervalo de resultados, existindo também a possibilidade de seleccionar os resultados que se pretendem, posteriormente, visualizar. Depois de realizar todos estes procedimentos, lança-se o cálculo e, quando este termina, é possível visualizar os resultados.

6.3. Resultados da Modelação Hidráulica

As ferramentas de modelação como por exemplo, o Iber, tem entre as suas diversas aplicações o cálculo e avaliação de áreas propensas a cheias e inundações, existindo vários parâmetros como o alcance máximo da inundação, a profundidade e a velocidade da água, que ajudam a entender estes processos (MOEL *et al.*, 2009). Assim, a modelação hidráulica permitiu a delimitação de perímetros de inundação, a análise da profundidade da coluna de água e da velocidade do escoamento para períodos de retorno de 10, 100 e 500 anos. Tal como defende MOEL *et al.* (2009), os mapas que

representam a extensão máxima de uma cheia/inundação para um evento específico, são os mais comuns entre os mapas de perigo de cheias, podendo caracterizar um episódio histórico ou um determinado evento com um tempo de retorno específico.

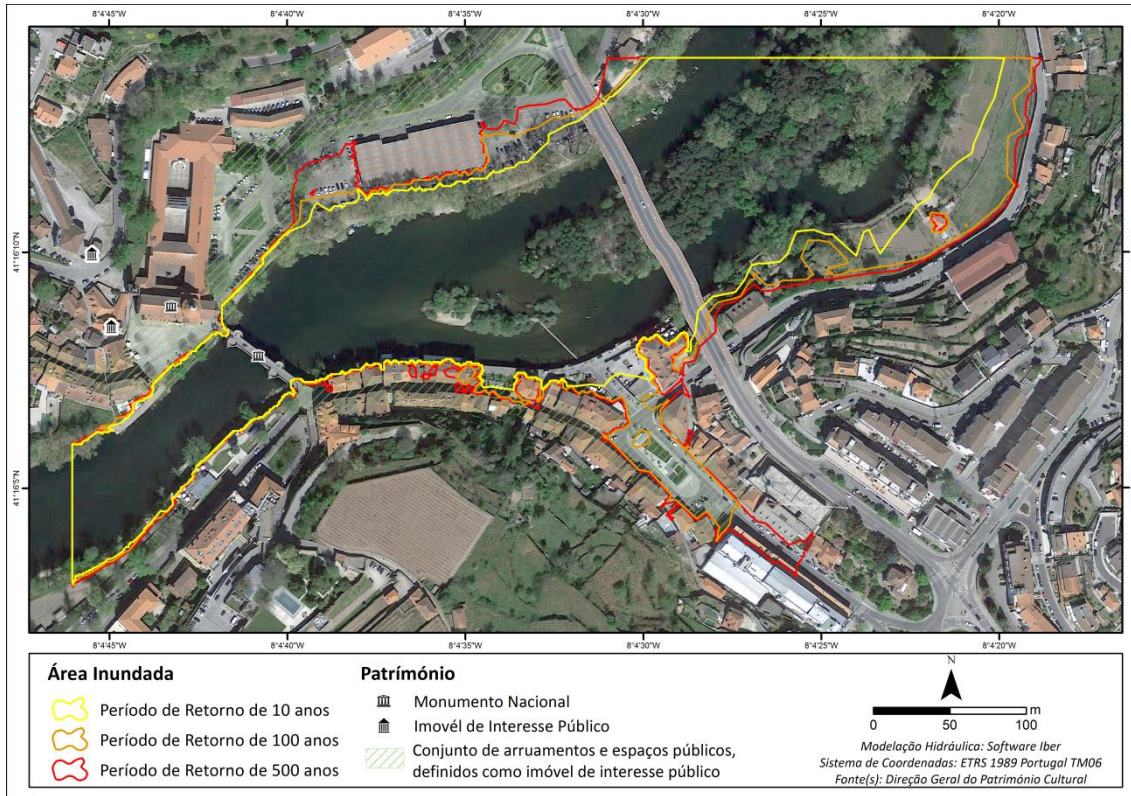


Figura 47 - Área inundada para eventos com períodos de retorno de 10, 100 e 500 anos.

Na figura 47 encontram-se representados os perímetros de inundação para potenciais eventos de cheia com probabilidades de recorrência de 10, 100 e 500 anos, sendo visíveis as diferenças em termos de extensão, sobretudo entre a área inundada com o período de retorno de 10 e 100 anos, tendo a última um alcance significativamente mais elevado. Sendo assim, a extensão máxima alcançada por um evento com uma probabilidade de recorrência igual a 10 anos é de cerca de 72 488,1 m², para um período de retorno de 100 anos é de 84 232,5 m², e para 500 anos é aproximadamente 90 162,8 m². Ainda na figura 47, percebe-se que na área modelada existem elementos classificados como Monumento Nacional ou Imóvel de Interesse Público (MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, COMÉRCIO E INDÚSTRIA, 1910; MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA, 1974) que são particularmente afetados pelos episódios excepcionais (100 e 500 anos), condicionando as atividades e movimentos em parte dos arruamentos e espaços públicos classificados, dos quais fazem parte a Rua 31 de Janeiro e o Largo Conselheiro António Cândido.

Como já foi referido, outro dos resultados obtidos com a modelação hidráulica é a profundidade da água, representada na figura 48, para um evento com período de retorno de 10 anos.

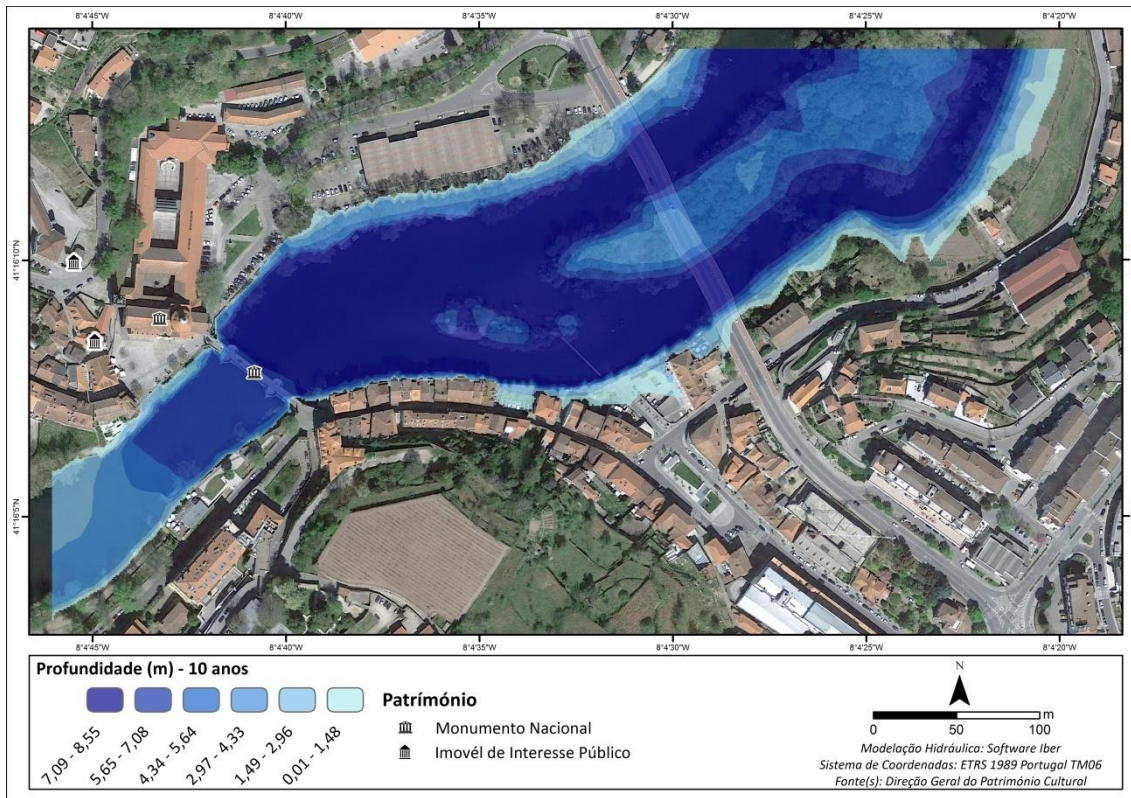


Figura 48 - Profundidade da água para uma cheia com um período de retorno de 10 anos.

Observando a figura (fig.48) percebe-se que os níveis de profundidade mais elevados se registam ao longo do canal do rio Tâmega, especialmente a montante da ponte de São Gonçalo, rondando valores entre 7 m e 8,55 m. Nos locais onde o rio extravasa a margem do lado esquerdo, a altura da coluna de água pode atingir os 3 m, provocando danos nas caves, anexos ou arrecadações dos edifícios que aí se situam, podendo mesmo subir até ao nível de algumas varandas. Na margem direita, uma cheia desta magnitude, apenas impede a circulação no caminho pedonal que aí existe. Deste modo, cheias com uma grande probabilidade de recorrência originam poucos constrangimentos, estando a população habituada a episódios desta magnitude.

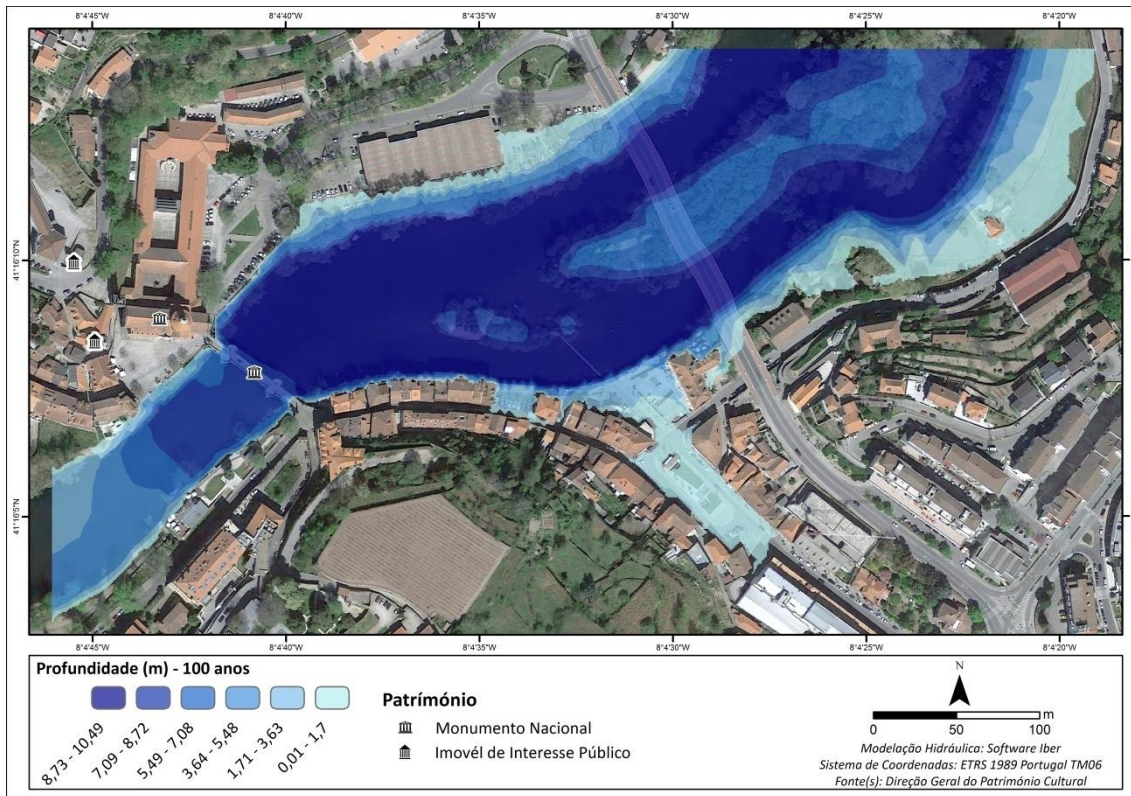


Figura 49 - Profundidade da água para uma cheia com um período de retorno de 100 anos.

Por sua vez, a figura 49 apresenta o resultado da profundidade da água para um período de retorno de 100 anos, sendo evidente a diferença em termos de área inundada e profundidade da água, em comparação com um evento recorrente (10 anos). Nota-se que na margem esquerda, a área inundada aumentou significativamente, estendendo-se até ao Largo Conselheiro António Cândido, bem como na margem direita chegando a atingir parte do mercado municipal. Sendo a margem esquerda uma zona mais crítica devido à grande concentração de atividades que aí se desenvolvem, uma cheia com esta magnitude, pode provocar avultados prejuízos. A profundidade máxima atingida por um episódio desta magnitude varia entre 9 m e 10 m, enquanto a profundidade mínima pode alcançar 1,70 m.

Relativamente à simulação da cheia para um período de retorno de 500 anos (figura 50) é possível verificar uma área inundada bastante extensa, com alturas máximas da coluna de água que podem atingir aproximadamente 12 m. Nas áreas onde o rio transborda as margens, embora a profundidade seja mais baixa, pode alcançar os 6 m junto destas, e cerca de 2 m em locais mais afastados como o Largo Conselheiro António Cândido (margem esquerda) ou o mercado municipal (margem direita).

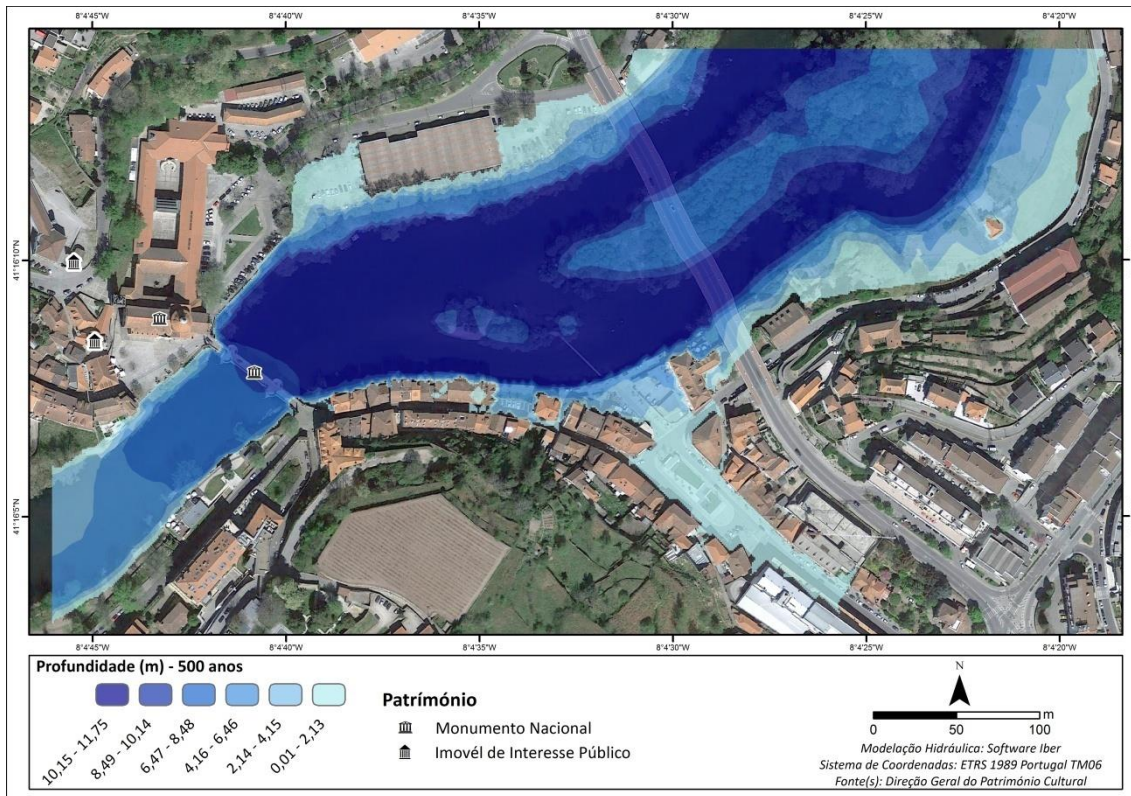


Figura 50 - Profundidade da água para uma cheia com um período de retorno de 500 anos.

Sendo assim, em episódios de cheia excecionais (100 e 500 anos) a coluna de água pode subir até valores que variam entre 10 m e 12 m, e em eventos mais recorrentes (10 anos) pode atingir aproximadamente 9 m. É importante salientar que em todos os cenários se nota a influência que a ponte de São Gonçalo exerce nos resultados da profundidade, sendo evidente o obstáculo que ela exerce à livre circulação do fluxo, uma vez que a altura da coluna de água é sempre mais elevada a montante da ponte.

Para além da profundidade da água, a velocidade do escoamento é outro resultado da modelação hidráulica, encontrando-se representada na figura 51 para os diversos períodos de retorno. Como se pode observar, a velocidade da corrente aumenta progressivamente a jusante da ponte de São Gonçalo em todos os cenários simulados, alcançando um valor máximo de 9,84 m/s para um período de retorno de 10 anos, 11,05 m/s para 100 anos e 11,81 m/s para uma probabilidade de recorrência de 500 anos. Para além disto, é perceptível que caudais mais elevados associados a períodos de retorno maiores, tendem a aumentar a velocidade da corrente.

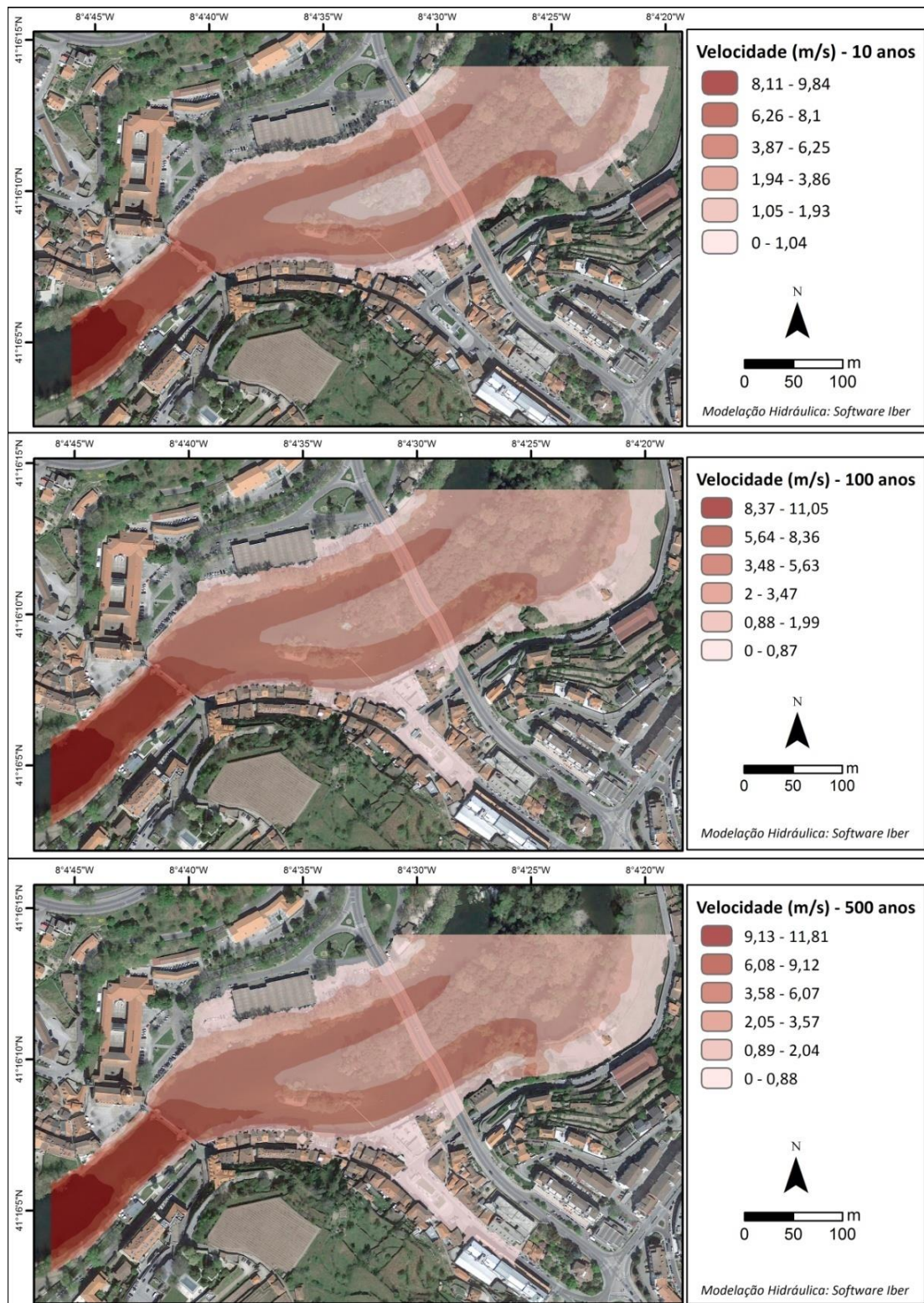


Figura 51 - Velocidade da água para períodos de retorno de 10, 100 e 500 anos.

A título de exemplo, e para efeitos de validação dos resultados obtidos com a modelação hidráulica, procedeu-se à simulação do evento histórico de 21 de março de 2001, dado existirem no trabalho de GOMES & COSTA (2004) valores do caudal máximo instantâneo alcançado nesse dia (2600 m³/s). Assim, analisando a figura 52,

compreende-se que esta cheia pode ser considerada um episódio excecional, tendo uma probabilidade de recorrência situada entre os 100 e 500 anos. Na verdade, este foi o episódio com maior magnitude que afetou Amarante, provocando elevados danos e prejuízos no centro histórico desta cidade que, tal como foi referido anteriormente, está classificado como Imóvel de Interesse Público (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA, 1974). Para além disso, também a ponte de São Gonçalo sofreu estragos num dos pilares centrais no decorrer deste evento. Os prejuízos económicos foram muito elevados devido ao predomínio do setor comercial neste local, existindo ainda relatos de impactos ambientais, nomeadamente, a degradação completa da ilha situada neste setor do rio Tâmega, também conhecida como Ínsua dos Frades (GOMES & COSTA, 2004). No entanto, é importante referir que para além da situação pluviométrica extrema, esta cheia poderá também ter sofrido o impacto provocado pelo regolfo da barragem do Torrão, o que provocou um aumento do caudal, a montante da mesma, devido a uma maior retenção das águas o que pode ter originado um aumento da coluna de água em Amarante.

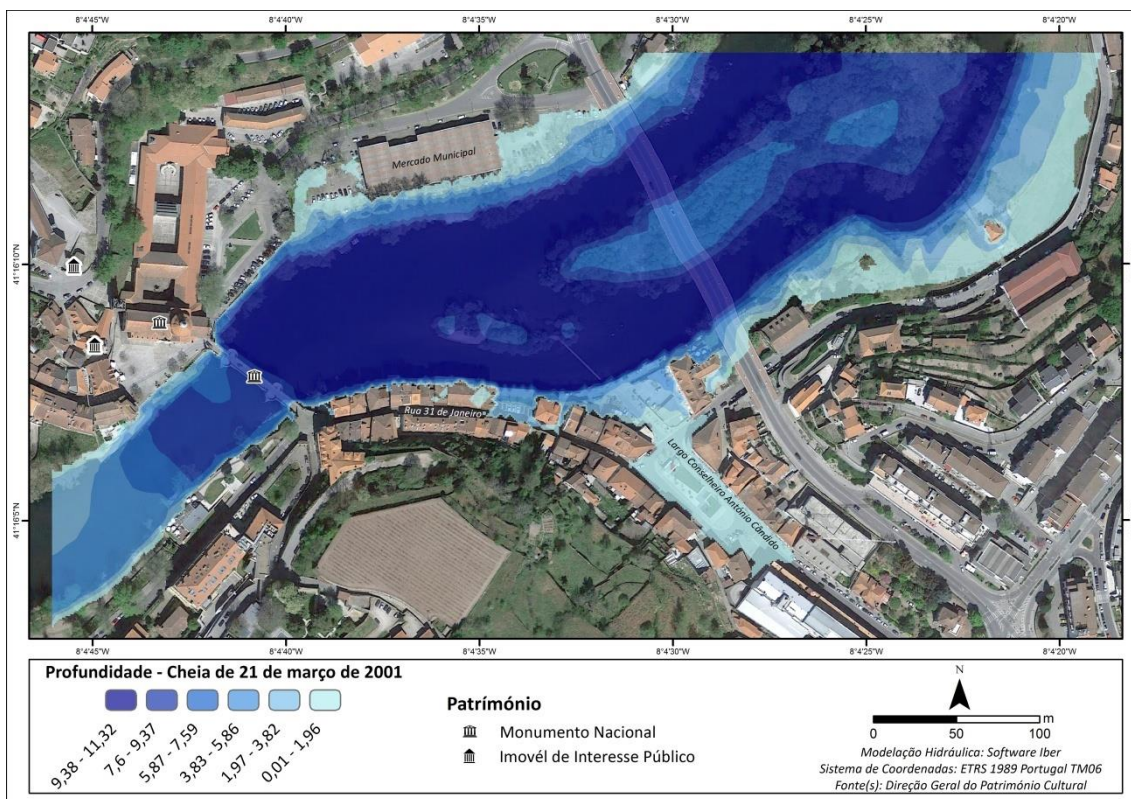


Figura 52 - Profundidade da água durante a cheia de 21 de março de 2001.

Observando a figura 53, que representa a cota atingida pela coluna de água durante o episódio de 21 de março de 2001, é possível verificar que as cotas mais

elevadas foram alcançadas a montante da ponte de São Gonçalo, evidenciando novamente a influência que esta exerce na livre circulação do fluxo. De acordo com COSTA (2009b), nos locais assinalados com um círculo azul, a cota atingida pela água rondou os 71 m e os valores da profundidade alcançaram sensivelmente 2 m. Deste modo, nota-se que os resultados da modelação hidráulica representam satisfatoriamente estes valores, uma vez que o modelo exhibe cotas de 70,8 m e valores de profundidade de cerca de 1,96 m para os mesmos locais.

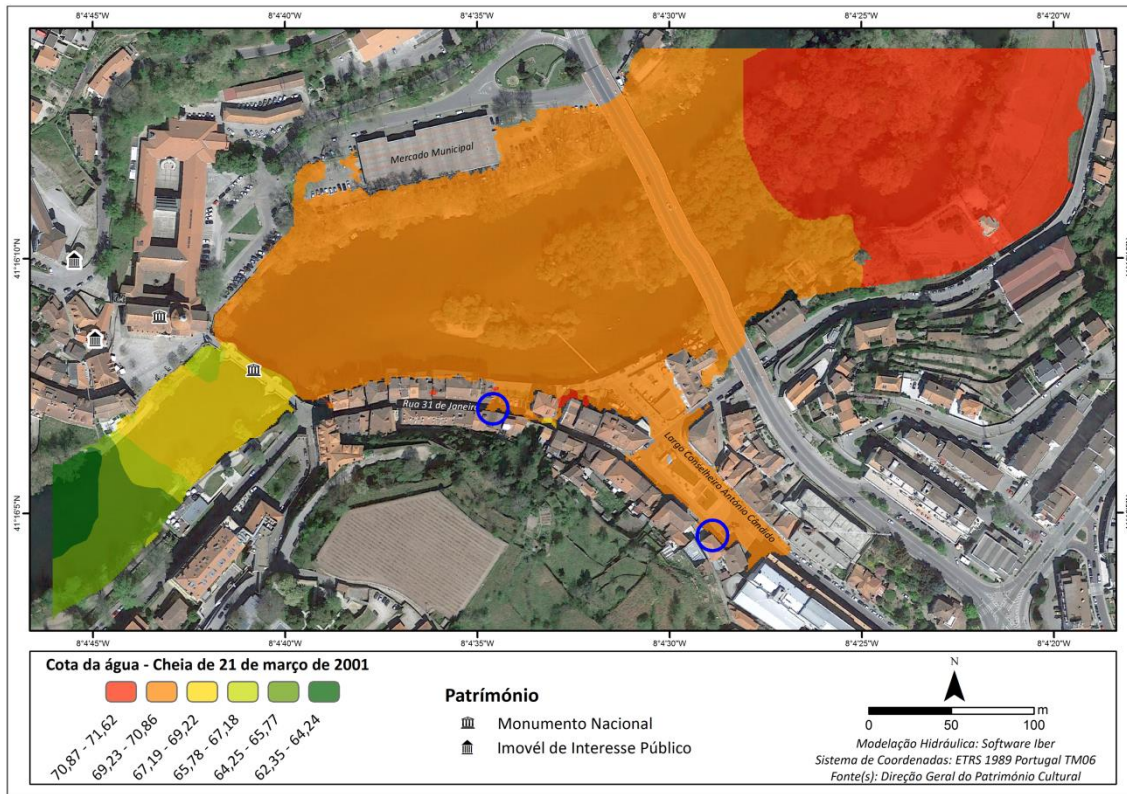


Figura 53 - Cota da água durante a cheia de 21 de março de 2001.

Contudo, apesar dos resultados obtidos através da modelação serem aceitáveis, existe uma lacuna em todos os cenários simulados (figura 54), mesmo após diversas tentativas para corrigir a situação. Na figura 54, o setor delimitado a vermelho, é um pequeno troço da Rua 31 de Janeiro que deveria inundar sobretudo em cheias de carácter excecional, pois existem marcas indicativas da altura da água nesse local, mas que o modelo não representa. Neste sentido, importa reforçar que a modelação matemática é apenas uma aproximação à realidade estando, por isso, sujeita a falhas e representações menos precisas.

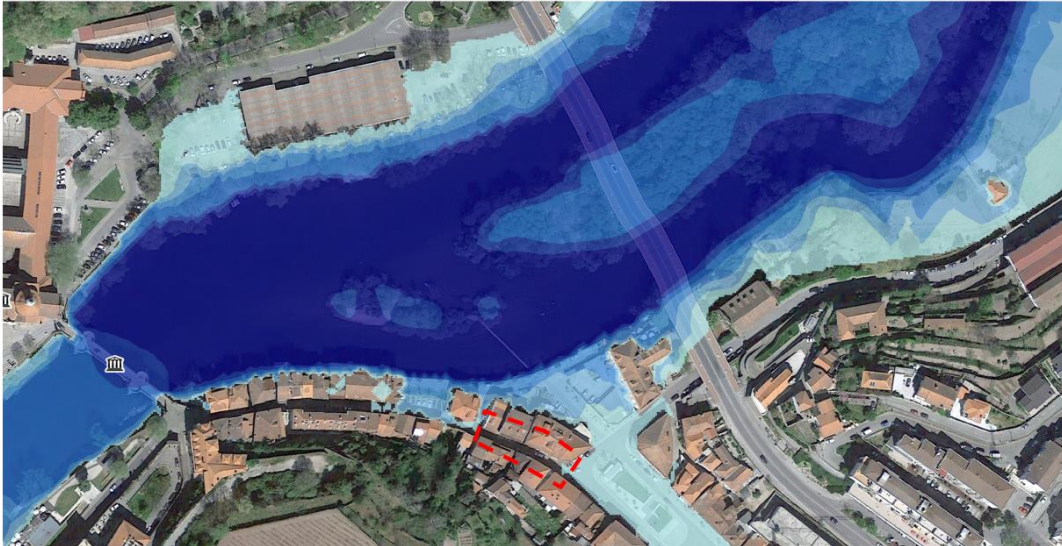


Figura 54 - Lacuna nos resultados da modelação hidráulica.

Além disso, estes problemas podem estar relacionados com imprecisões existentes no MDE, dado que as medições efetuadas no terreno não foram obtidas através de métodos que proporcionam resultados de elevada precisão, como é o caso da estação total. Em relação a isto, pode-se também referir a ação da drenagem pluvial que leva à concentração de escoamento em áreas deprimidas, e que o modelo hidráulico não capta na totalidade.

Outro aspeto que é necessário referir, e que pode contribuir para que o modelo não se ajuste totalmente à realidade, está relacionado com o facto de Amarante, para além de ser afetada por cheias fluviais, sofrer também os impactos das inundações urbanas que não se consideram na modelação.

Na figura 55b encontra-se uma notícia do jornal Flor do Tâmega, de 1992 (COSTA, 2009b), que faz referência a este processo das inundações urbanas, que no caso de Amarante são devidas à existência de uma antiga linha de água encanada (figura 55a), que quando o caudal do rio Tâmega sobe, provoca um efeito de tamponamento que impede o escoamento desse pequeno curso de água da margem esquerda. Esta situação leva a que no Largo Conselheiro António Cândido, a água transborde pelas tampas da rede de saneamento, mesmo antes do rio Tâmega transbordar as margens. Este afluxo de água que não é contabilizado pela modelação hidráulica poderá ser explicação da lacuna apontada ao cenário de inundação da Rua 31 de Janeiro.



Figura 55 - (A) Antigo curso de água encanado; (B) Jornal Flor do Tâmega, 10 de dezembro de 1992 (extraído de COSTA, 2009).

Além dos resultados até agora apresentados, o Iber permite ainda selecionar resultados adicionais, tal como a perigosidade que é definida de acordo com a legislação espanhola, estipulada no Decreto Real de 9/2008. Os mapas de perigosidade contêm informação sobre a probabilidade e magnitude de um dado evento de cheia, e consequente inundação, afetarem uma determinada área num dado período de tempo (MOEL *et al.*, 2009; JULIÃO *et al.*, 2009; APA, AQUALOGUS & ACTION MODULERS, 2014).

Dado que os mapas de perigosidade são obtidos com base em critérios adotados e que podem variar de acordo com as especificações de cada país, neste estudo, a determinação e avaliação da perigosidade a cheias baseou-se na metodologia preconizada pela Comissão Nacional da Gestão de Riscos de Inundação (CNGRI) (quadro 20). Segundo esta metodologia, a perigosidade é calculada em função da profundidade e velocidade do escoamento, podendo ser expressa através da equação $P_i = d * (v + 0.5)$, em que d corresponde à profundidade (m), e v à velocidade da corrente (m/s) (APA, 2015).

Quadro 20 - Critérios seguidos para a determinação da perigosidade a cheias (adaptado de APA, 2015).

$P_i = d * (v + 0.5)$	Perigosidade	Descrição do Risco (considerando apenas a população)
<0,75	Muito Baixa	---
0,75 - 1,25	Baixa	Cautela
1,25 - 2,50	Média	Perigo para alguns
2,50 - 7	Alta	Perigo para a maior parte das pessoas
>7	Muito Alta	Perigo para toda a população

Para a elaboração do mapa de perigosidade, utilizou-se o período de retorno de 100 anos, por constituir um evento potencialmente mais perigoso, devido à maior profundidade e velocidade da água, embora a sua probabilidade de recorrência seja menor (MARAFUZ, ADELINO & GOMES, 2014). Optou-se ainda por fazer a comparação entre os resultados obtidos diretamente do modelo Iber, que têm por base a legislação espanhola, e aqueles que foram obtidos através da aplicação da metodologia da CNGRI.

Deste modo, analisando a figura 56 que mostra a perigosidade à ocorrência de cheias segundo a legislação espanhola, consegue-se perceber que as áreas com elevada perigosidade correspondem àquelas que são frequentemente afetadas por cheias com fortes probabilidades de recorrência. Por outro lado, os locais classificados com perigosidade moderada são os que sofrem impactos apenas com cheias excepcionais, cujos tempos de retorno são elevados. Na figura 56, nota-se claramente a elevada perigosidade a que se encontra exposta a margem esquerda do rio Tâmega, com particular destaque para os edifícios da Rua 31 de Janeiro.

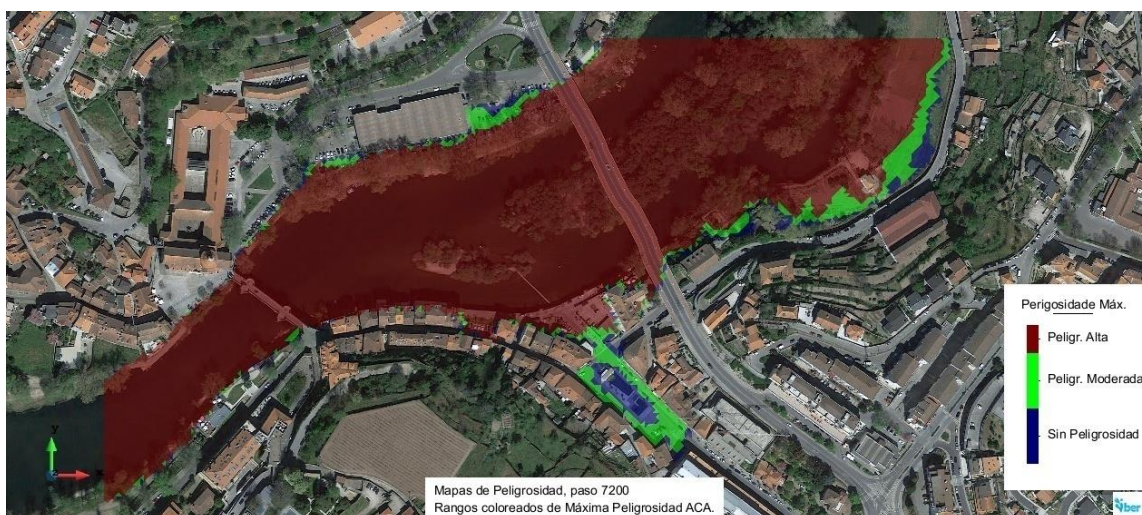


Figura 56 - Perigosidade a cheias segundo a legislação espanhola.

Por sua vez, a figura 57 representa a perigosidade a cheias na cidade de Amarante, resultante da aplicação da metodologia preconizada pela CNGRI. As diferenças entre os critérios de classificação de ambas as metodologias são notáveis, resultando em cenários de perigosidade distintos. Neste sentido, a figura 57 mostra que os locais atingidos por cheias/inundações excepcionais apresentam uma perigosidade muito baixa, enquanto as áreas recorrentemente afetadas possuem uma perigosidade média/alta. Em ambos os cenários nota-se a preocupante situação da margem esquerda do rio, que concentra inúmeras atividades (figura 57) que em situação de cheia são

fortemente condicionadas, levando mesmo à sua interrupção temporária, aliando-se com os elevados prejuízos materiais. Em relação à margem direita é evidente que não existem tantos elementos expostos a estes processos, podendo provocar apenas condicionamentos no funcionamento do mercado municipal, e graves constrangimentos à circulação no caminho pedonal, cuja zona está classificada com uma perigosidade muito elevada.

Deve-se destacar a importância da elaboração deste tipo de cartografia que contribui para um adequado ordenamento do território, possibilitando um conhecimento das zonas mais críticas em termos de perigosidade e de elementos expostos (MARAFUZ, ADELINO & GOMES, 2014).

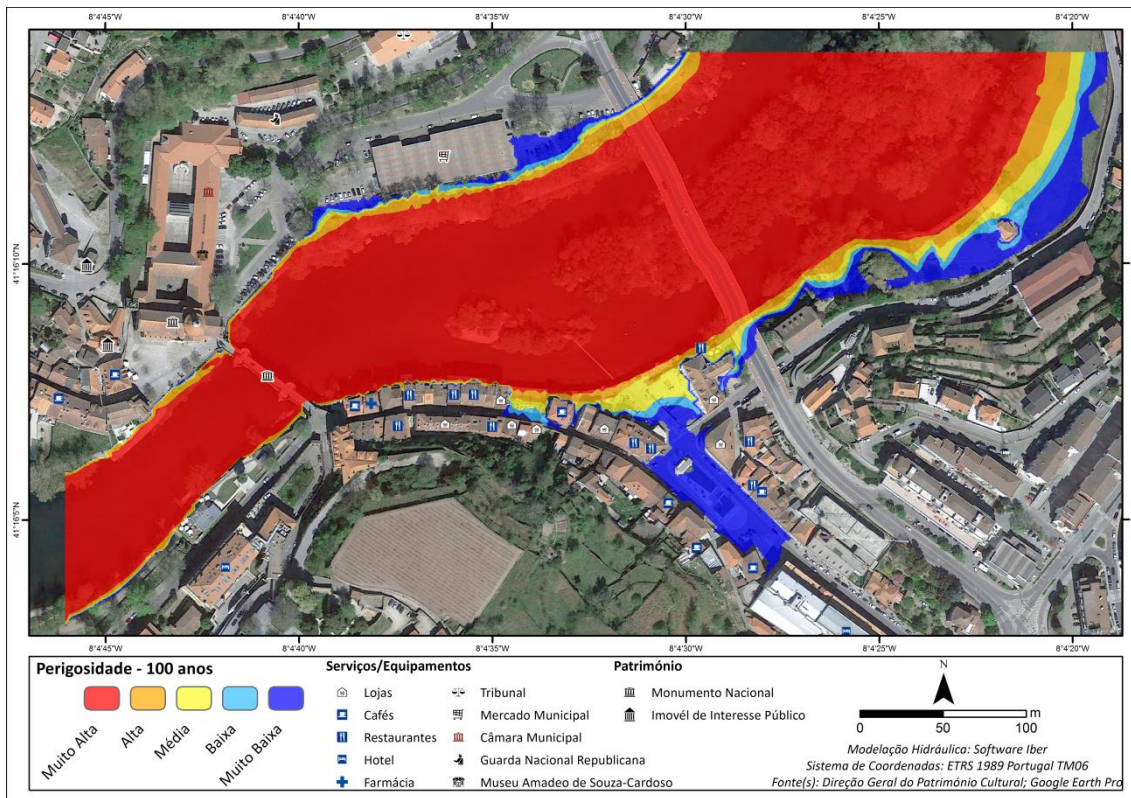


Figura 57 - Perigosidade a cheias segundo a metodologia da CNGRI.

Capítulo 7 - Conclusões

O presente capítulo explicita as principais conclusões obtidas durante a realização deste trabalho, assim como as perspetivas futuras ou aspetos que merecem uma investigação mais aprofundada e que neste estudo não foi possível aprofundar em função do tempo disponível.

7.1. Discussão/Considerações finais

Este trabalho iniciou-se com uma pesquisa bibliográfica através da qual se tomou consciência de que o caso das cheias, e consequentes inundações, na cidade de Amarante já tinha sido abordado e investigado por vários autores, numa tentativa de compreender o desenrolar destes processos. Todavia, apesar de se terem encontrado um total de 10 estudos mais recentes, realizados entre 1998 e 2014, que se dedicaram exclusivamente à análise das cheias nesta cidade, tornou-se evidente que ainda existia alguma margem para a concretização de abordagens diferentes e que persistiam dúvidas na sua análise. Para além disto, esta pesquisa de elementos bibliográficos revelou que, a nível nacional, as cheias em Amarante são consideradas com pouco significado, uma vez que a área ribeirinha da cidade não é reconhecida como uma zona crítica ou de elevada suscetibilidade à ocorrência de cheias. Contudo, visto que as cheias/inundações em Amarante constituem um processo que remonta a épocas muito antigas, e que apesar de tudo persistem na vida da cidade com regularidade, considerou-se fundamental relançar este assunto, num contexto em que se verifica uma tendência crescente para a produção de estudos relacionados com esta temática devido ao impulso proveniente da implementação, em Portugal, do disposto na Diretiva 2007/60/CE.

Assim, para uma melhor compreensão destes processos, procedeu-se à delimitação e caracterização de dois setores (sub-bacia hidrográfica do Tâmega e sub-bacia de Amarante) pertencentes à bacia hidrográfica do rio Tâmega, cujas características biofísicas se revelaram condicionantes significativas à geração e ocorrência de cheias em Amarante. Como resultado dessa análise verifica-se que a sub-bacia hidrográfica do rio Tâmega (BHT) e a respetiva sub-bacia de Amarante (BHA) se encontram inseridas numa das regiões mais pluviosas do nosso país, o Noroeste (NW) português alcançando, por isso, valores médios anuais de 1438 mm na BHT, e cerca de 1730 mm/ano na sub-bacia de Amarante. Na verdade, através da comparação de alguns

parâmetros morfométricos relativos a ambos os setores, foi possível compreender que o setor da sub-bacia de Amarante exerce uma influência determinante na geração de cheias em Amarante. Nesse sentido, percebeu-se ainda a influência que o uso/ocupação do solo tem no escoamento superficial, uma vez que o incremento da urbanização, e consequente expansão das áreas impermeabilizadas, alteram o comportamento do fluxo, potenciando a ocorrência de cheias (RAMOS, 2009). Na zona histórica e urbana da cidade de Amarante nota-se que a ocupação do solo evoluiu ao longo dos tempos de forma pouco ordenada, onde a urbanização das margens do rio, contribuiu para que este local apresente especiais vulnerabilidades face à ocorrência destes processos. É importante salientar que análises desta índole são poucas para a bacia hidrográfica do rio Tâmega sendo, contudo, fundamentais para uma melhor compreensão do processo das cheias.

Depois de se entenderem as características biofísicas das bacias de drenagem que mais potenciam a ocorrência destes desastres naturais, realizou-se uma análise das precipitações e do regime hidrológico. Nesse capítulo, os dados registados nas estações udográficas localizadas na bacia hidrográfica do rio Tâmega, evidenciaram características diferenciadoras na distribuição espacial da precipitação, visto que aquelas que se inserem na região da sub-bacia de Amarante apresentam valores mais elevados, podendo estar também relacionados com a orografia local associada à presença de uma significativa barreira de condensação (RIBEIRO, LAUTENSACH & DAVEAU, 1988). Quanto ao regime hidrológico, a sua compreensão está condicionada pela disponibilidade de registos nas estações hidrométricas. No entanto, foi possível aferir a relação existente entre as precipitações extremas e a obtenção de caudais elevados. Neste estudo destacam-se ainda as discrepâncias observadas nos caudais registados nas estações situadas a montante de Amarante, que apresentam valores naturalmente mais baixos, em comparação com os que se registam na única estação a jusante desta cidade. Esta situação reflete-se também no momento em que é atingido o pico de cheia, sendo que este chega mais rapidamente às estações localizadas a jusante de Amarante, do que àquelas que estão a montante, evidenciando que o comportamento das sub-bacias dos principais afluentes do rio Tâmega, exercem influência nos caudais observados em Amarante.

Posto isto, realizou-se a modelação hidráulica da área inundável, na passagem do rio Tâmega pelo centro histórico e urbano de Amarante, que constitui o objetivo primordial desta dissertação. Para a execução desta etapa recorreu-se ao *software* Iber, sendo necessário a preparação e cálculo de alguns dados de base como, por exemplo, os caudais de ponta de cheia para vários períodos de retorno e a criação de um detalhado Modelo Digital de Elevação. Neste sentido, dado que as estações disponíveis no SNIRH não possuem registos de caudais máximos para Amarante, recorreu-se à fórmula de *Giandotti* para determinar caudais de ponta de cheia, tendo em conta diferentes probabilidades de recorrência. A criação do MDE revelou-se um processo muito moroso, exigindo um minucioso e demorado trabalho de campo, crucial para a obtenção de diversas alturas relativas aos muros, margens, edifícios e outros elementos que condicionam a circulação do fluxo. No entanto, realça-se que estas medidas não foram obtidas através de ferramentas que proporcionam medições de alta precisão como é o caso da estação total ou um GPS diferencial, mas recorrendo-se a métodos mais rudimentares como a fita métrica e o fio de prumo. Estes elementos geométricos e de confinamento do escoamento foram posteriormente adicionados ao modelo para uma representação mais adequada das características do terreno, exercendo uma grande influência na correta delimitação dos perímetros de inundação e na determinação de parâmetros como a profundidade e a velocidade da água.

Os resultados da modelação hidráulica permitem concluir que episódios de cheia com uma menor probabilidade de recorrência (100 e 500 anos) são potencialmente mais perigosos, provocando elevados prejuízos, enquanto eventos recorrentes (10 anos) apenas originam constrangimentos em algumas atividades que se desenvolvem nesse local. A análise destes resultados permite entender quais são as áreas mais críticas à ocorrência destes eventos sendo que, no caso de Amarante, se destacam a Rua 31 de Janeiro e o Largo Conselheiro António Cândido (margem esquerda), que devido à grande concentração de atividades e serviços, fazem com que estas ruas sejam muito movimentadas podendo, em caso de cheia, acarretar elevados prejuízos e danos materiais. Para além disto, é importante reforçar a nítida influência que a ponte de São Gonçalo tem no agravamento destes processos, uma vez que atua como obstáculo à livre circulação do fluxo, levando a um aumento da altura da água a montante. Estando classificada como monumento nacional, desde 1910 (MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, COMÉRCIO E INDÚSTRIA, 1910), a ponte de São Gonçalo pode necessitar de uma monitorização estrutural, de modo a conservar a estrutura em condições de segurança,

adaptando-a a novos contextos, dado que no decorrer da cheia de 21 de março de 2001, esta sofreu danos num dos pilares centrais, chegando ao ponto das autoridades competentes ponderarem a destruição da mesma.

Assim, apesar dos resultados da modelação hidráulica serem aceitáveis, verifica-se a existência de uma lacuna em todas as simulações efetuadas, relacionado com o facto de um pequeno setor da Rua 31 de Janeiro não apresentar inundações, quando existem marcas de cheias históricas nesse local que mostram o inverso. Contudo, importa salientar que a modelação hidráulica é apenas uma aproximação à realidade, estando sujeita a falhas e representações menos precisas. Estas falhas podem estar também relacionadas com a existência de algumas imprecisões no MDE, juntamente com o problema da drenagem das águas pluviais que os modelos hidráulicos não captam na totalidade, aliando-se ainda o contributo de uma pequena linha de água encanada, a montante do Largo Conselheiro António Cândido, que provoca inundações urbanas. A este propósito, deve-se reforçar o impacto que a expansão das áreas urbanas tem na intensificação destes processos, particularmente, no aumento da área impermeável (pavimentos, ruas, passeios, rede pluvial, entre outros) que encaminha o fluxo para áreas deprimidas, levando à acumulação de escoamento excedentário (MARAFUZ, 2011).

A elaboração deste tipo de cartografia das áreas inundáveis é fundamental para um adequado ordenamento do território, auxiliando na tomada de decisão e na sugestão de medidas ao nível do planeamento de emergência. Estes resultados da modelação hidráulica, que permitem o conhecimento das zonas críticas à ocorrência de cheias, em termos de perigosidade, podem assumir-se como importantes instrumentos para trabalhos de revisão do Plano Diretor Municipal, no sentido de evitar a ocupação destes locais (JULIÃO *et al.*, 2009), que no caso de Amarante surgem mesmo a propósito, dado que o PDM se encontra em processo de revisão. Além disso, estes resultados podem alertar para a necessidade de no 2º ciclo de aplicação da Diretiva 2007/60/CE, se alargar o número de zonas críticas (22 zonas críticas) anteriormente identificadas em Portugal.

7.2. Perspetivas futuras

Após a realização desta dissertação, o novo contributo que traz para o estudo das cheias no centro urbano de Amarante não esgota o tema, existindo ainda margem para se desenvolverem novos trabalhos que aprofundem determinados aspetos ou que destaquem novos assuntos.

Neste sentido considera-se importante referir a influência que o aproveitamento hidroelétrico do rio Tâmega localizado no Torrão (1988), a jusante de Amarante, tem na ocorrência de cheias em Amarante, pois a população tende a afirmar que a frequência das cheias aumentou com a construção desta albufeira, devido à má gestão dos caudais (DELGADO, 2014). Destaca-se também, a propósito da construção das novas barragens no rio Tâmega, a montante de Amarante (“Fridão”, Gouvães, Daivões e Alto Tâmega), a discussão sobre o papel que estes empreendimentos hidroelétricos irão ter na regularização das cheias, sendo importante aprofundar a investigação desta temática.

Para além disto, considera-se essencial, na realização de futuros estudos sobre o tema, atribuir um maior enfoque ao problema das cheias urbanas, considerando-se também o contributo da drenagem pluvial, na modelação destes processos. Igualmente importante seria a complementaridade desta metodologia com outras para a definição de áreas inundáveis, bem como a utilização de diferentes *softwares* de modelação hidráulica que permitissem a comparação de resultados. A visualização em cenários 3D também ajudará a ter uma visão mais aproximada da realidade das cheias no tecido urbano, nas ruas e nos estabelecimentos que são afetados. Cremos que esta visualização será fundamental para se estimarem as perdas e os danos.

Ao nível dos impactos, a estimacão de perdas diretas e indiretas para os vários cenários de perigosidade será igualmente um aspeto da investigação científica aplicada a desenvolver, assim como o estudo da resiliência das populações, das instituições e das atividades económicas ao risco de cheias/inundações.

Referências Bibliográficas

- AEA (2005). *Alterações climáticas e cheias fluviais na Europa*. Briefing n.º 2005-01. Copenhagen, AEA.
- ANPC (2014). *Avaliação Nacional do Risco*. ANPC, 221 pp.
- APA (2012). *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Douro: Relatório de Base, Parte 2 - Caracterização e diagnóstico da região hidrográfica*, pp.5-147.
- APA (2015). *Plano de Gestão dos Riscos de Inundações. Região Hidrográfica 3 - Douro*. Lisboa, APA, 106 pp.
- APA, AQUALOGUS & ACTION MODULERS. (2014). *Elaboração de Cartografia Específica sobre Risco de Inundação para Portugal Continental*. 172 pp.
- Apel, H., Aronica, G. T., Kreibich, H. & Thieken, A. H. (2009). Flood risk analyses—how detailed do we need to be? *Natural Hazards*, 49(1), pp. 79-98.
- Arcement, G. J. & Schneider, V. R. (1989). *Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains*. U.S. Geological Survey, v.2339, 62 pp.
- Bateira, C., Gomes, A., Marafuz, I., Oliveira, A., Fernandes, J. & Sousa, A. (2015). Estudo para a identificação de áreas suscetíveis de serem afetadas por cheias urbanas na Cidade do Porto. Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 103 pp.
- Begum, S., Stive, M. & Hall, J. (2007). *Flood Risk Management in Europe - Innovation in Policy and Practice*. Springer, 534 pp.
- Bladé, E. & Cea, L. (2008). *Modelización matemática en lecho fijo del flujo en ríos. Modelos 1D y 2D en régimen permanente y variable*. Jornadas Técnicas Sobre Hidráulica Fluvial, 30 pp.
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J. & Coll, A. (2012). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30 (1), pp. 1-10.
- Brandão, C., Rodrigues, C. & Costa, J.P. (2004). *As Cheias em Portugal: Estar informado e preparado - Por um Mundo mais seguro no século XXI*. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, 25 pp.
- Brandão, C., Rodrigues, R. & Costa, J.P. (2001). *Análise de Fenómenos Extremos. Precipitações Intensas em Portugal Continental*. Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos. 64 pp.
- Brenner, C., Meisch, C., Apperl, B. & Schulz, K. (2016). Towards periodic and time-referenced flood risk assessment using airborne remote sensing. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 64, pp. 438-447.
- Cabezas, J. (1983). *Fundamentos Basicos de Hidraulica*, IICA Biblioteca Venezuela, 31 pp.
- Campos, A. (2015). *A cheia de Abril de 1962 na cidade de Vila do Conde: reconstrução hidro-histórica das áreas afetadas e avaliação da vulnerabilidade atual*. (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 120 pp.

- Chaudhry, M. Hanif. (2007). *Open-Channel Flow* (Second ed.). Springer, 523 pp.
- Chow, Ven Te. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill, Nova Iorque, 558 pp.
- Christofoletti, A. (1980). *Geomorfologia* (2º ed.). Editora Edgard Blucher Ltda, 189 pp.
- Costa, C. (2006). *A comunicação dos Risco Naturais. Reflexões em torno das inundações de 2000/2001 na cidade de Amarante*. (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 144 pp.
- Costa, da Teixeira & Lança, R. (2011). *Hidrologia de Superfície*. Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia - Universidade do Algarve. pp. 1-74.
- Costa, F. S. (1998). *A importância dos processos morfogenéticos no ordenamento urbano - O caso de Amarante*. (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 253 pp.
- Costa, F. S. (2002). *As grandes cheias do Tâmega em Amarante (o caso do período 1960-1986)*. 6º Congresso da Água, pp. 67-69.
- Costa, F. S. (2009a). *As grandes cheias de Amarante: fatalidade, aleatoriedade e incerteza*. II Congresso Histórico de Amarante, pp. 123-139.
- Costa, F. S. (2009b). O risco de inundação na cidade de Amarante (Norte de Portugal): contributo metodológico para o seu estudo. *Territorium*, 16, pp. 99-111.
- Costa, F. S., Alonso, J., Arnaud-Fassetta, G. & Marques, A. (2012). As grandes cheias de Ponte de Lima: uma abordagem metodológica à análise do risco de inundação na perspectiva da directiva relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundação. *Revista Geonorte*, pp. 487 - 500.
- Cunha, N. S., Magalhães, M. R., Domingos, T., Abreu, M.M. & Küpfer, C. (2017). The land morphology approach to flood risk mapping: An application to Portugal. *Journal of Environmental Management*, 193, pp. 172-187.
- Delgado, V. (2014). *A Perceção Social do Risco de Cheias em Amarante*. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 115 pp.
- DFCI (2012). *Plano Municipal de Defesa da Floresta contra Incêndios (PMDFCI) - Guia Técnico*. Autoridade Florestal Nacional, 90 pp.
- Di Baldassarre, G. (2012). *Floods in a Changing Climate: Inundation Modelling*. Cambridge University Press, 105 pp.
- EEA (2010). *Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe*. Technical report 13. European Environment Agency, 144 pp.
- EEA (2017). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016*. EEA Report No 1/2017. European Environment Agency, 419 pp.
- Gomes, S. A. L. & Costa, F. S. (2004). *As cheias urbanas em Amarante - o caso da cheia do rio Tâmega em 2001*. 7º Congresso da Água, 14 pp.
- Gonçalves, P. (2012). *A Delimitação de Perímetros de Inundação no Rio Leça – modelação hidráulica para duas áreas do concelho de Matosinhos*. (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 126 pp.
- Hamblin, W.K. & Christiansen, E.H. (2001). River Systems. *Earth's Dynamic Systems* (9ª ed.). Prentice Hall, New Jersey, pp. 284-321.
- Iber (2012). *Manual básico de usuario: Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y

- Marino; CEDEX; Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente; Flumen; CIMNE, 22 pp.
- Iber (2014). *Manual de referencia hidráulico: Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino; CEDEX; Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente; Flumen; CIMNE, 59 pp.
- IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, 1535 pp.
- Julião, R.P., Nery, F., Ribeiro, J. L., Branco, M. C. & Zêzere, J. L. (2009). *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal*. Autoridade Nacional de Protecção Civil, 91 pp.
- Kron, Wolfgang (2005). Flood Risk = Hazard • Values • Vulnerability. *Water International*, 30(1), pp. 58-68.
- Kundzewicz, Z.W., Mata, L. J., Arnell, N. W., Döll, P., Kabat, P., Jiménez, B., ... Shiklomanov, I. A. (2007). *Freshwater resources and their management*. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. v. d. Linden & C. E. Hanson. C. U. Press, 210 pp.
- Leal, M. (2011). *As Cheias Rápidas em Bacias Hidrográficas da AML Norte: Factores Condicionantes e Desencadeantes*. (Dissertação de Mestrado), Universidade de Lisboa - Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, 137 pp.
- Leandro, R. (2013). *Risco de cheias e inundações na cidade de Setúbal*. (Dissertação de Mestrado), Universidade de Lisboa - Instituto Superior de Educação e Ciências, 109 pp.
- Lencastre, A. & Franco, F. M. (2010). *Lições de Hidrologia* (3ª ed.). Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia, 451 pp.
- Lima, J., Lima, I., Martins, C., Mendes, M., Abreu, J. & Almeida, J. (2010). *Hidrologia urbana – Conceitos básicos*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos e Universidade de Coimbra, 187 pp.
- Lourenço, L. (1986). Rio Alva: estudo hidrogeomorfológico. *Cadernos de Geografia*, nº5, pp. 43-123.
- Marafuz, I. (2011). *Inundações Urbanas e Cheias Progressivas em Arouca. Casos de Estudo, Metodologias de Análise e Ordenamento do Território*. (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 136 pp.
- Marafuz, I., Adelino, R. & Gomes, A. (2014). Perigosidade a cheias no rio Uíma (Santa Maria da Feira, Portugal): ensaio metodológico de suporte à implementação da Diretiva 2007/60/CE. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.15, n.4, pp. 539-549.

- Martins, F. (2000). *Dimensionamento Hidrológico e Hidráulico de Passagens Inferiores Rodoviárias para Águas Pluviais*. (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 276 pp.
- Mills, Evan (2005). Insurance in a Climate of Change. *Science*, 309(5737), pp. 1040-1044.
- Ministério da Educação e Cultura. (1974). Decreto nº 735/74 de 21 de Dezembro. I Série, Nº297, pp. 1604-1606.
- Ministério das Obras Públicas, Comércio e Indústria. (1910). Decreto nº 136 de 23 de Junho de 1910, pp. 2163-2166.
- Moel, H., Jongman, B., Kreibich, H., Merz, B., Penning-Rowsell, E. & Ward, P. J. (2015). Flood risk assessments at different spatial scales. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(6), pp. 865-890.
- Moel, H., van Alphen, J. & Aerts, J. C. J. H. (2009). Flood maps in Europe - methods, availability and use. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9(2), pp. 289-301.
- Muñoz, Astrid (2012). *Comparación de los modelos hidráulicos unidimensional (HEC-RAS) y bidimensional (IBER) en el análisis del rompimiento de presas de materiales sueltos*. (Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Politécnica da Catalunha, 72 pp.
- NOAA (2010). *Flash Flood Early Warning System Reference Guide*. University Corporation for Atmospheric Research, 130 pp.
- Norén, Viveca, Hedelin, Beatrice, Nyberg, Lars & Bishop, Kevin (2016). Flood risk assessment – Practices in flood prone Swedish municipalities. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 18, pp. 206-217.
- Oliveira, A. (2015). *Inundações Urbanas no Município do Porto (1974 - 2014): Base de Dados Geográfica, Distribuição Espacial das Ocorrências e Modelação Hidráulica do Escoamento Superficial da Rua de Entrecampos*. (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 95 pp.
- Pedrosa, A. S. & Costa, F. S. (1999). As cheias do Rio Tâmega. O caso da área urbana de Amarante. *Territorium*, 6, pp. 49-60.
- Peixoto, A. (2013). *Inundações urbanas, cheias rápidas e galgamentos costeiros na cidade de Santa Cruz, Ilha da Madeira: áreas afetadas, frequência e avaliação da vulnerabilidade funcional*. (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 154 pp.
- Ramos, C. (1994). *Condições geomorfológicas e climáticas das cheias da Ribeira de Tera e do Rio Maior (bacia hidrográfica do Tejo)*. (Tese de Doutoramento), Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 520 pp.
- Ramos, C. (2005a). *Programa de Hidrogeografia*. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, 123 pp.
- Ramos, C. (2005b). Os Recursos Hídricos. In C. A. Medeiros (Ed.), *Geografia de Portugal* (Vol. 1 - O ambiente físico). Círculo de Leitores, pp. 388-415.
- Ramos, C. (2009). *Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território (Programa de unidade curricular do 2º ciclo)*. SLIF-6. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, 94 pp.

- Ramos, C. (2013). Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações. *E-LP Engineering And Technology Journal*, 4, pp. 11-16.
- Ramos, C. & Reis, E. (2001). As Cheias no Sul de Portugal em Diferentes Tipos de Bacias Hidrográficas. *Finisterra*, XXXVI (71), pp. 61-82.
- Reis, E. (2006). *As bacias hidrográficas das ribeiras da serra de Grândola: dinâmica hidrológica e factores condicionantes*. (Tese de Doutoramento), Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 703 pp.
- Ribeiro, O., Lautensach, H. & Daveau, S. (1988). *Geografia de Portugal II. O ritmo climático e a paisagem*. João Sá da Costa, pp. 465-623.
- Rodrigues, C. (2009). *Risco de Inundação Área das Termas de S. Pedro do Sul (1960-2001)*. (Dissertação de Mestrado), Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, 151 pp.
- Sá, L., Almeida, M., Freire, P. & Tavares, A. (2016). *Gestão do Risco de Inundação - Documento de Apoio a Boas Práticas*. ANPC/PNRRC, 44 pp.
- Santos, M. (2015). *Análise hidro-meteorológica de cheias na região Norte de Portugal*. (Tese de Doutoramento), Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, 419 pp.
- Santos, M., Hermenegildo, C., Soares, L. & Bateira, C. (2012). *Base de Dados DISASTER - Eventos Hidro-Geomorfológicos na Região Norte de Portugal de 1900 a 1950*. XIII Colóquio Ibérico de Geografia, pp. 980-989.
- 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, 145 pp.
- Tedim, F. & Carvalho, S. (2010). Flood management strategies in frequent and small scale events: lessons learned from Amarante (Portugal). *Quaestiones Geographicae*, 29 (3), pp. 69-84.
- Tedim, F., Ramos, A., Campos, P., Carvalho, S. & Ramalheira, D. (2010). *Cem anos de história: A frequência e a intensidade das cheias do rio Tâmega na cidade de Amarante (Portugal) aumentaram ao longo do século XX?* XII Colóquio Ibérico de Geografia, 23 pp.
- UE (2007). *Directiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2007 relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações*. (L-288). Jornal Oficial da União Europeia, pp. 27-34.
- UNISDR (2009). *Reducing Disaster Risks through Science: Issues and Actions*. Full report of the ISDR Scientific and Technical Committee, 23 pp.
- Velhas, E. (1991). A Bacia Hidrográfica do Rio Leça - Estudo Hidroclimatológico. *Revista da Faculdade de Letras - Geografia*, Vol. VH, pp.159 - 251.
- Velhas, E. (1997). As cheias na área urbana do Porto: risco, percepção e ajustamentos. *Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança*, N°4, pp. 49-62.
- Zêzere, J. L., Pereira, A. R. & Morgado, P. (2006). Perigos Naturais e Tecnológicos no Território de Portugal Continental. *Apontamentos de Geografia*, n°19, 17 pp.

Zêzere, J. L., Pereira, J. L., Tavares, A. O., Bateira, C., Trigo, R. H., Quaresma, I.,...
Verde, J. (2014). DISASTER: a GIS database on hydro-geomorphologic disasters
in Portugal. *Natural Hazards*, 72 (2), pp. 503-532.

Sítios Consultados

- Direção-Geral do Território:
http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/cartografia_tematica/corine_land_cover__clc_/ (Consultado a 23/11/2016)
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos: <http://snirh.pt/> (Várias consultas)
- Agência Portuguesa do Ambiente: <http://www.apambiente.pt/> (Várias consultas)
- Sistema Nacional de Informação de Ambiente:
<http://sniamb.apambiente.pt/Home/Default.htm> (Consultado a 22/11/2016)
- Caderno Técnicos Prociv (ANPC):
<http://www.segurancaonline.com/gca/?id=948> (Consultado a 24/11/2016)
- National Oceanic Atmospheric Administration: <http://www.noaa.gov/>
(Consultado a 28/11/2016)
- Agência Europeia do Ambiente: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/clc-2006-vector-data-version-2> (Consultado a 23/11/2016)
- Dartmouth Flood Observatory: <http://floodobservatory.colorado.edu/>
(Consultado a 25/11/2016)
- Agencia Estatal de Meteorología:
<http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos> (Consultado a 13/12/2016)
- Instituto Geológico y Minero de España:
<http://info.igme.es/cartografiadigital/portada> (Consultado a 16/11/2016)
- Instituto Geográfico Nacional: <http://www.02.ign.es/espmap/> (Consultado a 14/12/2016)
- Earth Explorer: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Consultado a 06/11/2016)
- Copernicus: <http://land.copernicus.eu/> (Consultado a 12/12/2016)
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera: <http://www.ipma.pt/pt/index.html>
(Consultado a 03/01/2017)
- Autoridade Nacional de Proteção Civil: <http://www.prociv.pt/pt-pt/Paginas/default.aspx> (Consultado a 13/02/2017)
- Sistema de Informação para o Património Arquitetónico:
<http://www.monumentos.pt> (Consultado a 29/05/2017)
- Instituto Geográfico Português:
<http://www.igeo.pt/DadosAbertos/Listagem.aspx> (Consultado a 12/06/2017)

- Direção-Geral do Património Cultural:
<http://www.patrimoniocultural.gov.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/pesquisa-do-patrimonio/classificado-ou-em-vias-de-classificacao/geral/view/70622> (29/05/2017)
- Geoportal da DGT: <http://mapas.dgterritorio.pt/geoportal/catalogo.html> (12/06/2017)
- Modelo Iber: <http://www.iberaula.es> (Várias consultas)

Anexos

Anexo 1 - Precipitação mensal (mm), entre 1948 e 1994, nas estações consideradas neste trabalho (SNIRH).

Amarante													
Ano Hid.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Total
1947/48	100,8	70,8	157,2	412,9	34,0	66,4	69,4	90,4	45,2	0,0	31,0	3,4	1081,5
1948/49	68,0	32,6	216,8	64,6	19,6	23,2	39,9	16,4	7,6	11,0	0,8	113,0	613,5
1949/50	55,2	148,4	68,0	23,8	185,4	91,8	17,4	150,8	65,8	35,0	9,6	34,0	885,2
1950/51	39,8	168,6	125,0	183,8	270,0	190,4	42,8	141,0	53,2	3,8	13,6	31,0	1263,0
1951/52	78,4	271,8	78,4	62,2	20,0	177,8	85,2	146,2	55,4	2,1	20,2	37,1	1034,8
1952/53	79,2	161,2	180,7	15,5	27,6	16,4	95,6	49,8	9,3	2,7	13,4	59,2	710,6
1953/54	105,0	104,6	31,5	68,7	95,0	226,9	46,3	42,6	43,5	0,0	43,2	4,3	811,6
1954/55	61,1	161,8	112,1	424,7	217,6	76,6	41,7	41,1	82,5	0,0	0,4	37,2	1256,8
1955/56	28,3	308,6	229,8	160,5	40,8	267,0	81,5	133,8	25,7	39,6	56,8	98,5	1470,9
1956/57	48,8	37,2	129,7	39,6	196,5	119,8	29,9	89,8	44,2	4,6	12,4	20,0	772,5
1957/58	29,1	73,7	123,6	124,3	115,1	223,0	72,9	73,0	111,6	15,2	34,5	45,7	1041,7
1958/59	82,6	18,7	316,2	148,7	34,0	192,7	158,8	87,3	37,1	3,2	37,2	109,1	1225,6
1959/60	117,4	199,4	404,5	135,3	324,9	255,2	65,3	94,0	16,0	31,5	57,7	125,7	1826,9
1960/61	423,0	375,0	210,3	146,7	42,4	12,4	191,7	102,0	50,7	38,1	2,5	48,3	1643,1
1961/62	154,4	152,2	390,6	149,5	36,7	266,4	111,8	24,8	34,8	22,8	0,0	44,2	1388,2
1962/63	63,4	89,4	76,7	265,6	302,6	224,2	129,6	49,2	69,5	1,1	8,4	38,0	1317,7
1963/64	94,3	472,1	180,6	10,9	297,5	236,2	74,1	18,3	104,7	11,3	10,1	37,2	1547,3
1964/65	126,1	14,7	61,2	175,7	45,1	234,0	25,7	33,0	25,0	17,4	10,9	191,3	960,1
1965/66	159,1	329,6	259,1	347,6	493,2	0,8	284,9	41,5	90,4	8,2	34,5	30,4	2079,3
1966/67	257,0	107,9	51,0	131,2	126,1	119,8	25,3	144,0	7,8	0,0	43,6	46,5	1060,2
1967/68	97,8	131,0	20,2	14,4	319,9	67,3	160,2	119,9	7,5	3,3	15,0	122,8	1079,3
1968/69	85,7	227,7	261,8	268,7	198,3	301,4	89,2	233,8	76,2	0,0	1,9	93,2	1837,9
1969/70	79,7	143,4	93,0	449,8	75,2	40,7	15,6	144,0	62,2	12,0	16,3	14,8	1146,7
1970/71	14,3	196,1	33,4	282,1	40,8	107,9	153,8	112,2	118,4	99,9	38,5	8,4	1205,8
1971/72	57,4	32,6	50,8	170,5	327,4	135,8	39,6	50,6	45,9	38,3	23,9	72,2	1045,0
1972/73	156,4	115,0	161,2	173,3	31,3	39,0	51,1	180,1	42,3	35,0	2,0	96,3	1083,0
1973/74	136,1	32,7	76,6	346,7	221,3	75,7	51,8	91,9	273,4	0,7	0,0	46,5	1353,4
1974/75	8,8	197,0	29,1	158,7	141,5	168,5	31,5	89,3	14,2	1,8	1,0	100,8	942,2
1975/76	70,6	88,9	35,5	77,4	85,9	75,7	63,6	2,4	11,8	25,1	93,7	105,1	735,7
1976/77	329,4	153,0	245,6	336,5	354,5	131,2	54,1	60,0	82,4	25,6	37,9	24,6	1834,8
1977/78	182,4	93,4	311,9	149,2	397,3	151,3	137,1	73,0	40,9	0,0	0,0	17,2	1553,7
1978/79	34,0	23,8	655,3	160,9	418,1	256,3	124,2	99,5	1,3	54,2	1,1	27,6	1856,3
1979/80	225,5	82,0	144,9	129,7	87,7	151,9	54,2	75,0	47,6	9,3	19,0	54,2	1081,0
1980/81	83,1	147,4	44,3	2,3	80,9	143,5	106,7	121,1	31,6	4,5	9,4	162,2	937,0
1981/82	176,6	0,0	494,8	89,8	99,5	7,3	47,0	60,7	54,7	11,0	21,6	94,7	1157,7
1982/83	92,5	190,0	171,2	21,5	128,4	16,4	268,9	281,6	40,4	19,8	45,5	12,7	1288,9
1983/84	41,2	180,7	276,2	188,1	39,7	130,8	124,4	99,6	92,2	10,7	20,8	49,3	1253,7
1984/85	194,1	369,1	123,7	212,2	211,0	133,7	138,2	72,1	43,1	23,5	3,7	0,6	1525,0
1985/86	27,7	166,8	272,2	163,3	257,5	52,7	99,7	24,4	30,6	0,2	29,0	144,2	1268,3
1986/87	61,6	95,7	97,9	115,2	153,6	62,2	151,9	14,2	23,8	7,6	20,0	56,6	860,3
1987/88	294,9	33,3	173,9	245,9	118,9	12,6	125,4	102,7	216,1	53,7	0,0	15,2	1392,6
1988/89	160,9	37,3	37,6	20,6	153,7	48,4	109,9	60,0	37,7	0,2	13,2	2,0	681,5
1989/90	91,3	168,1	331,6	131,5	61,1	14,8	63,3	20,7	42,4	0,0	5,3	33,6	963,7
1990/91	251,1	100,0	48,7	136,5	148,7	209,9	34,8	16,7	35,1	19,4	15,9	76,4	1093,2
1991/92	96,8	210,0	46,3	82,5	23,2	59,2	74,1	101,6	52,3	1,2	58,7	64,5	870,4
1992/93	166,7	71,8	229,9	48,0	3,8	32,2	192,2	150,9	61,2	3,0	6,3	145,8	1111,8
1993/94	404,9	138,9	57,2	289,1	157,9	6,0	60,6	193,6	14,6	5,7	37,1	60,6	1426,2
1994/95	97,4	146,2	135,6	207,3	173,0	37,9	27,4	104,0	14,2	23,7	4,4	85,0	1056,1
Média	122,7	143,1	168,0	161,7	154,9	118,6	90,4	90,1	54,0	15,4	20,5	61,3	1200,7

Cabeceiras de Basto

Ano Hid.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Total
1947/48	88,8	92,2	246,0	477,6	79,0	118,4	49,6	164,4	0,0	0,0	39,8	9,0	1364,8
1948/49	90,8	70,4	274,2	64,0	35,0	51,0	47,4	39,2	46,6	11,6	0,6	168,4	899,2
1949/50	101,2	234,4	105,4	35,4	278,6	108,8	19,8	176,2	106,2	9,0	4,4	33,0	1212,4
1950/51	55,0	266,0	131,6	222,8	391,6	251,5	49,4	125,4	66,6	43,6	29,8	24,6	1657,9
1951/52	96,8	304,0	104,0	69,0	40,2	186,6	72,4	126,6	23,2	8,4	32,4	8,7	1072,3
1952/53	88,2	255,2	254,2	13,4	37,0	9,6	97,4	30,4	10,8	2,8	14,0	105,8	918,8
1953/54	117,4	152,2	52,4	76,2	105,2	301,0	61,8	62,2	55,4	0,0	45,4	0,0	1029,2
1954/55	84,6	249,6	85,2	516,8	145,4	49,4	27,6	68,0	76,2	0,0	0,0	0,0	1302,8
1955/56	31,0	282,6	314,6	185,0	31,6	326,4	156,0	133,8	15,2	45,0	45,4	137,0	1703,6
1956/57	47,4	30,2	118,6	66,8	323,2	157,0	13,6	75,6	33,4	9,2	24,6	9,0	908,6
1957/58	9,0	143,0	105,6	175,8	135,8	245,2	43,0	94,6	133,0	25,8	60,5	48,8	1220,1
1958/59	110,0	10,2	407,0	213,4	34,8	223,2	163,8	37,0	42,2	0,0	19,4	61,0	1322,0
1959/60	104,2	208,4	439,4	126,2	193,4	148,6	5,8	79,0	39,8	17,8	78,1	130,8	1571,5
1960/61	190,0	108,8	55,4	80,8	57,1	15,0	292,7	92,3	35,8	39,7	5,2	53,4	1026,2
1961/62	215,2	171,8	420,6	199,5	33,9	452,1	209,1	24,7	15,0	20,4	0,7	70,6	1833,6
1962/63	72,7	96,8	67,8	302,9	361,4	303,6	185,4	42,2	108,7	15,4	8,7	29,7	1595,3
1963/64	112,3	515,4	215,2	28,3	414,4	291,9	68,9	15,0	139,5	25,3	5,3	59,3	1890,8
1964/65	133,1	24,1	70,8	290,2	74,9	313,3	23,5	37,0	30,6	3,0	5,1	255,1	1260,7
1965/66	147,4	341,6	308,7	612,4	711,2	11,0	397,4	44,6	103,5	3,1	29,4	51,4	2761,7
1966/67	322,7	179,6	88,7	169,1	178,8	177,9	17,9	183,4	7,1	0,0	44,7	48,3	1418,2
1967/68	88,8	129,0	27,8	22,6	442,4	82,1	237,9	164,5	17,2	4,7	60,1	167,1	1444,2
1968/69	114,9	223,2	345,4	405,6	210,2	474,1	125,4	306,0	96,6	13,5	3,2	90,0	2408,1
1969/70	87,6	163,0	134,8	677,6	91,7	22,1	20,2	180,2	84,3	9,9	13,3	6,0	1490,7
1970/71	12,9	267,9	40,0	369,7	57,6	125,4	135,5	155,1	128,3	133,1	48,2	7,7	1481,4
1971/72	52,2	41,8	68,4	237,0	371,7	179,9	36,7	60,6	35,5	52,7	28,5	55,9	1220,9
1972/73	180,1	185,1	251,8	303,5	37,9	31,7	58,4	297,8	70,6	12,5	30,5	78,7	1538,6
1973/74	166,7	25,0	146,8	459,4	251,9	55,6	25,0	85,7	310,4	0,0	1,0	45,3	1572,8
1974/75	0,0	282,1	45,7	204,7	82,0	192,6	27,1	24,5	0,0	0,0	26,6	146,9	1032,2
1975/76	112,7	119,6	51,5	95,7	68,2	44,8	53,8	3,9	10,2	41,1	100,6	68,6	770,7
1976/77	351,2	180,9	300,4	278,7	558,9	156,8	82,0	69,9	101,4	7,9	13,8	0,0	2101,9
1977/78	183,0	100,5	414,8	247,5	533,4	149,5	137,0	45,5	49,5	0,0	0,0	14,5	1875,2
1978/79	51,6	51,0	853,6	190,5	549,9	347,4	143,7	112,0	0,0	79,5	0,9	34,5	2414,6
1979/80	279,5	98,3	199,5	76,0	136,7	212,0	73,5	93,6	79,1	7,0	0,0	39,5	1294,7
1980/81	148,0	134,5	36,8	0,0	80,1	175,5	43,9	130,0	34,0	0,5	3,5	78,4	865,2
1981/82	169,7	0,0	553,8	105,8	101,2	7,0	6,5	44,6	38,0	0,0	9,9	101,0	1137,5
1982/83	125,5	217,8	210,4	25,5	182,0	3,0	363,5	217,5	13,0	24,3	74,4	1,9	1458,8
1983/84	9,0	276,0	103,8	240,0	27,5	224,0	90,5	109,5	67,0	26,0	15,6	29,0	1217,9
1984/85	189,0	393,5	141,0	253,3	256,0	127,0	94,0	46,0	82,0	8,9	1,5	0,9	1593,1
1985/86	24,4	230,0	291,3	191,5	295,5	33,1	142,0	36,0	31,0	0,7	22,2	131,3	1429,0
1986/87	57,0	114,3	85,9	176,2	196,5	79,0	178,0	8,0	23,6	20,0	42,5	78,0	1059,0
1987/88	416,0	48,5	255,5	383,6	186,3	8,0	172,0	152,5	172,5	56,0	0,0	8,0	1858,9
1988/89	144,5	114,0	43,0	32,0	194,1	72,5	158,5	48,0	76,0	0,0	10,0	2,0	894,6
1989/90	92,2	272,3	501,0	155,5	93,0	9,0	57,0	31,0	10,5	6,0	15,0	7,0	1249,5
1990/91	362,9	101,5	88,6	314,5	174,5	264,9	66,1	13,5	28,5	13,5	30,0	101,5	1560,0
1991/92	111,1	314,7	42,2	93,7	45,5	30,9	118,5	107,0	44,0	10,0	59,4	59,0	1036,0
1992/93	186,7	77,7	284,8	60,5	18,0	51,9	208,7	190,5	49,5	0,8	6,0	173,0	1308,1
1993/94	478,3	166,4	94,4	374,7	213,6	7,3	76,8	263,1	18,0	4,5	43,3	85,1	1825,5
1994/95	149,1	237,8	221,5	268,5	219,3	50,5	32,4	121,4	48,5	52,3	9,1	105,2	1515,6
Média	136,7	173,0	202,1	211,9	194,5	145,0	103,5	99,4	58,5	18,0	24,2	62,9	1429,7

*O Risco de Cheias na Cidade de Amarante:
Cartografia de áreas inundáveis recorrendo à modelação hidráulica*

Candemil

Ano Hid.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Total
1947/48	116,3	116,6	236,4	537,0	63,8	103,0	79,6	114,6	7,4	1,7	60,1	11,4	1447,9
1948/49	78,3	42,2	299,3	88,5	27,0	42,8	51,2	31,5	26,3	21,1	3,4	127,4	839,0
1949/50	70,2	216,3	81,8	34,3	272,9	107,9	34,5	174,3	55,2	44,1	14,0	23,7	1129,2
1950/51	71,1	253,8	150,5	224,9	365,9	244,4	65,1	181,8	66,9	13,2	27,5	34,5	1699,6
1951/52	134,1	369,5	138,2	109,8	74,6	207,8	93,4	190,4	82,4	11,0	37,9	71,0	1520,1
1952/53	147,3	251,9	222,7	18,6	33,2	1,0	126,8	51,2	37,4	15,6	20,8	69,6	996,1
1953/54	144,6	121,8	54,4	84,8	149,0	370,0	62,0	132,0	138,6	12,2	61,0	9,4	1339,8
1954/55	95,4	206,8	123,3	611,4	307,8	79,0	34,6	85,0	101,8	1,4	7,4	43,4	1697,3
1955/56	46,9	324,9	314,4	223,9	63,2	319,6	149,8	157,6	32,8	59,0	82,4	107,0	1881,5
1956/57	54,8	39,3	136,6	42,9	300,4	157,6	55,8	133,6	65,5	9,0	27,4	46,8	1069,7
1957/58	24,7	107,4	211,7	209,1	170,7	289,1	79,8	107,5	113,7	35,0	47,2	69,9	1465,8
1958/59	116,7	15,8	379,7	277,3	57,3	282,6	230,0	99,5	36,2	0,0	53,8	180,6	1729,5
1959/60	151,1	321,4	533,0	178,2	427,2	305,4	112,0	96,6	32,4	11,1	70,7	133,5	2372,6
1960/61	473,4	413,9	246,8	223,2	69,3	17,8	272,5	85,0	66,5	29,1	6,3	78,0	1981,8
1961/62	153,5	190,7	389,8	214,5	32,6	341,7	142,5	43,8	46,0	32,8	0,0	49,6	1637,5
1962/63	68,9	76,0	95,8	283,2	382,6	260,0	166,5	53,2	103,1	6,6	5,1	57,9	1558,9
1963/64	127,0	601,2	217,5	14,1	330,7	284,8	81,4	61,3	108,6	18,4	2,3	39,0	1886,3
1964/65	115,8	26,4	86,9	217,9	82,2	275,5	33,9	48,0	25,1	7,8	9,0	239,0	1167,5
1965/66	127,1	371,7	351,7	465,5	561,4	1,5	298,7	46,8	123,0	15,2	51,7	55,6	2469,9
1966/67	325,9	150,7	77,4	157,3	136,7	165,5	46,0	204,4	17,6	0,0	47,1	51,4	1380,0
1967/68	118,3	171,7	31,5	22,5	395,4	96,5	191,8	131,1	11,3	2,2	28,2	194,9	1395,4
1968/69	124,6	289,0	281,1	330,2	264,1	418,6	145,3	279,8	124,1	0,0	1,2	231,2	2489,2
1969/70	93,0	204,7	190,9	556,2	132,4	70,9	28,3	264,1	83,9	22,5	30,2	23,4	1700,5
1970/71	17,3	292,5	49,1	322,8	70,9	176,4	196,8	184,3	179,2	87,8	50,8	4,0	1631,9
1971/72	58,3	60,0	82,3	236,1	432,8	173,8	54,3	65,4	41,0	29,3	34,8	92,3	1360,4
1972/73	157,8	141,4	199,7	233,5	59,7	50,3	46,6	250,9	72,9	34,4	18,5	88,8	1354,5
1973/74	190,2	40,1	155,3	394,8	255,9	100,8	62,6	120,4	290,3	5,1	0,0	74,7	1690,2
1974/75	18,6	251,4	32,0	188,9	160,5	211,0	68,6	61,8	14,8	0,0	0,0	88,1	1095,7
1975/76	125,1	134,5	42,3	100,5	81,8	72,6	66,9	1,3	22,5	53,1	61,9	75,4	837,9
1976/77	291,0	167,7	215,3	369,7	353,7	170,3	82,2	87,9	112,9	41,2	42,0	22,5	1956,4
1977/78	184,6	100,7	314,6	187,1	66,2	18,4	145,8	72,0	53,8	0,0	0,0	10,5	1153,7
1978/79	29,8	27,2	601,3	117,4	416,0	197,7	125,4	64,3	0,2	73,8	0,7	0,9	1654,7
1979/80	207,0	72,7	144,3	64,9	62,8	69,3	52,2	55,6	34,9	11,1	1,3	42,1	818,2
1980/81	64,3	94,5	52,7	0,4	43,0	105,2	54,5	104,5	30,7	0,0	0,5	63,8	614,1
1981/82	102,9	0,0	558,1	33,8	55,1	21,4	23,1	33,4	22,3	1,3	11,2	93,1	955,7
1982/83	73,5	154,2	135,2	10,8	83,7	1,6	249,2	206,4	30,2	20,4	1,6	1,0	967,8
1983/84	32,3	93,7	253,3	137,5	23,2	106,1	83,3	85,1	94,1	0,5	11,1	11,8	932,0
1984/85	125,8	178,9	65,1	126,4	156,0	94,5	113,9	43,1	21,8	20,3	0,2	0,0	946,0
1985/86	20,5	103,7	204,9	117,4	205,7	12,9	44,0	12,6	11,4	0,0	1,5	34,2	768,8
1986/87	11,9	63,0	63,4	74,0	125,6	21,8	75,2	30,3	1,6	1,2	11,8	62,5	542,3
1987/88	186,6	20,9	144,6	147,2	93,8	1,2	83,9	75,5	106,6	13,7	0,0	20,1	894,1
1988/89	95,2	2,3	40,9	21,5	143,8	32,5	95,7	32,6	40,4	0,0	31,2	0,4	536,5
1989/90	61,6	135,5	265,6	113,0	42,9	1,3	24,3	20,7	12,5	0,5	0,4	10,6	688,9
1990/91	155,8	62,3	53,3	83,1	115,2	214,3	11,8	2,1	21,8	1,6	0,7	54,3	776,3
1991/92	53,8	133,4	30,5	91,1	20,9	51,1	62,0	72,1	12,9	0,5	51,8	31,0	611,1
1992/93	133,9	51,8	213,4	40,7	0,9	1,7	175,5	126,2	15,6	0,1	0,7	106,2	866,7
1993/94	366,1	94,2	25,5	254,2	105,5	0,0	52,6	163,6	0,7	0,0	12,4	23,4	1098,2
1994/95	93,0	141,8	122,1	189,0	74,8	70,9	21,6	103,0	51,2	11,6	0,0	93,0	972,0
Média	121,6	156,3	185,8	182,9	165,6	133,8	96,9	101,0	58,4	16,2	21,7	63,6	1303,7

*O Risco de Cheias na Cidade de Amarante:
Cartografia de áreas inundáveis recorrendo à modelação hidráulica*

Cavez													
Ano Hid.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Total
1947/48	71,6	83,3	227,0	444,4	59,8	81,8	61,3	125,2	15,6	0,0	34,1	1,4	1205,5
1948/49	81,8	60,5	283,2	64,6	21,5	47,6	40,4	36,4	41,8	15,1	6,2	150,4	849,5
1949/50	110,8	208,9	83,6	33,3	220,2	99,5	14,4	206,1	123,1	12,1	6,8	21,4	1140,2
1950/51	43,4	223,3	120,0	204,7	332,6	203,9	49,4	132,3	50,2	16,0	27,8	29,8	1433,4
1951/52	102,8	277,7	74,6	60,2	26,6	194,0	74,1	129,2	64,6	3,4	51,8	38,1	1097,1
1952/53	106,8	230,2	208,5	11,6	36,3	12,8	110,7	56,0	20,0	8,0	15,1	84,7	900,7
1953/54	118,1	135,6	35,2	71,3	111,2	241,1	75,1	74,6	40,9	0,0	44,8	6,3	954,2
1954/55	79,2	240,6	81,6	495,6	218,0	76,4	36,8	78,8	96,5	0,0	17,0	10,2	1430,7
1955/56	49,0	350,9	315,4	208,0	39,6	326,9	160,2	129,6	43,6	44,8	46,8	124,0	1838,8
1956/57	53,4	33,0	122,8	60,4	300,2	167,2	17,7	85,6	95,8	13,0	17,4	34,2	1000,7
1957/58	17,9	141,3	120,6	194,5	149,4	323,6	101,5	91,7	146,6	27,2	58,8	47,8	1420,9
1958/59	87,4	16,4	433,0	187,1	41,7	235,8	184,8	86,7	50,0	3,3	70,8	116,3	1513,3
1959/60	152,8	281,0	530,3	197,6	366,1	293,8	86,0	109,9	21,4	5,2	67,4	130,8	2242,3
1960/61	496,4	384,2	250,2	200,1	91,8	9,0	254,4	91,4	36,0	43,8	7,4	42,8	1907,5
1961/62	211,5	143,6	421,8	190,0	24,8	382,4	173,6	26,0	15,2	15,8	0,0	64,0	1668,7
1962/63	62,2	83,0	73,6	280,2	372,0	294,0	182,4	59,6	99,4	29,0	8,6	33,4	1577,4
1963/64	124,2	541,0	201,2	29,4	403,0	308,4	73,8	47,6	220,0	13,2	4,0	70,2	2036,0
1964/65	124,0	15,2	56,2	249,2	55,2	319,0	12,6	43,0	25,6	2,0	3,2	226,8	1132,0
1965/66	129,8	304,0	224,8	325,2	575,8	1,0	367,6	36,8	166,4	2,0	39,4	54,8	2227,6
1966/67	273,1	122,7	61,2	135,9	145,1	135,8	27,3	169,2	8,2	0,0	38,2	49,6	1166,3
1967/68	83,4	97,9	19,9	17,5	361,7	62,8	214,8	114,9	18,4	5,6	38,1	121,5	1156,5
1968/69	100,2	214,1	253,6	338,3	199,6	320,6	107,1	262,7	88,5	0,0	2,0	135,0	2021,7
1969/70	80,6	149,7	118,7	516,6	65,9	28,2	25,9	158,8	56,5	4,7	21,0	14,7	1241,3
1970/71	14,0	204,2	37,2	293,7	29,4	109,9	124,5	136,0	108,5	100,2	32,9	9,2	1199,7
1971/72	59,8	16,6	65,5	202,6	319,2	136,1	29,8	56,0	53,6	35,5	87,9	69,2	1131,8
1972/73	131,8	131,6	200,4	194,0	38,3	32,8	48,8	258,8	43,1	25,9	22,7	60,5	1188,7
1973/74	165,6	36,6	119,5	381,2	215,3	72,7	29,4	75,2	269,7	0,0	5,5	54,8	1425,5
1974/75	13,5	248,2	28,6	142,1	133,7	207,1	40,5	48,4	7,0	4,2	0,0	166,9	1040,2
1975/76	127,2	120,6	64,2	98,6	82,0	80,5	59,7	5,0	38,2	25,4	151,5	100,3	953,2
1976/77	312,0	169,7	280,7	358,5	440,2	161,6	78,6	85,5	105,4	16,7	23,4	39,6	2071,9
1977/78	166,0	88,1	398,6	199,1	532,4	167,0	125,7	85,9	46,2	0,0	0,0	11,4	1820,4
1978/79	50,3	32,4	708,6	170,7	421,9	241,9	132,7	114,7	10,9	69,8	0,4	31,6	1985,9
1979/80	244,5	91,7	166,1	105,6	116,3	165,2	67,0	103,5	62,4	21,7	11,7	53,5	1209,2
1980/81	81,4	145,2	41,7	3,9	101,2	153,7	89,0	137,2	42,1	18,0	9,2	164,4	987,0
1981/82	179,1	0,2	527,5	110,9	100,8	13,1	45,0	76,7	83,2	7,9	19,0	157,4	1320,8
1982/83	107,3	175,0	167,0	18,2	142,8	15,5	321,8	225,4	25,2	42,4	60,3	10,1	1311,0
1983/84	32,0	233,1	272,8	205,5	32,2	158,8	141,5	108,6	106,2	24,3	28,4	40,9	1384,3
1984/85	224,6	377,3	128,6	244,3	238,2	112,5	94,7	77,3	55,3	11,9	4,1	1,9	1570,7
1985/86	20,0	216,9	196,4	182,3	303,6	46,4	103,3	24,5	28,0	0,0	6,5	118,5	1246,4
1986/87	49,1	103,1	95,7	160,5	177,5	70,7	179,5	13,8	20,7	24,2	27,5	84,0	1006,3
1987/88	347,1	22,5	150,5	262,4	179,1	8,0	137,8	122,0	124,8	70,3	0,0	20,0	1444,5
1988/89	141,3	51,2	29,4	26,8	142,8	32,7	133,7	71,4	33,1	0,0	5,4	3,8	671,6
1989/90	54,8	254,4	427,2	136,8	92,8	0,9	48,2	17,4	5,5	6,5	4,1	48,8	1097,4
1990/91	275,4	86,0	105,0	158,0	167,3	184,2	32,3	26,7	42,1	28,0	14,3	70,0	1189,3
1991/92	116,8	240,8	35,9	87,5	34,0	53,3	93,1	137,2	31,8	7,5	58,2	49,7	945,8
1992/93	160,6	72,6	229,8	42,0	2,4	30,0	176,7	171,5	60,1	1,5	10,8	128,8	1086,8
1993/94	378,2	141,2	84,2	279,6	150,1	2,2	64,0	235,5	21,6	7,5	42,9	61,4	1468,4
1994/95	134,9	215,7	149,8	227,5	183,5	40,8	36,2	104,6	47,3	40,8	7,0	93,3	1281,4
Média	132,2	162,8	188,1	183,5	179,1	134,7	101,8	101,5	62,8	17,8	26,3	67,9	1358,3

*O Risco de Cheias na Cidade de Amarante:
Cartografia de áreas inundáveis recorrendo à modelação hidráulica*

Boticas

Ano Hid.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Total
1947/48	47,8	37,2	139,6	415,2	62,0	67,6	38,8	158,8	2,4	0,0	40,0	0,0	1009,4
1948/49	48,4	33,6	283,0	54,2	23,2	27,4	57,0	20,8	4,8	34,8	1,6	196,8	785,6
1949/50	73,0	111,2	130,8	30,4	294,8	96,4	0,0	162,8	84,8	18,8	8,4	9,0	1020,4
1950/51	40,4	195,8	80,2	139,8	265,2	239,4	59,8	126,8	42,6	33,4	25,8	18,4	1267,6
1951/52	79,4	325,4	61,4	23,4	10,6	203,8	92,8	134,0	54,4	9,6	14,1	27,2	1036,1
1952/53	72,0	258,4	184,8	15,9	13,8	13,8	74,8	34,3	44,8	2,9	1,2	52,5	769,2
1953/54	102,2	113,7	48,9	35,8	25,8	179,4	59,4	47,6	41,1	0,0	18,9	3,7	676,5
1954/55	42,5	232,6	70,7	395,3	237,3	110,1	65,8	57,0	67,8	0,6	30,0	25,9	1335,6
1955/56	53,5	365,2	312,2	230,1	71,4	318,1	218,1	144,3	21,6	11,6	19,1	135,5	1900,7
1956/57	59,1	41,4	126,1	40,0	305,3	178,1	7,6	49,8	21,0	11,2	12,2	24,3	876,1
1957/58	11,6	134,3	150,5	184,2	172,6	285,0	110,1	76,9	147,7	17,1	34,2	33,1	1357,3
1958/59	81,6	32,2	468,1	157,9	64,4	229,1	201,4	81,0	25,4	12,0	31,4	132,6	1517,1
1959/60	125,9	220,1	420,9	236,1	425,7	277,5	90,2	107,3	12,2	16,9	53,9	69,4	2056,1
1960/61	397,4	315,6	161,2	141,3	86,9	13,6	157,1	74,1	42,2	30,7	6,4	32,0	1458,5
1961/62	117,0	178,2	386,9	160,6	32,2	372,9	148,3	36,6	29,2	4,6	0,0	18,0	1484,5
1962/63	77,8	43,5	65,6	331,2	331,9	287,9	70,4	9,6	59,3	0,0	0,0	29,2	1306,4
1963/64	91,6	537,9	191,6	29,9	258,6	244,0	47,2	20,9	113,4	2,4	1,3	37,1	1575,9
1964/65	32,8	4,4	22,5	166,4	76,2	230,6	11,9	18,6	18,0	0,0	0,0	162,0	743,4
1965/66	111,6	260,9	194,0	360,4	661,1	4,5	305,8	23,5	79,0	0,2	9,9	19,6	2030,5
1966/67	316,0	87,9	18,3	38,1	143,5	128,1	7,5	153,4	8,5	4,1	27,3	36,7	969,4
1967/68	38,4	128,5	7,0	2,7	337,9	84,4	174,8	77,9	46,3	3,5	33,0	103,5	1037,9
1968/69	85,0	199,4	249,7	324,6	225,5	388,9	56,8	208,6	71,3	55,6	0,0	139,2	2004,6
1969/70	59,5	148,6	51,3	547,8	58,3	12,7	6,5	104,1	39,1	6,0	18,9	7,0	1059,8
1970/71	0,0	182,6	21,2	284,3	18,5	18,0	123,6	119,4	21,3	64,7	28,0	5,5	887,1
1971/72	54,5	24,7	40,7	137,6	299,0	103,6	17,6	37,6	46,0	23,6	14,3	113,6	912,8
1972/73	94,6	93,6	121,4	238,4	16,6	11,5	23,4	183,6	92,6	4,7	13,8	44,4	938,6
1973/74	76,8	20,6	129,4	368,5	265,7	48,5	34,7	42,5	247,9	1,2	0,0	30,9	1266,7
1974/75	2,1	282,2	38,3	104,2	127,8	170,2	24,7	44,9	9,7	1,9	18,4	108,6	933,0
1975/76	61,0	86,7	69,9	112,6	55,8	32,5	57,6	5,4	46,7	47,4	60,6	69,2	705,4
1976/77	175,9	94,7	165,0	423,8	371,8	115,0	51,5	45,3	61,4	12,7	11,3	24,9	1553,3
1977/78	126,3	67,9	415,5	170,8	556,1	116,2	81,6	83,3	16,1	0,0	0,0	13,6	1647,4
1978/79	39,4	35,4	776,2	207,1	434,4	266,3	140,8	86,8	8,5	16,2	0,0	2,2	2013,3
1979/80	290,8	47,8	149,1	150,1	121,0	143,7	45,3	70,2	36,1	5,7	13,4	49,8	1123,0
1980/81	55,4	148,0	9,0	0,0	93,8	132,1	99,0	109,1	11,6	7,2	4,7	113,9	783,8
1981/82	158,4	0,0	404,9	94,9	69,0	1,2	47,6	97,3	15,3	0,5	19,9	109,3	1018,3
1982/83	79,4	169,7	113,5	14,4	202,7	12,4	313,6	150,0	45,2	12,1	49,8	0,2	1163,0
1983/84	29,5	244,0	127,0	96,8	19,4	145,3	83,1	65,9	110,3	22,8	24,4	32,4	1000,9
1984/85	227,9	342,3	122,1	264,8	278,0	73,6	138,3	70,8	64,7	14,6	0,0	2,2	1599,3
1985/86	11,5	225,4	283,0	130,3	319,5	30,9	110,0	20,3	22,0	0,0	18,7	140,7	1312,3
1986/87	43,7	114,6	68,7	168,0	117,2	67,0	182,3	19,2	25,7	88,6	15,0	116,4	1026,4
1987/88	385,3	35,8	232,2	283,4	122,1	1,4	114,0	142,5	178,0	40,0	0,5	15,4	1550,6
1988/89	140,2	93,2	20,8	18,1	90,9	52,9	93,7	65,9	31,0	18,0	14,5	9,6	648,8
1989/90	91,6	218,3	486,9	168,7	101,4	10,9	51,1	25,4	13,5	3,5	29,8	30,6	1231,7
1990/91	201,1	62,1	41,3	183,9	112,3	195,3	46,2	6,0	11,8	20,7	8,3	121,6	1010,6
1991/92	57,7	215,4	41,9	91,6	36,1	82,0	82,3	80,4	54,8	0,5	64,6	27,4	834,7
1992/93	85,6	49,2	188,5	52,3	4,8	15,5	136,5	156,8	53,0	36,0	27,7	106,3	912,2
1993/94	306,9	143,4	17,4	274,4	167,7	2,5	57,2	216,7	19,1	3,0	22,8	30,1	1261,2
1994/95	80,9	186,7	144,1	233,0	158,9	24,0	29,5	128,4	39,9	30,2	11,6	66,2	1133,4
Média	105,0	149,8	167,8	173,6	173,8	122,2	88,5	83,4	49,1	15,7	17,9	56,2	1203,1

Celorico de Basto

Ano Hid.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Total
1947/48	108,6	76,0	277,6	576,4	45,0	113,0	41,2	122,4	10,8	0,0	53,4	4,0	1428,4
1948/49	67,8	61,6	305,0	77,6	36,4	23,0	34,2	51,8	18,0	10,4	6,8	145,4	838,0
1949/50	95,6	211,6	103,2	33,0	317,2	122,8	19,8	207,0	85,8	17,2	10,8	28,6	1252,6
1950/51	51,8	247,2	144,8	269,6	460,6	252,4	56,6	145,2	64,0	8,4	35,6	43,4	1779,6
1951/52	100,6	339,8	109,8	63,6	36,4	204,0	89,2	165,6	59,8	0,0	39,6	40,4	1248,8
1952/53	117,6	276,0	256,0	19,8	43,0	12,4	102,4	64,2	23,6	0,4	10,0	79,0	1004,4
1953/54	139,2	146,8	33,8	98,2	117,0	305,4	69,2	80,8	52,6	0,0	51,0	6,6	1100,6
1954/55	120,2	299,6	114,6	609,8	302,2	113,2	85,4	63,0	101,4	3,0	7,0	38,0	1857,4
1955/56	61,3	382,4	378,2	270,6	28,0	441,8	158,2	182,4	6,0	65,0	62,2	151,4	2187,5
1956/57	51,2	38,0	181,4	72,6	363,8	210,8	21,8	94,2	39,4	20,6	26,0	47,4	1167,2
1957/58	15,4	155,0	167,6	219,4	200,8	379,0	134,2	108,0	177,2	31,4	78,2	61,6	1727,8
1958/59	116,4	15,4	494,6	234,6	48,6	309,4	245,8	130,2	26,8	1,4	20,8	118,8	1762,8
1959/60	176,4	299,6	708,2	241,8	433,0	390,4	99,6	110,8	3,6	6,8	86,4	145,4	2702,0
1960/61	504,6	498,2	284,2	257,4	79,0	16,0	263,2	104,4	29,8	48,0	6,0	109,4	2200,2
1961/62	216,0	155,8	488,4	209,0	36,0	425,6	153,0	30,6	45,4	26,0	0,0	59,0	1844,8
1962/63	84,0	101,2	75,4	334,0	381,8	331,0	191,2	49,4	100,8	5,0	4,0	27,0	1684,8
1963/64	127,4	521,6	154,2	13,0	397,4	320,2	68,0	33,0	209,0	36,0	11,2	44,4	1935,4
1964/65	121,0	11,6	70,0	228,4	63,6	337,6	23,0	30,0	71,0	0,2	0,0	302,0	1258,4
1965/66	140,0	346,2	309,8	544,6	726,0	0,0	455,0	31,0	156,0	0,0	34,0	49,0	2791,6
1966/67	302,2	178,5	66,8	184,4	191,5	166,0	11,1	209,2	12,5	0,0	48,0	63,5	1433,7
1967/68	90,5	128,5	33,5	14,5	402,3	101,0	230,0	152,1	6,0	0,0	35,0	122,5	1315,9
1968/69	142,0	275,0	369,5	389,5	252,5	486,0	111,0	286,5	124,0	0,0	0,0	97,2	2533,2
1969/70	85,8	175,5	120,0	620,4	105,0	27,5	17,9	186,6	53,4	12,2	19,2	12,0	1435,5
1970/71	17,5	284,8	16,0	361,4	39,8	133,3	130,3	155,1	145,1	120,5	41,9	5,4	1451,1
1971/72	82,0	40,8	58,0	297,9	206,7	212,4	59,7	80,4	27,4	79,4	13,9	74,6	1233,2
1972/73	169,1	186,6	226,5	292,2	36,9	35,0	88,3	292,0	29,9	43,0	0,0	77,3	1476,8
1973/74	238,4	34,8	142,2	479,2	256,3	80,8	60,2	120,8	303,9	1,0	0,0	29,7	1747,3
1974/75	10,5	285,6	39,7	181,3	136,4	189,3	37,0	54,0	22,0	2,0	0,1	112,7	1070,6
1975/76	138,9	142,3	41,5	110,8	85,2	94,9	93,3	7,9	32,0	38,0	123,8	116,4	1025,0
1976/77	368,3	169,4	362,5	430,1	536,8	152,4	91,6	54,9	112,7	18,6	38,5	46,5	2382,3
1977/78	175,0	88,9	435,0	246,7	562,3	198,6	146,0	122,9	77,9	0,0	0,0	16,8	2070,1
1978/79	37,6	29,0	909,2	250,4	587,8	338,0	136,0	120,2	11,5	87,5	1,0	16,1	2524,3
1979/80	286,7	88,0	227,3	170,8	132,1	198,1	71,7	129,4	58,1	10,2	5,6	22,0	1400,0
1980/81	62,1	171,0	46,9	2,0	102,1	201,9	114,5	141,8	44,4	1,0	16,0	214,5	1118,2
1981/82	172,5	0,0	704,3	102,6	91,5	2,6	29,6	69,7	67,5	5,0	23,0	137,1	1405,4
1982/83	115,5	211,7	292,8	18,9	197,4	25,2	460,4	232,9	101,0	22,4	71,5	0,0	1749,7
1983/84	52,5	242,6	321,2	217,6	27,2	185,9	155,6	143,9	129,4	21,0	35,1	42,0	1574,0
1984/85	296,4	559,2	167,6	353,4	299,9	190,9	151,4	93,1	55,3	40,0	0,0	2,0	2209,2
1985/86	30,7	279,7	369,9	216,9	443,2	64,7	160,6	52,5	35,7	0,0	42,5	168,9	1865,3
1986/87	77,0	113,8	138,0	136,0	217,9	88,2	225,0	22,2	24,2	23,0	82,9	92,8	1241,0
1987/88	444,6	57,7	290,5	377,7	158,4	7,5	139,6	141,2	195,8	73,2	0,0	18,0	1904,2
1988/89	192,9	61,4	48,6	23,0	307,9	150,4	240,8	66,1	61,9	0,0	30,4	0,0	1183,4
1989/90	127,9	241,5	469,6	227,5	122,5	25,4	62,2	50,7	18,9	13,7	9,0	81,5	1450,4
1990/91	398,4	115,6	103,8	237,3	343,0	399,3	61,4	28,5	43,4	24,6	7,4	98,3	1861,0
1991/92	97,6	305,5	53,0	98,0	39,7	77,0	107,6	158,8	59,1	1,0	75,5	69,7	1142,5
1992/93	159,8	76,0	365,7	63,0	6,0	41,0	233,8	214,0	34,9	5,1	9,0	206,4	1414,7
1993/94	557,9	162,9	142,1	382,6	211,2	10,2	106,0	251,8	24,4	5,0	49,1	47,0	1950,2
1994/95	146,5	211,8	176,4	393,6	251,2	63,5	35,4	137,0	30,0	29,0	12,0	120,1	1606,5
Média	156,1	189,6	237,4	234,4	218,1	172,0	122,5	116,3	67,2	19,9	27,8	75,2	1636,4

*O Risco de Cheias na Cidade de Amarante:
Cartografia de áreas inundáveis recorrendo à modelação hidráulica*

Chaves

Ano Hid.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Total
1947/48	37,6	29,4	73,0	217,8	36,6	35,4	68,8	92,4	11,0	0,0	9,8	1,8	613,6
1948/49	32,0	21,4	176,0	32,4	10,0	30,6	17,8	20,6	19,6	35,6	1,6	126,6	524,2
1949/50	50,2	74,0	65,0	14,0	100,8	58,4	0,0	112,8	45,0	21,0	0,0	5,6	546,8
1950/51	41,6	72,4	64,0	47,2	65,4	88,0	32,8	76,4	9,2	5,6	5,6	6,2	514,4
1951/52	59,6	166,6	28,4	12,0	6,0	72,4	37,6	56,2	35,0	1,2	4,6	29,4	509,0
1952/53	55,9	125,3	86,7	9,7	9,6	26,7	41,0	23,0	29,5	3,4	2,2	39,5	452,5
1953/54	91,6	76,7	42,8	16,0	13,9	69,6	51,5	23,3	23,7	0,0	7,5	0,0	416,6
1954/55	20,4	134,3	48,2	191,3	150,1	67,0	68,3	43,2	43,7	9,7	48,1	26,0	850,3
1955/56	34,5	201,9	144,4	105,4	40,5	169,5	120,1	129,5	2,0	1,8	20,8	54,9	1025,3
1956/57	37,6	23,8	60,0	18,9	111,5	61,3	6,6	28,9	35,2	18,5	1,5	14,3	418,1
1957/58	14,5	62,3	61,8	70,0	59,8	114,9	55,3	55,0	66,9	9,2	16,3	16,1	602,1
1958/59	70,2	8,0	236,3	48,8	5,6	131,4	75,3	105,3	47,2	5,4	31,8	100,6	865,9
1959/60	80,2	148,1	173,2	90,6	130,4	152,7	45,9	62,9	22,6	6,1	47,1	54,8	1014,6
1960/61	142,8	127,2	87,5	65,6	33,1	6,7	77,2	80,9	23,5	13,2	0,0	49,3	707,0
1961/62	55,6	103,8	206,4	116,6	12,5	191,7	61,0	13,2	14,3	1,4	0,0	28,7	805,2
1962/63	29,7	35,9	48,3	167,9	187,4	124,8	72,6	39,4	68,7	7,6	0,5	18,8	801,6
1963/64	61,0	246,2	105,4	23,9	192,4	148,2	28,8	13,6	91,1	37,3	0,5	31,7	980,1
1964/65	8,6	11,4	31,2	58,8	47,0	97,1	9,8	19,3	4,0	0,0	1,7	83,0	371,9
1965/66	72,3	163,6	127,6	244,5	268,8	3,5	219,3	41,9	96,3	12,5	21,2	34,8	1306,3
1966/67	176,1	54,2	11,7	59,4	79,7	69,4	23,5	80,7	1,8	1,2	25,3	33,6	616,6
1967/68	59,2	77,9	8,3	1,1	171,5	52,8	103,0	44,8	7,5	1,6	38,5	44,6	610,8
1968/69	74,8	141,4	120,7	171,8	141,9	212,1	36,7	107,2	60,0	0,0	0,0	95,8	1162,4
1969/70	35,3	72,6	35,7	321,9	35,4	11,4	0,8	86,4	59,1	2,8	53,1	7,5	722,0
1970/71	11,0	80,7	40,0	162,7	3,5	73,0	123,4	124,3	50,2	75,9	17,7	3,5	765,9
1971/72	33,3	10,3	19,1	92,0	182,1	47,4	8,6	32,0	15,5	17,0	3,6	78,0	538,9
1972/73	115,0	56,4	102,7	121,7	12,8	17,0	30,8	152,5	50,0	0,1	10,0	41,0	710,0
1973/74	85,0	18,0	62,8	157,0	97,5	29,5	24,3	57,5	141,0	2,0	0,0	12,0	686,6
1974/75	0,0	129,0	25,0	60,5	84,5	93,5	26,0	29,6	21,0	0,0	11,0	112,0	592,1
1975/76	35,1	45,0	47,0	47,5	30,0	22,0	53,0	0,0	22,0	47,1	60,0	76,5	485,2
1976/77	148,1	49,4	68,0	144,6	135,3	59,0	32,2	29,5	47,0	23,0	12,1	20,0	768,2
1977/78	75,5	51,8	217,3	61,3	270,3	63,2	54,5	60,9	4,3	0,0	1,0	2,2	862,3
1978/79	55,5	37,6	404,5	116,6	206,4	143,3	63,0	33,2	1,0	31,5	0,0	0,1	1092,7
1979/80	202,7	26,0	66,0	44,0	56,5	66,8	33,6	67,6	24,6	4,0	5,0	21,5	618,3
1980/81	32,7	100,7	14,3	0,0	56,5	55,0	87,9	78,5	9,5	7,5	0,2	62,1	504,9
1981/82	113,7	0,0	227,8	54,3	41,2	0,1	41,1	32,3	9,1	2,0	14,5	64,1	600,2
1982/83	32,2	84,0	52,1	4,5	74,8	4,0	225,1	92,2	27,1	12,6	74,6	1,1	684,3
1983/84	8,1	135,5	126,5	54,1	4,3	69,3	62,8	43,2	59,5	10,5	6,5	26,0	606,3
1984/85	125,1	191,6	87,3	112,1	151,0	21,3	67,5	44,1	24,0	4,0	0,0	2,1	830,1
1985/86	6,0	109,0	144,6	65,0	117,6	19,0	30,2	4,0	15,0	0,0	7,0	93,5	610,9
1986/87	31,4	71,2	46,5	94,6	66,0	27,1	83,1	18,5	14,0	53,5	9,0	49,5	564,4
1987/88	210,6	19,7	108,0	121,0	52,3	4,0	67,0	78,1	152,5	22,6	0,5	7,0	843,3
1988/89	131,1	30,5	13,2	17,0	45,0	29,1	72,1	86,6	34,7	14,0	52,0	2,5	527,8
1989/90	57,6	178,0	271,2	98,0	46,0	21,0	29,6	24,5	8,1	5,0	35,0	25,3	799,3
1990/91	126,5	53,5	20,1	89,5	66,1	110,5	23,6	27,5	2,2	12,5	7,5	59,0	598,5
1991/92	30,5	76,5	30,0	47,0	21,0	42,5	46,0	39,5	39,6	0,1	42,6	25,0	440,3
1992/93	61,5	9,5	82,0	10,3	4,5	8,2	54,6	116,1	56,0	9,0	3,0	86,0	500,7
1993/94	210,3	87,0	6,0	117,5	79,0	5,0	21,1	114,0	8,5	8,6	12,1	18,5	687,6
1994/95	50,8	99,0	70,0	77,5	75,1	13,1	24,6	45,6	35,0	66,0	6,5	36,5	599,7
Média	69,4	81,8	91,6	84,9	81,0	63,3	55,0	58,1	35,2	13,0	15,2	38,1	686,6

Anexo 2 - Parâmetros das estações udográficas e hidrométricas e respetivas falhas nas séries de dados (SNIRH).

TIPO	ESTAÇÃO	PARÂMETROS	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940		
Udográfica	Amarante	Precipitação anual																														
		Precipitação diária																														
		Precipitação diária máxima anual																														
		Precipitação mensal																														
Udográfica	Candemil	Precipitação anual																														
		Precipitação diária																														
		Precipitação diária máxima anual																														
		Precipitação mensal																														
Udográfica	Celorico de Basto	Precipitação anual																														
		Precipitação diária																														
		Precipitação diária máxima anual																														
		Precipitação mensal																														
Udográfica	Cabeceiras de Basto	Precipitação anual																														
		Precipitação diária																														
		Precipitação diária máxima anual																														
		Precipitação mensal																														
Udográfica	Cavez	Precipitação anual																														
		Precipitação diária																														
		Precipitação diária máxima anual																														
		Precipitação mensal																														
Udográfica	Boticas	Precipitação anual																														
		Precipitação diária																														
		Precipitação diária máxima anual																														
		Precipitação mensal																														
Udográfica	Chaves	Precipitação anual																														
		Precipitação diária																														
		Precipitação diária máxima anual																														
		Precipitação mensal																														
Hidrométrica	Ponte Canavezes	Caudal instantâneo máximo anual																														
		Caudal médio diário																														
		Escoamento mensal																														
		Nível médio diário																														
Hidrométrica	Fridão	Caudal instantâneo máximo anual																														
		Caudal médio diário																														
		Escoamento mensal																														
		Nível médio diário																														
Hidrométrica	Ponte Cavez	Caudal instantâneo máximo anual																														
		Caudal médio diário																														
		Escoamento mensal																														
		Nível médio diário																														
Hidrométrica	Parada Monteiros	Caudal instantâneo máximo anual																														
		Caudal médio diário																														
		Escoamento mensal																														
		Nível médio diário																														
Hidrométrica	Amarante	Nível hidrométrico instantâneo																														
Hidrométrica	Chaves	Nível hidrométrico instantâneo																														

TIPO	ESTAÇÃO	PARÂMETROS	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	
Udográfica	Amarante	Precipitação anual																													
		Precipitação diária																													
		Precipitação diária máxima anual																													
		Precipitação mensal																													
Udográfica	Candemil	Precipitação anual																													
		Precipitação diária																													
		Precipitação diária máxima anual																													
		Precipitação mensal																													
Udográfica	Celorico de Basto	Precipitação anual																													
		Precipitação diária																													
		Precipitação diária máxima anual																													
		Precipitação mensal																													
Udográfica	Cabeceiras de Basto	Precipitação anual																													
		Precipitação diária																													
		Precipitação diária máxima anual																													
		Precipitação mensal																													
Udográfica	Cavez	Precipitação anual																													
		Precipitação diária																													
		Precipitação diária máxima anual																													
		Precipitação mensal																													
Udográfica	Boticas	Precipitação anual																													
		Precipitação diária																													
		Precipitação diária máxima anual																													
		Precipitação mensal																													
Udográfica	Chaves	Precipitação anual																													
		Precipitação diária																													
		Precipitação diária máxima anual																													
		Precipitação mensal																													
Hidrométrica	Ponte Canavezes	Caudal instantâneo máximo anual																													
		Caudal médio diário																													
		Escoamento mensal																													
		Nível médio diário																													
Hidrométrica	Fridão	Caudal instantâneo máximo anual																													
		Caudal médio diário																													
		Escoamento mensal																													
		Nível médio diário																													
Hidrométrica	Ponte Cavez	Caudal instantâneo máximo anual																													
		Caudal médio diário																													
		Escoamento mensal																													
		Nível médio diário																													
Hidrométrica	Parada Monteiros	Caudal instantâneo máximo anual																													
		Caudal médio diário																													
		Escoamento mensal																													
		Nível médio diário																													
Hidrométrica	Amarante	Nível hidrométrico instantâneo																													
Hidrométrica	Chaves	Nível hidrométrico instantâneo																													

TIPO	ESTAÇÃO	PARÂMETROS	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	
Udográfica	Amarante	Precipitação anual																													
		Precipitação diária																													
		Precipitação diária máxima anual																													
		Precipitação mensal																													
Udográfica	Candemil	Precipitação anual																													
		Precipitação diária																													
		Precipitação diária máxima anual																													
		Precipitação mensal																													
Udográfica	Celorico de Basto	Precipitação anual																													
		Precipitação diária																													
		Precipitação diária máxima anual																													
		Precipitação mensal																													
Udográfica	Cabeceiras de Basto	Precipitação anual																													
		Precipitação diária																													
		Precipitação diária máxima anual																													
		Precipitação mensal																													
Udográfica	Cavez	Precipitação anual																													
		Precipitação diária																													
		Precipitação diária máxima anual																													
		Precipitação mensal																													
Udográfica	Boticas	Precipitação anual																													
		Precipitação diária																													
		Precipitação diária máxima anual																													
		Precipitação mensal																													
Udográfica	Chaves	Precipitação anual																													
		Precipitação diária																													
		Precipitação diária máxima anual																													
		Precipitação mensal																													
Hidrométrica	Ponte Canavezes	Caudal instantâneo máximo anual																													
		Caudal médio diário																													
		Escoamento mensal																													
		Nível médio diário																													
Hidrométrica	Fridão	Caudal instantâneo máximo anual																													
		Caudal médio diário																													
		Escoamento mensal																													
		Nível médio diário																													
Hidrométrica	Ponte Cavez	Caudal instantâneo máximo anual																													
		Caudal médio diário																													
		Escoamento mensal																													
		Nível médio diário																													
Hidrométrica	Parada Monteiros	Caudal instantâneo máximo anual																													
		Caudal médio diário																													
		Escoamento mensal																													
		Nível médio diário																													
Hidrométrica	Amarante	Nível hidrométrico instantâneo																													
Hidrométrica	Chaves	Nível hidrométrico instantâneo																													

TIPO	ESTAÇÃO	PARÂMETROS	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016		
Udográfica	Amarante	Precipitação anual	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Red	Red	
		Precipitação diária	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Yellow	Red
		Precipitação diária máxima anual	Red	Red	Red	Red	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
		Precipitação mensal	Green	Yellow	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Green	Yellow	Red
Udográfica	Candemil	Precipitação anual	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação diária	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação diária máxima anual	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação mensal	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
Udográfica	Celorico de Basto	Precipitação anual	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação diária	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação diária máxima anual	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação mensal	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
Udográfica	Cabeceiras de Basto	Precipitação anual	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação diária	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação diária máxima anual	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação mensal	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
Udográfica	Cavez	Precipitação anual	Red	Red	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação diária	Yellow	Red	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação diária máxima anual	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação mensal	Yellow	Red	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
Udográfica	Boticas	Precipitação anual	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação diária	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação diária máxima anual	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação mensal	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
Udográfica	Chaves	Precipitação anual	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação diária	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação diária máxima anual	Green	Red	Red	Red	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Precipitação mensal	Green	Green	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
Hidrométrica	Ponte Canavezes	Caudal instantâneo máximo anual	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Caudal médio diário	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Escoamento mensal	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Nível médio diário	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
Hidrométrica	Fridão	Caudal instantâneo máximo anual	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Caudal médio diário	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Escoamento mensal	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Nível médio diário	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
Hidrométrica	Ponte Cavez	Caudal instantâneo máximo anual	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Caudal médio diário	Green	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Escoamento mensal	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Nível médio diário	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
Hidrométrica	Parada Monteiros	Caudal instantâneo máximo anual	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Caudal médio diário	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Escoamento mensal	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
		Nível médio diário	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
Hidrométrica	Amarante	Nível hidrométrico instantâneo	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green		
Hidrométrica	Chaves	Nível hidrométrico instantâneo	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green		

Legenda:

- Green: Total
- Yellow: Parcial
- Red: Ausência de Dados
- Grey: Cheias em Amarante

Anexo 3 - Amostra de 85 trabalhos existentes, em Portugal continental, sobre a temática das cheias e inundações (Atualização do trabalho inicialmente desenvolvido por CAMPOS (2015)).

Autor	Ano	Título	Rio
Amaral, I.	1968	As inundações de 25/26 de Novembro de 1967 na região de Lisboa	Rib. Do Jamor; Odivelas; Trancão; Alenquer
Silva	1986	As grandes cheias do Douro	Douro
Velhas, E.	1991	A bacia hidrográfica do rio Leça. Estudo Hidroclimatológico	Leça
LNEC	1994	As cheias em Portugal. Caracterização das zonas de risco. Bacia Hidrográfica do rio Douro	Douro
Ramos, C.	1994	Condições geomorfológicas e climáticas das cheias da Ribeira de Tera e do Rio Maior	Tejo(Ribeira de Tera e Rio Maior)
Ramos, C.	1996	Floods and Inundations in the Low Valley of the River Maior	Rio Maior
Ramos, C.	1996	The Floods of the River Tagus	Tejo
Velhas, E.	1997	As cheias na área urbana do Porto. Risco, percepção e ajustamentos	Douro
Pedrosa, A.; Costa, F.	1999	As cheias do rio Tâmega. O caso da área urbana de Amarante	Tâmega
Portela, M., et al.	2000	O efeito da ocupação urbana nos caudais de ponta de cheias naturais em pequenas bacias hidrográficas	Rio Maior
Duarte, et al.	2001	Modelação matemática do impacto de caudais de cheia nas condições de escoamento fluvial. Um caso de estudo	Este
Cunha	2001	Efeitos das cheias de Janeiro de 2001 no estuário do Mondego	Mondego
Ramos, C; Reis, E.	2001	As cheias no Sul de Portugal em diferentes tipos de bacias hidrográficas	Tejo; Ribeira de Cobres e Ribeira de Garganta
Teles, Virgínia	2002	Quando os rios galgam as margens. Um breve retrato das cheias de 5 de janeiro de 2001 nos concelhos de Braga e Guimarães	Cávado/ Ave
Cunha	2002	Vulnerabilidade e risco resultante da ocupação de uma planície aluvial – o exemplo das cheias do rio Mondego (Portugal central), no inverno de 2000/2001	Mondego
Carvalho e Aranha	2002	Criação e aplicação de um SIG para a Lezíria do Tejo: O caso das cheias do rio Tejo no Vale de Santarém.	Tejo
Oliveira e Ramos	2002	Inundações na cidade de Lisboa durante o séc. XX e seus fatores agravantes	Tejo
Rodríguez, R., et al.	2003	As cheias no Douro ontem, hoje e amanhã	Douro
Oliveira	2003	As inundações na cidade de Lisboa. Estudo de hidrogeografia urbana.	Tejo
Oliveira	2003	Inundações na cidade de Lisboa.	Tejo
Ramos, C., et al.	2004	Some Morphological Aspects and Hydrological Characterization of the Tagus Floods in the Santarém Region, Portugal	Tejo
Gomes, S.; Costa, F.	2004	As cheias urbanas em Amarante. O caso da cheia do rio Tâmega em 2001	Tâmega
Figueiredo e Valente	2004	Conviver com o Risco - A importância da incorporação da percepção social nos mecanismos de gestão do risco de cheia no concelho de Águeda	Vouga
Madeira, C.	2005	Cheias e inundações do rio Tejo em Abrantes	Tejo
Paiva	2005	Risco de inundações em Coimbra. Factores físicos e acção antrópica – as inundações urbanas e as cheias do Mondego	Mondego
Louro e Lourenço	2005	O comportamento hidrológico do Rio Mondego perante os valores de precipitação intensa, em Coimbra	Mondego
Faria e Pedrosa	2005	Aplicação SIG na Elaboração de Cartografia Temática de Base na Bacia Hidrográfica do Rio Úima - Santa Maria da Feira.	Rio Úima
Guedes	2006	Contribuição para a avaliação, previsão e prevenção do regime de cheias na bacia do Vouga	Vouga
Costa, Carlos	2006	A comunicação dos Riscos Naturais. Reflexões em torno das inundações de 2000/2001 na cidade de Amarante	Tâmega
Pedrosa e Pereira	2006	Diagnóstico dos fatores condicionantes da susceptibilidade face ao risco de inundações urbana no concelho de Matosinhos	Leça
Rebelo	2008	Um novo olhar sobre os riscos? O exemplo das cheias rápidas (flash floods) em domínio mediterrâneo	Tejo
Carvalho	2009	A importância do rio na cidade. Análise do risco de inundações no perímetro urbano da cidade de Leiria	Nabão
Rodríguez	2009	Risco de Inundação Área das Termas de S. Pedro do Sul (1960-2001)	Vouga
Jacinto, et al.	2009	As cheias na cidade de Leiria: contributo dos SIG para o ordenamento do território	Nabão
Santos, Pedro	2009	Cartografia de áreas inundáveis a partir do método de reconstituição hidrogeomorfológica e do método hidrológico-hidráulico	Rio Arunca
Costa, F.S.	2009	As grandes cheias de Amarante: fatalidade, aleatoriedade [i. é aleatoriedade] e incerteza	Tâmega
Loureiro	2009	Rio Tejo, as grandes cheias 1800-2007	Tejo
Costa, F.S.	2009	O risco de inundações na cidade de Amarante (norte de Portugal): contributo metodológico para o seu estudo	Tâmega
Santos, P., et al.	2010	Avaliação das áreas inundáveis a partir de registos históricos e paleohidrogeomorfológicos. Aplicação ao ordenamento do município de Soure	Arunca/Ega/Mondego/Pranto
Tedim, F., et al.	2010	Cem anos de história: a frequência e a intensidade das cheias do rio Tâmega na cidade de Amarante (Portugal) aumentaram ao longo do século XX?	Tâmega

*O Risco de Cheias na Cidade de Amarante:
Cartografia de áreas inundáveis recorrendo à modelação hidráulica*

Tedim, F.; Carvalho, S.	2010	Flood management strategies in frequent and small scale events: lessons learned from Amarante (Portugal)	Tâmega
Isidoro, et al.	2010	Delimitação de áreas inundáveis por acção fluvial: aplicação ao Rio Séqua/Gilão na área urbana de Tavira	Séqua/Gilão
Ferreira	2010	Caracterização morfológica das bacias hidrográficas e áreas inundáveis no Concelho de Pombal	Arunca
Rodrigues et al.	2010	Cheias no Tejo, Uma Evolução Histórica	Tejo
Marafuz	2011	Inundações Urbanas e Cheias Progressivas em Arouca. Casos de Estudo, Metodologias de Análise e Ordenamento do Território	Paiva
Santos	2011	Cartografia de risco de cheia: análise comparativa de cartografia de cheia para a cidade de Tavira	Gilão
Silva	2011	Cheias e inundações no território da cidade de Ovar: áreas susceptíveis, estudos de caso e ordenamento do território	Cáster
Teles	2011	A (In)consciência dos riscos naturais em meio urbano : estudo de caso: o risco de inundação no concelho de Braga	Cávado
Santos, P., et al.	2011	A bacia hidrográfica do rio Arunca. Factores condicionantes e cartografia dos processos de cheia/inundação	Rio Arunca
Ascenso	2011	Análise da ocorrência de cheias e deslizamentos de vertente no Concelho da Batalha	Lena
Reis	2011	Análise de bacias hidrográficas, susceptibilidade à ocorrência de cheias e sistemas de informação geográfica: da definição do quadro conceptual até à proposta de um modelo de avaliação	Tornada
Sousa, Liliana	2012	Metodologia para o Mapeamento de Cheias em Zonas de Risco. Aplicação a um troço de um rio do Norte de Portugal	Este
Belo	2012	Os SIG aplicados à análise do risco de inundação progressiva do Rio Tejo, entre Belver e Vila Nova da Barquinha, região do Médio Tejo	Tejo
Gonçalves	2012	A Delimitação de Perímetros de Inundação no Rio Leça – modelação hidráulica para duas áreas do concelho de Matosinhos	Leça
Gomes, et al.	2012	A delimitação de perímetros de inundação no Rio Leça (Portugal): metodologias e implicações no ordenamento do território.	Leça
Marafuz, et al.	2012	A implementação da Diretiva 2007/60/CE em Portugal : problemas na definição de perímetros de inundação e na identificação de elementos expostos	Arda
Costa, et al.	2012	As grandes cheias de Ponte de Lima: uma abordagem metodológica à análise do risco de inundação na perspectiva da directiva relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundação	Lima
Fernandez, et al.	2012	Avaliação do risco de inundação numa zona urbana. Aplicação ao Rio Febros	Febros
Cunha, et al.	2012	Risco de inundação no município de Torres Novas (Portugal)	Sizandro
Silva	2012	Proposta de um sistema de controlo de cheias no rio Séqua/Gilão	Séqua/Gilão
Marafuz e Gomes	2013	Identificação de locais críticos no escoamento superficial das áreas urbanas de Arouca e São João da Madeira : metodologia e casos de estudo	Arda/UL
Marafuz e Gomes	2013	Locais críticos de inundações urbanas no concelho de São João da Madeira: identificação a partir do reconhecimento do escoamento superficial na malha urbana.	Antuã
Marafuz e Gomes	2013	Inundações urbanas na Vila de Arouca: Organização do escoamento superficial e áreas susceptíveis	Paiva
Fernandez, et al.	2013	Comparação dos modelos HEC-RAS e LISFLOOD-FP na delimitação de zonas inundáveis.	Lis
Santos, P., et al.	2013	Cheias e inundações na bacia do rio Lis: reconstrução histórica de desastres no período 1935/36-2009/10	Lis
Martins, Pedro	2013	Sistema de previsão e alerta de cheias e inundações	Ave (Selho)
Alonso, et al.	2014	Risco de cheia e inundação: Exposição e adaptação na área ribeirinha de Ponte de Lima	Lima
Gouveia, et al.	2014	Simulação de cheia seguida de inundação na cidade de Mirandela	Tua
Moreno e Gonçalves	2014	Susceptibilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Vez ao Risco de Cheia	Vez
Marafuz, et al.	2014	Perigosidade a cheias no rio Uíma (Santa Maria da Feira, Portugal): ensaio metodológico de suporte à implementação da Diretiva 2007/60/CE	Uíma
Gonçalves, et al.	2014	Avaliação da perigosidade a cheias progressivas no vale do rio Leça, sector de Leça do Balio, Matosinhos	Leça
Vieira e Costa	2014	A cheia do Douro de 1909: consequências e medidas de recuperação nas áreas ribeirinhas do Porto e Gaia	Douro
Veloso	2014	Sistema de previsão e alerta de cheias e inundações no rio Este	Este
Delgado, Vítor	2014	A percepção social do risco de cheias em Amarante	Tâmega
Martins, Andreia	2014	Risco de inundação na área urbana de Águeda	Rio Águeda (Vouga)
Lúcio, Cláudia	2014	Análise do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio de Loures e modelação da sua susceptibilidade a cheias	Rio de Loures
Medeiros	2014	Desenvolvimento de um modelo hidrológico para inclusão num sistema de previsão e alerta de cheias na bacia hidrográfica do rio Cávado	Cávado
Santos, et al.	2015	Assessment of Social Vulnerability to Flooding in a Estuarine Context	Tejo
Zenha, Alexandre	2015	Previsão de Cheias em Barcelos	Cávado
Campos, Ana; Gomes	2015	Cheia de abril de 1962 na cidade de Vila do Conde : delimitação do perímetro de inundação com base na informação hidro-histórica das áreas afetadas	Ave
Rilo, A., et al.	2015	Historical flood events in the Tagus estuary: Contribution to risk assessment and management tools	Tejo
Santos, Mónica	2015	Análise hidro-meteorológica de cheias na região Norte de Portugal	Vez, Este, Corgo e Távora
Campos, Ana	2015	A cheia de abril de 1962 na cidade de Vila do Conde : reconstrução hidro-histórica das áreas afetadas e avaliação da vulnerabilidade atua	Ave
Freire, P. et al.	2016	A local-scale approach to estuarine flood risk management	Tejo
Cunha, N.S., et al.	2017	The land morphology approach to flood risk mapping: An application to Portugal	Rio Trancão