

DM

Canais Artificiais e a sua Influência em Processos de Planeamento Urbano e Ordenamento Territorial

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

André Diogo Sousa Moura
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

setembro | 2019

Canais Artificiais e a sua Influência em Processos de Planeamento Urbano e Ordenamento Territorial

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

André Diogo Sousa Moura

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

ORIENTAÇÃO

Sérgio António Neves Lousada

CO-ORIENTAÇÃO

Rui Alexandre Castanho



Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia

Canais Artificiais e a sua Influência em Processos de Planeamento Urbano e Ordenamento Territorial

Licenciado em Engenharia Civil (Pós-Bolonha)

Dissertação submetida para o grau de Mestre em Engenharia Civil na Universidade da
Madeira

por

ANDRÉ DIOGO SOUSA MOURA

Orientador

Prof. Doutor Sérgio António Neves Lousada

(Universidade da Madeira)

Coorientador

Prof. Doutor Rui Alexandre Castanho

(Universidade WSB, Dabrowa Górnicza - Polónia)

setembro de 2019

Título: Canais Artificiais e a sua Influência em Processos de Planeamento Urbano e Ordenamento Territorial

Palavras-Chave: Escoamento; Instrumentos de Gestão Territorial; Ordenamento Territorial; Planeamento Urbano; Sistemas de Informação Geográfica.

Keywords: Flow; Territorial Management Instruments; Spatial Planning; Urban planning; Geographic Information Systems.

Autor: ANDRÉ MOURA

FCEE - Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia

Campus Universitário de Penteada

9020-015 Funchal - Portugal. s/n

Telefone +351 291 705 230

Correio eletrónico: secretariadocentros@uma.pt

Funchal, Madeira

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação de mestrado representa a concretização de mais um sonho, o atingir de mais uma meta na minha vida (académica e pessoal), que tanto estudo, dedicação e sacrifício exigiram de mim. Tenho presente que, tudo isto apenas foi possível graças ao contributo de muitas pessoas e entidades aos quais agradeço formalmente:

Aos meus pais, cujos valores e princípios transmitidos sempre me fizeram querer alcançar algo mais, cujos sacrifícios pessoais me permitiram chegar onde cheguei e ser quem sou. Serei eternamente grato, sem nunca poder retribuir na mesma medida, tudo o que fizeram por mim;

Aos meus familiares, que nunca me permitiram desistir e sempre me apoiaram de todas as formas possíveis, particularmente à minha irmã, à minha prima e ao meu avô;

À minha namorada, por ser o fator de estabilização emocional durante toda a caminhada académica e pelo tempo despendido para me auxiliar, sempre que assim se verificou necessário;

Aos meus orientadores (e amigos), Professor Doutor Sérgio António Neves Lousada e Professor Doutor Rui Alexandre Castanho, por toda a disponibilidade, orientação e apoio na elaboração desta dissertação, assim como, pelo inculcar de uma maior ambição na realização de trabalhos de investigação;

A todos os professores, que durante os dois ciclos de estudo no ensino superior, contribuíram para o aumento do meu conhecimento, nas mais variadas áreas do curso de Engenharia Civil;

À reitoria da Universidade da Madeira, pela disponibilização do Laboratório de Hidráulica, que me permitiu aumentar o conhecimento na subárea de Hidráulica da área de Engenharia Civil;

Aos funcionários da Direção Regional do Ordenamento do Território e Ambiente (DROTA), que prontamente me disponibilizaram o material de apoio solicitado, com a finalidade de auxiliar a devida análise das bacias hidrográficas;

A todos os meus amigos e colegas da UMa, pela amizade e apoio, em especial ao Rafael Camacho pela disponibilidade para partilha de conhecimentos, na componente prática desta tese.

A ti PAI, que te sintas orgulhoso e continues a orientar a minha vida, estejas onde estiveres.

RESUMO

Os fenómenos de cheia decorrentes de intempéries têm ao longo do tempo assolado o arquipélago da Madeira, particularmente a ilha da Madeira a qual se diferencia, entre outras, pelo seu relevo acentuado. Estas características, associadas aos fenómenos de cheia, conduzem a dezenas de vítimas mortais, centenas de afetados direta ou indiretamente e milhares de milhões em custos monetários associados. Insurge-se deste modo como prioritária, a necessidade de simular com o maior rigor possível o escoamento das linhas de água com maior relevância neste tipo de catástrofes, articulando com os princípios de planeamento urbano em vigor na região de modo a procurar minimizar os seus riscos e consequências.

As linhas de água que atravessam áreas urbanas podem ser classificadas como canais artificiais. Relativamente ao canal natural, as artificiais, introduzem diversas características diferentes tais como: largura, profundidade e rugosidade, Camacho (2018). A temática em análise, considera a necessidade de efetuar uma modelação numérica das linhas de água – isto é, a simulação das condições de escoamento nas ribeiras da Região Autónoma da Madeira (RAM), de modo a permitir um ordenamento do território e planeamento urbano mais apropriados, garantindo assim a segurança da população, bem como a preservação de bens materiais.

A análise do escoamento verificado nas ribeiras da RAM assume-se como fundamental, tendo em vista a redução de riscos em fenómenos de cheia bem como das respetivas áreas de inundação, sendo para isso particularmente relevante a análise de sensibilidade de diversos parâmetros tais como: fórmulas de transporte sólido, coeficientes de *Manning-Strickler*, condições de fronteira a montante, distribuição granulométrica nas diversas secções transversais consideradas e caudais afluentes.

Os canais artificiais, deveriam condicionar a predisposição do tecido urbano de qualquer cidade, região ou país uma vez que em casos extremos de precipitação, eles são os principais responsáveis pelo correto escoamento minimizando qualquer tipologia de risco associado a cheias. Contudo o que acontece década após década é uma contínua ocupação urbana na proximidade das principais linhas de água, tendo a agravante de esta se intensificar mais a jusante o que obviamente promove um acréscimo à sua perigosidade – uma vez que, estas zonas são as mais propícias a serem afetadas por enxurradas e/ou cheias através do galgamento dos leitos das ribeiras. Considerando que a ilha da Madeira é periodicamente afetada por chuvas de alta intensidade, associadas à sua urografia, assume-se como fundamental que os vários instrumentos de gestão territorial contemplem, como mínimo uma carta de risco municipal utilizando ferramentas como os SIG, bem como, condicionando a forma como se desenvolve o planeamento e respetivo ordenamento do territorial.

Por outro lado, começam a ser postos em prática os mecanismos anteriormente descritos nos concelhos onde as enxurradas/cheias/aluviões têm protagonizado um maior impacto negativo, nomeadamente quanto à criação (e inclusão no respetivo PDM) da carta de risco de cheias e inundações da Ribeira Brava, a inclusão das áreas em risco ou ameaçadas por cheias na planta de ordenamento II do PDM do Funchal e, ainda da publicação no Jornal Oficial da Região Autónoma da Madeira (JORAM) da criação do Plano de Gestão dos Riscos de Inundações da RAM (PGRI-RAM).

Palavras-chave: Escoamento; Instrumentos de Gestão Territorial; Ordenamento Territorial; Planeamento Urbano; Sistemas de Informação Geográfica.

ABSTRACT

Weather-related flooding phenomena have over time plagued the Madeira archipelago, particularly the island of Madeira, which is distinguished, among others, by its marked relief. These characteristics, associated with flood phenomena, lead to dozens of fatalities, hundreds directly or indirectly affected and billions in associated monetary costs. Thus, the need to simulate the flow of the most relevant waterlines in such disasters is a priority to minimize their risks and consequences, as well as to articulate urban planning principles already effective in the region of Madeira.

Waterlines running through urban areas can be classified as artificial canals. Regarding the natural channels, the artificial ones introduce several different characteristics such as width, depth or roughness, Camacho (2018). The theme under consideration explores the need to perform numerical modeling of the waterlines - that is, the simulation of flow conditions in the watercourses of the Autonomous Region of Madeira (RAM), to carry out proper spatial and urban planning, thus ensuring the safety of the population as well as the preservation of its goods.

The analysis of the runoff in the RAM watercourses is fundamental in order to reduce the risk of flooding, as well as the respective flood-prone areas, being particularly relevant the analysis of several parameters such as: solid transport equations, Manning-Strickler coefficients, upstream boundary conditions, particle size distribution alongside the waterlines considered and tributary flows.

Artificial water channels should condition the predisposition of the urban fabric of any city, region or country since in extreme cases of precipitation, they are primarily responsible for the correct drainage minimizing any risk typology associated with floods. However, it seems obvious that decade after decade, the urbanization of the vicinity of the main watercourses and the aggravation of its intensification taking place downstream increase the danger - since these areas are the most prone to be affected by floods through the overflow of the stream beds.

Considering that Madeira is periodically affected by high-intensity rainstorms associated with its urography, it is assumed that the various territorial management instruments must include, at minimum a municipal risk map using tools such as GIS, as well as conditioning the way how the urban and the respective territorial planning are developed. On the other hand, the mechanisms previously described are beginning to be implemented in the municipalities where floods have had a major negative impact, particularly with the creation (and inclusion in the respective PDM) of the flood risk map in Ribeira Brava, the inclusion of flood-prone areas in the Funchal's PDM management plan II and also the publication of the creation of Flood Risk Management Plans (PGRI-RAM) in the Official Journal of the Autonomous Region of Madeira (JORAM).

Keywords: Flow; Territorial Management Instruments; Spatial Planning; Urban planning; Geographic Information Systems.

ÍNDICE DE MATÉRIAS

CAPÍTULO 1	1
1.1. Justificativa	2
1.2. Metodologia	3
1.3. Estrutura	4
CAPÍTULO 2	5
2.1. Estado da Arte	6
2.1.1. Cheias	6
2.1.1.1. Fenómeno de Cheias em Áreas Urbanas	8
2.1.1.2. Medidas mitigadoras de cheias e inundações	9
2.1.1.3. Cheias e inundações na ilha da Madeira	10
2.1.1.4. Seleção e Identificação das Zonas Críticas	11
2.1.1.5. Risco de Inundação	12
2.1.1.6. Prevenção de Riscos - Proteção Civil.....	14
2.2. Ordenamento do Território.....	14
2.2.1 Objetivos	15
2.2.2 Princípios.....	15
2.2.3. Ordenamento do Território e de Urbanismo em Portugal	16
2.3. Sistema de Gestão e Planeamento do Território Português	17
2.3.1. Instrumentos de Gestão Territorial.....	17
2.3.1.1. Âmbito Nacional	18
2.3.1.2. Âmbito Regional	19
2.3.1.3. Âmbito Municipal	19
2.3.2. Planeamento Urbano em Portugal	20
2.3.2.1. Principais Fases do Processo do Planeamento Urbano	21
2.3.2.2. Sistema Regional de Gestão Territorial.....	22
2.4. Uso e Ocupação do Solo	23
2.4.1. Evolução do uso e ocupação do solo.....	23
2.4.2. Influência das levadas no uso e ocupação do solo	25
2.4.3. Importância do coberto vegetal	27
2.5. Casos de Estudo	29
2.5.1. Funchal (Madeira, Portugal).....	30
2.5.1.1. Enquadramento Geográfico.....	30
2.5.1.2. Fatores Climáticos.....	31
2.5.1.3. Fenómeno Observado.....	32

2.5.1.4. Pós 20 de fevereiro de 2010	35
2.5.2. Povoação (Açores, Portugal).....	37
2.5.2.1. Enquadramento Geográfico.....	37
2.5.2.2. Fatores Climáticos.....	38
2.5.2.3. Fenómeno Observado.....	40
2.5.3. Tenerife (Canárias, Espanha)	42
2.5.3.1. Enquadramento Geográfico.....	42
2.5.3.2. Fatores Climáticos.....	43
2.5.3.3. Fenómeno Observado.....	44
2.5.4. Ribeira Brava (São Nicolau, Cabo Verde)	46
2.5.4.1. Enquadramento Geográfico.....	46
2.5.4.2. Fatores Climáticos.....	47
2.5.5. Atenas (Grécia)	51
2.5.5.1. Enquadramento Geográfico.....	51
2.5.5.2. Fatores Climáticos.....	52
2.5.5.3. Fenómeno Observado.....	53
2.5.6. Manila (Filipinas).....	54
2.5.6.1. Enquadramento Geográfico.....	54
2.5.6.2. Fatores Climáticos.....	55
2.5.6.3. Fenómeno Observado.....	56
2.5.7 Síntese Casuística Geral	58
CAPÍTULO 3	61
3.1. Enquadramento e Caraterização do Caso de Estudo Regional.....	62
3.1.1. Caraterização Morfométrica das Bacias Hidrográficas.....	63
3.1.2. Tipos e regimes de escoamento.....	69
3.1.2.1. Variação temporal	69
3.1.2.2. Variação espacial.....	69
3.1.2.3. Número de Froude.....	70
3.1.2.4. Número de Reynolds.....	70
3.1.3. Caudal de Ponta de Cheia.....	71
3.1.3.1. Aspetos Gerais.....	71
3.1.3.2. Fórmulas de Caráter Empírico	71
3.1.3.3. Fórmulas de Caráter Cinemático.....	72
3.1.4. Curvas de Regolfo (adaptação a canais prismáticos)	76
3.1.5.1. Limitações e erros associados	79
3.1.5.2. Procedimento experimental.....	79
3.1.6.1. Folha de cálculo <i>Excel</i> programada.....	82

3.1.7. <i>ArcMap</i>	83
CAPÍTULO 4	89
4.1. Análise Espacial - <i>ArcMap</i>	90
4.2. Análise Hidráulica.....	92
4.2.1. Método Empírico.....	92
4.2.2. <i>HEC-RAS</i>	93
4.2.3. Modelo Experimental	94
4.2.3.1. Redução Geométrica	95
4.2.3.2. Análise Comparativa	97
CAPÍTULO 5	101
5.1. Discussão.....	102
5.2. Considerações finais.....	103
5.3. Trabalhos a realizar	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
ANEXOS	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Ribeira de Santa Luzia.....	2
Figura 2 - Ribeira de João Gomes.....	2
Figura 3 - Metodologia adotada.....	4
Figura 4 - Exemplo de cheia fluvial (Acre, Brasil).....	6
Figura 5 - Exemplo de cheia costeira.....	7
Figura 6 - Exemplo de cheia pluvial (Madeira, Portugal).....	7
Figura 7 - Taxa de crescimento demográfico urbano (estimativa, em %).....	8
Figura 8 - Taxa de crescimento demográfico urbano nacional (estimativa, em %).....	9
Figura 9 - Cursos de água com risco hidrológico.....	12
Figura 10 - Fluxograma originário da cartografia de risco.....	13
Figura 11 - Instrumentos de gestão territorial.....	17
Figura 12 - Evolução do uso e ocupação de solo (1990 - 2012).....	24
Figura 13 - Carta de ocupação de solos da ilha da Madeira, 2006.....	25
Figura 14 - Disposição das levadas na bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes, por designação..	26
Figura 15 - Disposição das levadas na bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes, por tipologia do escoamento.....	26
Figura 16 - Disposição das levadas na bacia hidrográfica da ribeira de Santa Luzia, por designação..	26
Figura 17 - Disposição das levadas na bacia hidrográfica da ribeira de Santa Luzia, por tipologia do escoamento.....	26
Figura 18 - Vegetação a montante do curso de água principal da ribeira de João Gomes.....	29
Figura 19 - Vegetação a montante do curso de água principal da ribeira de Santa Luzia.....	29
Figura 20 - Ilha da Madeira.....	30
Figura 21 - Registo de temperaturas em Funchal (Portugal).....	31
Figura 22 - Registos de pluviosidade em Funchal (Portugal).....	32
Figura 23 - Precipitação Máxima Acumulada (30 minutos).....	33
Figura 24 - Precipitação Máxima Acumulada (60 minutos).....	33
Figura 25 - Intensidade Máxima de Precipitação.....	34
Figura 26 - Movimento de terras de grandes dimensões (Trapiche, Funchal).....	34
Figura 27 - Exemplo dos detritos e respetivo prejuízo causado.....	35
Figura 28 - Exemplo de uma zona crítica da ribeira de Santa Luzia.....	35
Figura 29 - Obras de regularização da ribeira de Santa Luzia.....	35
Figura 30 - Extrato da Planta de Ordenamento II do PDM do Funchal (João Gomes).....	36
Figura 31 - Extrato da Planta de Ordenamento II do PDM do Funchal (Santa Luzia).....	36
Figura 32 - São Miguel (Açores).....	37
Figura 33 - Arquipélago Açoriano.....	37
Figura 34 - Povoação, Açores.....	38
Figura 35 - Registo de temperaturas em Furnas (Portugal).....	39
Figura 36 - Registo de pluviosidade em Furnas (Portugal).....	39
Figura 37 - Exemplo da composição de torrentes.....	40
Figura 38 - Bacias hidrográficas das ribeiras convergentes na Povoação.....	41
Figura 39 - Arquipélago das Canárias.....	42
Figura 40 - Registo de temperaturas em Tenerife (Espanha).....	43
Figura 41 - Registo da pluviosidade em Tenerife (Espanha).....	44
Figura 42 - Cartografia do barranco Santos (Santa Cruz - Tenerife).....	44
Figura 43 - Precipitação registada a 19 de outubro em Tenerife.....	45
Figura 44 - Danos em veículos e infraestruturas.....	45
Figura 45 - Entulho na rede viária resultante do extravasamento do barranco Santos.....	46
Figura 46 - Mapa topográfico de Cabo Verde.....	47
Figura 47 - Registo de temperaturas em Ribeira Brava (Cabo Verde).....	48
Figura 48 - Registo de precipitação em Ribeira Brava (Cabo Verde).....	48

Figura 49 - Invasão de habitações e caminhos por lama.....	49
Figura 50 - Escoamento a partir das vertentes para zona urbanizada.....	50
Figura 51 - Reconstrução de via rodoviária	50
Figura 52 - Atenas (Grécia).....	51
Figura 53 - Registo de temperaturas em Atenas (Grécia)	52
Figura 54 - Registo de pluviosidade em Atenas (Grécia)	53
Figura 55 - Acumulação da precipitação na tempestade de 22 de fevereiro de 2013 (Atenas).....	54
Figura 56 - Manila (Filipinas).....	54
Figura 57 - Registo de temperaturas em Manila (Filipinas).....	55
Figura 58 - Registo de pluviosidade em Manila (Filipinas).....	56
Figura 59 - Inundações em Manila provocadas pela tempestade tropical Ondoy	56
Figura 60 - Delimitação da ARU do Centro Histórico e das ribeiras de João Gomes e de Santa Luzia.....	62
Figura 61 - Padrões de drenagem: 1) Anelar, 2) Dendrítico, 3) Paralelo, 4) Radial, 5) Retangular, 6) Treliça	66
Figura 62 - Condições de fronteira para o cálculo da extensão média do escoamento superficial	69
Figura 63 - Curvas de regolfo aplicadas a canais prismáticos	77
Figura 64 - Enquadramento exterior do laboratório de Hidráulica	78
Figura 65 - Enquadramento exterior do laboratório de Hidráulica	78
Figura 66 - Canal multifunções do laboratório de Hidráulica.....	78
Figura 67 - Ajuste da inclinação do canal multifunções	78
Figura 68 - Válvula de segurança a montante	80
Figura 69 - Válvula de segurança a jusante.....	80
Figura 70 - Válvula de segurança do quadro elétrico.....	80
Figura 71 - Transmissão de energia ao canal para início da simulação	80
Figura 72 - Verificação de fugas a montante	80
Figura 73 - Verificação de fugas a jusante.....	80
Figura 74 - Regulação do caudal escoado no canal.....	81
Figura 75 - Instalação do medidor de nível na secção pretendida.....	81
Figura 76 - Ajuste do medidor ao nível de água do canal	81
Figura 77 - Representação esquemática do processo iterativo.....	82
Figura 78 - Delimitação da bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes e Santa Luzia.....	84
Figura 79 - Mapa hipsométrico das ribeiras de João Gomes e Santa Luzia.....	84
Figura 80 - Curva hipsométrica da ribeira de João Gomes	85
Figura 81 - Curva hipsométrica da ribeira de Santa Luzia.....	85
Figura 82 - Hierarquização de Strahler da ribeira de João Gomes e de Santa Luzia	85
Figura 83 - Hierarquização de Shreve da ribeira de João Gomes e de Santa Luzia.....	86
Figura 84 - Perfil Longitudinal do curso principal de água da ribeira de João Gomes	86
Figura 85 - Perfil Longitudinal do curso principal de água da ribeira de Santa Luzia.....	86
Figura 86 - Declive em graus das bacias hidrográficas das ribeiras de João Gomes e Santa Luzia.....	87
Figura 87 - Declive percentual das bacias hidrográficas das ribeiras de João Gomes e Santa Luzia ...	87
Figura 88 - Projeção a 20 anos do risco de cheias e respetiva rede viária afetada.....	91
Figura 89 - Projeção a 100 anos do risco de cheias e respetiva rede viária afetada	92
Figura 90 - Curva de regolfo da ribeira de João Gomes	93
Figura 91 - Curva de regolfo da ribeira de Santa Luzia	94
Figura 92 - Curva de regolfo para o trecho conjunto das 2 ribeiras	94
Figura 93 - Curva de regolfo do modelo experimental da ribeira de João Gomes.....	96
Figura 94 - Curva de regolfo do modelo experimental da ribeira de Santa Luzia	96
Figura 95 - Curva de regolfo do modelo experimental para o trecho conjunto das 2 ribeiras	96
Figura 96 - Rede viária na bacia hidrográfica da ribeira de Santa Luzia	99
Figura 97 - Rede viária na bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes.....	99

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores que influenciam o risco de cheia	9
Tabela 2 - Tipos de medidas mitigadoras de inundações	10
Tabela 3 - Síntese histórica das principais aluviões da ilha da Madeira	10
Tabela 4 - Eventos relevantes após 2009 – Adaptado de Caetano (2014)	11
Tabela 5 - Zonas críticas no concelho do Funchal	12
Tabela 6 - Caracterização do perigo de inundação	13
Tabela 7 - Matriz de risco de inundação	13
Tabela 8 - Tipologias dos instrumentos de gestão territorial	20
Tabela 9 - Tipos de vegetação essenciais em uma bacia hidrográfica	28
Tabela 10 - Quadro de registo de precipitação em São Nicolau	49
Tabela 11 - Lista de estradas propícias a serem afetadas por cheias.....	57
Tabela 12 - Análise casuística (geral)	58
Tabela 13 - Parâmetros de pressão antrópica da casuística.....	59
Tabela 14 - Formas das bacias hidrográficas e respetivas características.....	63
Tabela 15 - Classificação do grau de urbanização de uma bacia hidrográfica.....	68
Tabela 16 - Síntese dos tipo e regime de escoamento	71
Tabela 17 - Coeficiente m_I	72
Tabela 18 - Coeficiente K_{IS}	72
Tabela 19 - Coeficiente de escoamento para áreas urbanas, valores médios	73
Tabela 20 - Relação entre o coeficiente de ajustamento e respetivo período de retorno	73
Tabela 21 - Parâmetro de Giandotti	74
Tabela 22 - Condições antecedentes de humidade no solo	75
Tabela 23 - Relação tipo de solo - potencial de escoamento superficial.....	75
Tabela 24 - Número de escoamento CN , em bacias urbanas e suburbanas para as condições de humidade AMC - II.....	75
Tabela 25 - Classificação do declive das estruturas de desvio.....	76
Tabela 26 - Relação entre o regime de escoamento e a propagação das perturbações.....	76
Tabela 27 - Composição do sistema <i>HEC-RAS</i>	81
Tabela 28 - Coeficientes de rugosidade de Manning	83
Tabela 29 - Resumo das características das bacias hidrográficas das ribeiras de Santa Luzia e João Gomes	90
Tabela 30 - Coeficientes adotados para o cálculo do caudal de ponta de cheia	92
Tabela 31 - Cálculo do caudal de ponta de cheia	93
Tabela 32 - Alturas de água.....	95
Tabela 33 - Relação entre o canal em estudo e o modelo experimental.....	95
Tabela 34 - Análise comparativa entre os 3 modelos à ribeira de João Gomes	97
Tabela 35 - Análise comparativa entre os 3 modelos à ribeira de Santa Luzia	97
Tabela 36 - Análise comparativa entre os 3 modelos ao trecho conjunto das 2 ribeiras.....	98

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

SÍMBOLOS

\overline{L}_S	Extensão média do escoamento superficial
h_r	Humidade relativa do ar (média mensal)
A_D	Área de drenagem
$A_{Impermeável}$	Área impermeável da bacia
A_M	Área da secção molhada
A_T	Área total da bacia
C_F	Coefficiente de ajustamento em função do período de retorno
$C_{massividade}$	Coefficiente de massividade
$C_{orográfico}$	Coefficiente orográfico
D_{10-85}	Declive 10-85 do curso de água principal
D_D	Densidade de drenagem
D_H	Densidade hídrica
$D_{equivalente}$	Declive equivalente do curso de água
$D_{médio}$	Declive médio do curso de água principal
F_R	Número de Froude
\overline{H}	Altura média da bacia
H_{max}	Altura máxima de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração
I_{Relevo}	Índice de relevo da bacia
K_C	Índice de compacidade ou de Gravelius
K_F	Fator de forma
K_{IS}	Coefficiente da fórmula de Iskowski que depende da área total da bacia
K_L	Fator de alongamento
L_B	Comprimento da bacia
L_D	Comprimento da diretriz
L_T	Comprimento total dos cursos de água da bacia
L_e	Comprimento equivalente
N_i	Número de cursos de água da bacia
\overline{P}	Precipitação média anual
P_0	Parâmetro relativo às perdas diárias de precipitação que ocorrem antes de se dar início ao escoamento superficial
P_D	Precipitação máxima diária
P_M	Perímetro molhado da secção
$P_{útil}$	Precipitação útil
Q_{PC}	Caudal de ponta de cheia
R_B	Razão de bifurcação
R_E	Número de Reynolds
R_H	Raio hidráulico
T_C	Tempo de concentração
\overline{U}	Velocidade média
\overline{Z}	Altitude média da bacia
$Z_{equivalente}$	Altura equivalente do curso de água principal
l_e	Largura equivalente
m_I	Coefficiente da fórmula de Iskowski que depende da do solo, da cobertura vegetal e do relevo da bacia
h	Profundidade Hidráulica
A	Área da secção transversal

<i>B</i>	Largura da superfície livre
<i>C</i>	Coefficiente da fórmula racional que depende do tipo e da ocupação do solo da bacia hidrográfica
<i>CN</i>	Número de escoamento (do inglês “Curve Number”)
<i>I</i>	Intensidade média da precipitação
<i>I</i>	Índice térmico anual
<i>L</i>	Comprimento do curso de água principal
<i>N</i>	Insolação Astronómica média
<i>Q</i>	Caudal
<i>S</i>	Sinuosidade
<i>U</i>	Velocidade característica
<i>a</i>	Expoente empírico que depende exclusivamente do índice térmico anual
<i>g</i>	Aceleração gravítica
<i>i</i>	Inclinação média do curso de água principal
<i>n</i>	Coefficiente de Manning
<i>t</i>	Temperatura média mensal do ar
<i>λ</i>	Coefficiente da fórmula de Giandotti que depende da área da bacia
<i>μ</i>	Grau de urbanização de uma bacia
<i>v</i>	Viscosidade cinemática de um fluído

SIGLAS

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CEOT	Carta Europeia do Ordenamento do Território
COSRAM	Carta de Ocupação de Solos da Região Autónoma da Madeira
DL	Decreto de Lei
DROTA	Direção Regional do Ordenamento do Território e Ambiente
EEA	Agência Europeia do Ambiente
EN	Norma Europeia
IGT	Instrumentos de Gestão Territorial
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
JORAM	Jornal Oficial da Região Autónoma da Madeira
LBA	Lei de Bases do Ambiente
LBPOTU	Lei de Bases da Política de Ordenamento do Território e de Urbanismo
OT	Ordenamento do Território
PC	Proteção Civil
PERRAM	Plano Estratégico de Resíduos da Região Autónoma da Madeira
PGRH-RH10	Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Arquipélago da Madeira
PGRI-RAM	Plano de Gestão dos Riscos de Inundações da RAM
PNPOT	Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território
PRAM	Plano Regional da Água da Madeira
PREPC- RAM	Plano Regional de Emergência de Proteção Civil da Região Autónoma da Madeira
PS	Planos Setoriais
RAM	Região Autónoma da Madeira
RJIGT	Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial
SGPT	Sistema de Gestão e Planeamento do Território em Portugal
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SNIHR	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
PPERAM	Plano de Política Energética da RAM
PRPA	Plano Regional de Política do Ambiente
POT	Plano de Ordenamento Turístico
PEOT	Planos Especiais de Ordenamento do Território
POAP	Planos de Ordenamentos de Áreas Protegidas
POOC	Planos de Ordenamento da Orla Costeira
POPA	Planos de Ordenamento de Parques Arqueológicos
POAAP	Planos de Ordenamento de Albufeiras de Águas Públicas
PROT	Planos Regionais de Ordenamento do Território
PMOT	Planos Municipais de Ordenamento do Território
PIMOT	Planos Intermunicipais de Ordenamento do Território
PDM	Planos Diretores Municipais
PU	Planos de Urbanização
PP	Planos de Pormenor
SGT	Sistema de Gestão Territorial
DLR	Decreto Legislativo Regional
SRGT	Sistema Regional de Gestão Territorial
SNIG	Sistema Nacional de Informação Geográfica
ARU	Área de Reabilitação Urbana
<i>EVP</i>	Evapotranspiração

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

1.1. JUSTIFICATIVA

A predisposição espacial dos cursos de água alterados por meios humanos, também denominados de canais de água artificiais, representa um fator importante no objetivo de salvaguardar meios humanos e materiais. Destas linhas de água modificadas, as que mais se destacam a nível regional são as ribeiras que têm como finalidade primária a capacidade de drenar um caudal, seja ele o do dia-a-dia ou o de um evento extremo de precipitação que se verifique na ilha da Madeira.



Figura 1 - Ribeira de Santa Luzia

Fonte: Diário de Notícias, 2018.



Figura 2 - Ribeira de João Gomes

Fonte: Fénix do Atlântico, 2013.

No último século tal como demonstra Caetano (2014), foi possível manter o registo de eventos extremos de precipitação originários de situações de cheia, com incidência em praticamente toda a ilha e períodos de retorno na sua maioria inferiores a 10 anos, tornando-a vulnerável e com a obrigação de uma rápida adaptação a estes fenómenos, melhorando as medidas preventivas e aumentando a velocidade de reação aos acontecimentos.

O fenómeno de cheias dá-se quando a precipitação incidente nas bacias hidrográficas e drenada através das respetivas ribeiras, atinge um nível superior ao dos muros de contenção que delimitam lateralmente a secção transversal dos canais. A causa mais provável do extravasamento do leito das ribeiras, deve-se ao deficiente dimensionamento da rede de drenagem das bacias hidrográficas para chuvadas de alta intensidade e curta duração (as mais usuais na RAM), não podendo, contudo, ser excluída a pressão antropogénica que se verifica através de diversos fatores.

É nas áreas urbanas que a problemática se assume com riscos e prejuízos acrescidos, uma vez que é nestas que se concentra a maioria da área habitacional e comercial dos municípios. Atendendo a este facto, e não querendo ou devendo descuidar a necessidade de efetuar um estudo aprofundado às áreas rurais, torna-se indispensável e primária a correta caracterização das bacias hidrográficas em que se inserem os canais de água artificiais que atravessam meios urbanos, relacionando-a com os princípios de planeamento urbano e ordenamento territorial, presentes nos instrumentos de gestão territorial em vigor a nível municipal, intermunicipal e regional, Moura (2019).

De forma a aprofundar o conhecimento sobre os escoamentos superficiais em áreas urbanas, nomeadamente o efetuado em canais artificiais, relacionando-os com os respetivos sistemas de drenagem devidamente caracterizados, torna-se imprescindível a sua simulação através de modelos hidrodinâmicos, contribuindo para a composição e atualização de medidas preventivas e mitigadoras do efeito das cheias, Camacho (2015).

Deste modo, importa concretizar objetivos específicos, inerentes à temática em estudo:

1. Analisar e caracterizar fenómenos de cheias em áreas urbanas à escala global, identificando características idênticas e diferenciadoras do caso de estudo local, ao mesmo tempo avaliando os fatores e respetivo impacto da pressão antropogénica;

2. Aplicar um modelo à escala de simulação hidrodinâmica, considerando os escoamentos variáveis em superfície livre afetos à ocorrência de cheias, na simulação entre as condições variáveis das aflúncias, das condições hidromorfológicas do canal e da instalação e operação dos sistemas e regulação dos escoamentos;
3. Avaliar a adequabilidade da predisposição espacial dos canais artificiais em estudo, relacionando-o com instrumentos de gestão em vigor afetos ao planeamento urbano e ordenamento territorial;
4. Analisar a viabilidade da aplicação de modelos de gestão territorial, nomeadamente das bacias hidrográficas, bem como, de medidas mitigadoras do risco de cheias em canais artificiais, verificados em outras ocorrências a nível global.

1.2. METODOLOGIA

De forma a atingir os objetivos da investigação pretendidos estabeleceram-se metodologias constituídas por diferentes técnicas. Em primeira instância, importa recolher toda a informação bibliográfica disponível, alusiva às temáticas da tese, nomeadamente a Hidráulica, o Planeamento Urbano e o Ordenamento Territorial. Esta efetuou-se com a análise de documentos, baseando-se em publicações (livros, revistas, dissertações, jornais, etc.) em formato papel e digital, textos e variados documentos jurídicos consultados na internet.

No que concerne à metodologia adotada para a análise ao Planeamento Urbano e Ordenamento Territorial, utilizaram-se técnicas como a abordagem aos instrumentos de gestão territorial efetuados a diferentes escalas nomeadamente nacional, regional e local, ou a análise a elementos estatísticos e registos históricos, tais como o “Crescimento Demográfico Urbano” e a “Síntese Histórica das Principais Aluviões da Ilha da Madeira”.

Seguidamente é efetuada a análise de diferentes ocorrências de fenómenos de cheias (aplicados a áreas urbanas) à escala global, com particular incidência na região da Macaronésia, na qual se insere a ilha da Madeira e conseqüentemente os canais artificiais alvo de estudo (ribeiras de João Gomes e Santa Luzia), cujo histórico afeto à problemática é vasto e recorrente. Nas diversas localizações geográficas foi tido em conta os fatores demográficos, climáticos e de pressão antropogénica.

A metodologia adotada para a análise Hidráulica, assume um caráter quantitativo - nomotético (estratégia metodológica diretamente ligada ao estabelecimento de leis de caráter geral ou de estudo de fenómenos com ocorrência frequente, com particular incidência aos naturais). A adoção desta estratégia deve-se ao facto de enfatizar o desenvolvimento da investigação, de acordo com protocolos estabelecidos e técnicas inerentes, situando-se no âmbito do método das ciências generalistas, baseando-se na realização de testes a hipóteses, tornando-se apropriada para a área da Engenharia Civil, subárea de Hidráulica (fluvial).

Decorrente da análise bibliográfica subordinada à Hidráulica (fluvial), identificaram-se as variáveis essenciais como sendo o tempo de concentração, a precipitação e o caudal, sendo que a estas se juntam outros parâmetros relevantes para a caracterização de bacias hidrográficas. A caracterização extensiva das bacias em estudo e dos seus principais cursos de água, foi possível recorrendo a modelos digitais do terreno através do *software ArcGIS*, possibilitando a análise às características geométricas, de drenagem e de relevo das mesmas.

A etapa seguinte traduz-se na análise da precipitação com recurso a folhas de cálculo e dados, obtidos através de instituições como Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIHR) e o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), de forma a calcular os valores das precipitações média diária e anual, essenciais na aplicação de expressões empíricas que possibilitam calcular as variáveis essenciais supramencionadas.

Uma terceira fase, implica a seleção dos troços mais relevantes dos canais de água artificiais em estudo (neste caso junto à foz, pelo seu carácter de perigosidade acrescida), efetuada com recurso a folhas de cálculo programadas, ao *software HEC-RAS* e à simulação no Laboratório de Hidráulica da Universidade da Madeira, permitindo a modelação dos troços referidos e realização de uma comparação entre os valores obtidos em cada um dos modelos e o expectável.

O desenvolvimento da presente dissertação de mestrado, pode ser simplificado sob a forma de um organigrama, Figura 3, tendo se iniciado com uma extensa pesquisa bibliográfica e a análise à casuística de cheias em canais artificiais. Seguidamente procedeu-se a uma análise visual às zonas em estudo e respetiva recolha e tratamento de modelos digitais terrestres através do *software ArcGIS*. Posteriormente procedeu-se à organização e tratamento dos resultados obtidos, finalizando com uma conclusão correlacionando todas as etapas anteriores e, antevendo futuros trabalhos académicos relevantes.

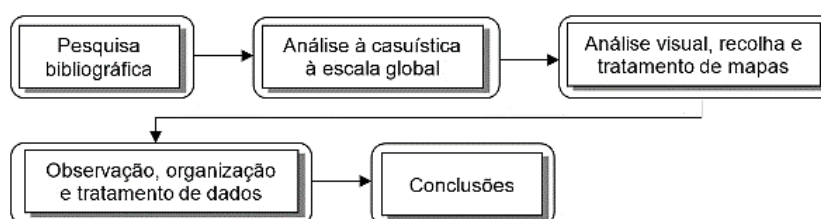


Figura 3 - Metodologia adotada

Fonte: Elaborado pelo autor

1.3. ESTRUTURA

A presente dissertação com a finalidade de conclusão do mestrado em Engenharia Civil, inclui 5 capítulos e respetivos anexos, seguidamente apresentados de forma sintetizada:

- I. No capítulo inicial, efetua-se a justificação para a elaboração da dissertação, mencionando os seus respetivos objetivos, metodologia e estrutura;
- II. No segundo capítulo, é apresentado o estado da arte, nomeadamente quanto às temáticas de planeamento urbano e ordenamento do território, complementadas com a articulação de casuísticas associadas à temática das cheias em cursos de água aplicadas a áreas urbanas;
- III. O terceiro capítulo inicia-se com o enquadramento teórico, para a devida caracterização das bacias hidrográficas em estudo. O capítulo é composto ainda pela análise da precipitação, seguindo-se a descrição dos modelos numéricos a considerar e do modelo experimental necessário para a correta caracterização, modelação e simulação do escoamento;
- IV. O quarto capítulo expõe o tratamento e organização dos dados obtidos através dos vários modelos utilizados;
- V. A dissertação é concluída no quinto capítulo onde se tecem as considerações finais, retiradas ao longo de todo o trabalho, apontando ainda várias possibilidades de desenvolvimento da investigação realizada;
- VI. Nos anexos, encontram-se de forma ordenada, documentos elaborados no decorrer da dissertação, de extrema utilidade para a conceção do trabalho, assim como a metodologia para desenvolver folhas de cálculo programadas, utilizadas neste trabalho.

CAPÍTULO 2
ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1. ESTADO DA ARTE

As mudanças climáticas são notórias em várias partes do globo, sendo inegável a sua influência na alteração da disponibilidade dos recursos hídricos. Segundo Santos (2013), as alterações na dinâmica da temperatura média do ar e da pluviosidade, afetam a quantidade e qualidade de um bem indispensável à sobrevivência humana como é o caso da água.

Santos (2010), refere que as alterações na dinâmica da precipitação pluviométrica têm provocado alterações na distribuição temporal e espacial dos recursos hídricos, tendo como consequências diretas um aumento da procura de água em determinadas áreas do globo, levando inclusive a conflitos pela sua posse e, por outro lado o excesso de disponibilidade em outras, originando a ocorrência de fenómenos de cheias.

2.1.1. Cheias

Atendendo à norma europeia EN 752 (EN (752), 2008), podemos descrever o fenómeno de cheias como o acontecimento em que o conjunto das águas residuais e do escoamento superficial, não pode ser comportado e escoado na sua totalidade por uma rede de drenagem e, portanto, se mantém à superfície, potencialmente afetando infraestruturas urbanas.

De acordo com o descrito por Sá (2011): “(...) o risco de inundações é um dos mais importantes em Portugal, sendo provavelmente responsável por impactes económicos e sociais muito significativos”, pelo que urge estabelecer um registo das mesmas, assim como, definir medidas preventivas e mitigadoras deste fenómeno, de modo a salvaguardar bens humanos e materiais.

O relatório da Agência Europeia do Ambiente EEA (2012), e a diretiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu, estabelecem que eventos de cheias podem ter origens distintas e ocorrer quer em áreas rurais quer urbanas, sendo nestas últimas onde o perigo é maior, podendo ser classificado em diferentes categorias. Segundo Gonçalves (2015), as três mais relevantes são:

1. Cheias fluviais – dão-se quando o nível de água de um canal artificial ou natural sobe acima da cota máxima das paredes que o delimitam, fazendo com que a água se espalhe para as suas imediações. Embora possa variar no que concerne à gravidade do fenómeno, este pode acontecer com regularidade apenas baseada no ciclo hidrológico anual e ter a duração de horas, dias ou mesmo semanas, Figura 4.



Figura 4 - Exemplo de cheia fluvial (Acre, Brasil)

Fonte: G1 Globo, 2012.

2. Cheias costeiras – ocorrem quando o nível da água do mar é suficientemente alto para invadir as zonas costeiras do território, geralmente com uma altitude menor. Podem ainda dar-se devido ao bloqueio do natural escoamento dos canais artificiais ou naturais por parte da água do mar, com a sua introdução a ser efetuada pela foz dos canais conduzindo ao extravasamento do troço final do curso de água, com consequências ao nível de danos no sistema de drenagem, Figura 5.



Figura 5 - Exemplo de cheia costeira

Fonte: Onda Viva, 2017.

3. Cheias pluviais – são de uma forma generalista causadas pela ocorrência ou passagem de uma tempestade por uma localização com um sistema de drenagem incapaz de suportar tamanho volume de água, resultando em escoamento superficial e possíveis danos na estrutura hidráulica do mesmo. Este tipo de cheias é mais difícil de prever e tem um impacto maior que as inundações de caráter fluvial ou costeiro, tendo normalmente duração inferior a um dia, Figura 6.



Figura 6 - Exemplo de cheia pluvial (Madeira, Portugal)

Fonte: Wikimedia, 2010.

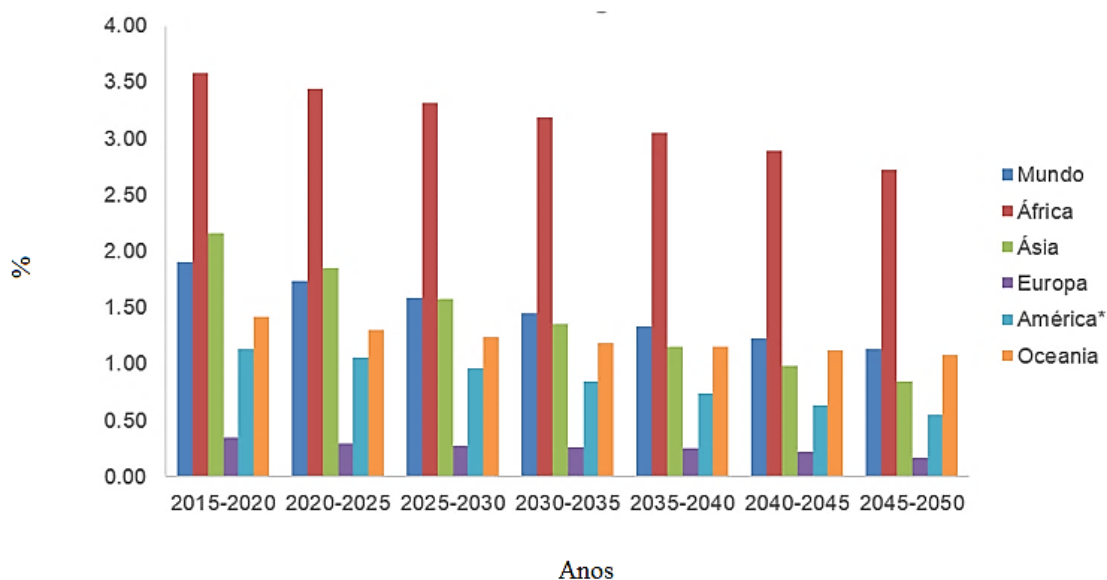
Pelo facto de o fenómeno de cheias em áreas urbanas, tal como referido anteriormente, originar uma problemática de maior dimensão face à sua congénere em meio rural (com resultados comprovados a nível regional), será o objeto de estudo da presente dissertação.

2.1.1.1. Fenómeno de Cheias em Áreas Urbanas

“As cidades são sistemas dinâmicos, onde a compreensão da evolução histórica e a forma como esta molda o tecido urbano é crucial na avaliação da vulnerabilidade ao risco de cheia. A necessidade de gerir e adaptar cidades do Século XXI às mudanças de demografia, tendências e alterações climáticas apresenta-se como um desafio.” (Moreira 2016, p.8).

O fenómeno de cheias em meios urbanos é uma problemática que ganha outra dimensão, uma vez que envolvem em primeiro lugar a segurança da população e, em segundo a preservação dos bens materiais. No que diz respeito às linhas de água regularizadas (também designadas por canais de água artificiais) que atravessam áreas urbanas, introduzem variações no canal natural ao nível da largura, profundidade e rugosidade, tornando-se fulcral a correta caracterização do escoamento mediante modelos que integrem na sua análise a variabilidade espacial do mesmo, determinando a adequabilidade da estrutura hidráulica nomeadamente quanto ao galgamento, Moura (2019).

Consubstanciando a importância de fatores como o crescimento demográfico urbano, todos os anos a Organização das Nações Unidas através do seu Departamento de Assuntos Sociais e Económicos (Divisão Populacional) publica projeções da sua evolução a longo prazo, Figura 7 e Figura 8. A evolução descontrolada do tecido urbano e as já mais que previsíveis alterações climáticas, induzem a necessidade de um bom planeamento e ordenamento do território, Genç (2019), assim como a preservação das linhas de água no seu estado ótimo de escoamento de forma a assegurar tais objetivos, Moura (2019).



* Valor obtido através de uma média ponderada.

Figura 7 - Taxa de crescimento demográfico urbano (estimativa, em %)

Fonte: Elaborado pelo autor

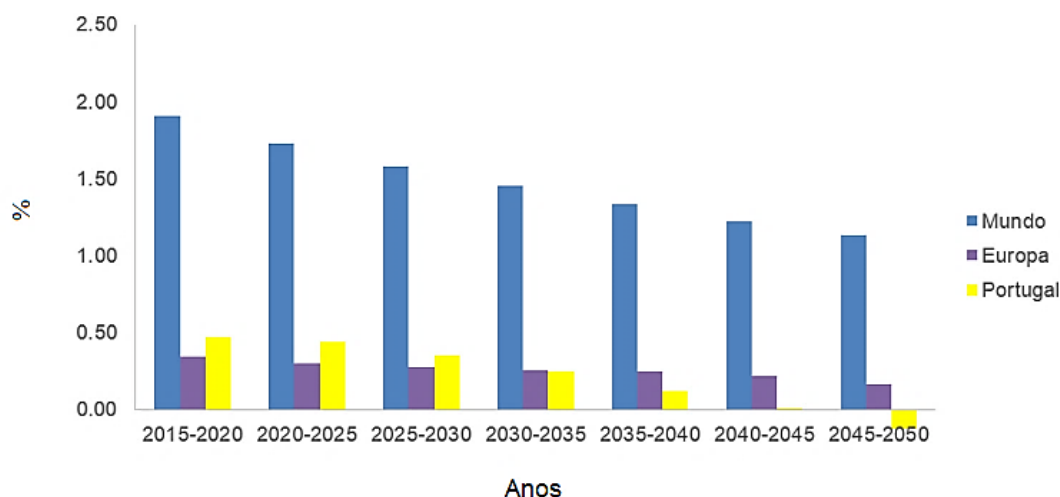


Figura 8 - Taxa de crescimento demográfico urbano nacional (estimativa, em %)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Devido à complexidade da hidrologia urbana se encontrar em constante mudança, torna-se difícil prever com exatidão as zonas da urbe mais suscetíveis ao risco de cheia. Contudo, segundo Gaspar (2013) e Rodrigues (2017), é possível considerar pelo menos dez fatores que evidenciam e potenciam o risco da ocorrência de cheias, agrupados em três tipos distintos, Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores que influenciam o risco de cheia

Fatores Geomorfológicos	Altitude máxima
	Declive
	Densidade hídrica
	Distância à linha de água
Fatores Meteorológicos	Acumulação do fluxo de água pluvial
	Chuvada de tempestade de intensidade máxima com diferentes durações
Fatores construtivos	Posicionamento da entrada de menor cota para a estrutura
	Grau de impermeabilização
	Ocupação do leito do canal
	Rede de drenagem

Fonte: Elaborado pelo autor.

Rodrigues (2017) refere que a utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tem se revelado de extrema importância no que toca à análise espacial do risco de cheias, assumindo-se como uma ferramenta auxiliar para representação gráfica de diversos fatores acima descritos. A partir da análise SIG, torna-se possível iniciar o planeamento do território, com prioridade sua à área urbana, para implementar medidas de prevenção e mitigação do risco de cheias e inundações, Gaspar (2013).

2.1.1.2. Medidas mitigadoras de cheias e inundações

De acordo com o referido por Reis (2015), as obras de mitigação de cheias contribuem para o “(...) controlo do volume de água afluente à linha principal de encaminhamento, permitem o controlo da evolução morfológica do curso de água, permite ainda uma redução do transporte sólido e previne a erosão das margens e leito do curso de água”.

As medidas de mitigação de cheias e inundações subdividem-se em dois grupos – *i.e.* medidas estruturais e não estruturais. A Tabela 2, expõe o propósito e exemplos práticos de cada um dos grupos de medidas mitigadoras.

Tabela 2 - Tipos de medidas mitigadoras de inundações

Origem	Medidas	
	Estruturais	Não estruturais
Propósito	(ao nível administrativo) reduzir um ou vários parâmetros das cheias, do ponto de vista hidráulico ou hidrológico, ao nível das áreas inundáveis – caudal, altura de cheia, etc.	(ao nível da propriedade), estabelecidas a nível regulamentar, normativo e legislativo – e.g. DL n.º 130/2012, de 22 de junho. ¹
Exemplos	Diques, barragens e bacias de retenção	Planos municipais de emergência
	Modificação no leito e regularização fluvial	Sistemas de alerta e previsão de cheias
	Modificação na bacia de escoamento	Seguros relativos a cheias
	Minimização das áreas impermeabilizadas	Reparação e restituição da vegetação nas bacias hidrográficas, principalmente nas zonas adjacentes à rede hidrográfica
	Proteção das construções	Formação e informação ao público

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Moreira, 2016.

2.1.1.3. Cheias e inundações na ilha da Madeira

O registo de cheias de proporções relevantes na RAM, tem sido efetuado ao longo do tempo, diferindo na sua data de ocorrência e na sua origem, salientando a importância dada ao fenómeno. Têm sido vários os autores que destacam estas ocorrências, nomeadamente o *Elucidário Madeirense* de Silva (1940), Quintal (1999) ou ainda, mais recentemente a *Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira* de (Oliveira, 2011), Camacho (2015), Gonçalves (2016) e Miranda (2018).

Através da Tabela 3, torna-se possível identificar os principais acontecimentos aluvionares registados na ilha da Madeira, discriminados pela sua data de ocorrência, a localização na ilha e os prejuízos (oficiais). Um dado importante decorrente da análise da tabela, é o de que o período de retorno de uma aluvião na Madeira no último século (ou seja, entre 1920 e 2009), foi de apenas 7,4 anos, tendo o diferencial máximo atingido os 17 anos entre 1939 e 1956 e o menor de apenas 3 dias em 1970. Por outro lado, tendo como referência central (pela gravidade e relevância) o acontecimento de fevereiro de 2010, foi possível elaborar uma lista de eventos semelhantes ocorridos posteriormente embora com consequências de menor dimensão, Tabela 4.

Tabela 3 - Síntese histórica das principais aluviões da ilha da Madeira

Data	Localização	Prejuízos
9 de outubro de 1803	Funchal	800 – 1000 vítimas
26 de fevereiro de 1920	Funchal, Ribeira Brava e Camacha	5 vítimas
6 de março de 1929	São Vicente	32 vítimas, 11 habitações, 100 palheiros destruídos
30 de dezembro de 1939	Madalena do Mar	4 vítimas
11 de fevereiro de 1956	Curral das Freiras	2 vítimas
3 de novembro de 1956	Machico e Santa Cruz	6 vítimas
3 a 6 de janeiro de 1970	Ribeira Brava e Serra de Água	5 vítimas
9 de janeiro de 1970	Ribeira Brava e Serra de Água	4 vítimas
21 de setembro de 1972	Santo António	2 vítimas
20 de dezembro 1977	Estreito de Câmara de Lobos	4 vítimas e 45 desalojados
23 e 24 de janeiro de 1979	Machico, Porto da Cruz, Camacha, Canhas, Calheta e Fajã do Penedo	14 vítimas
29 de outubro de 1993	Generalizado pela ilha da Madeira	4 vítimas, 4 desaparecidos, 306 desalojados, 76 habitações afetadas e 27 feridos
5 e 6 de março de 2001	Curral das Freiras e São Vicente	5 vítimas (turistas) e 120 desalojados
22 de dezembro de 2009	Madalena do Mar e São Vicente	Destruição de vias de comunicação e habitações

Fonte: Caetano, 2014 (adaptado)

¹ Decreto de Lei onde se expõe as medidas não estruturais de proteção contra cheias e inundações, (Artigo 40.º).

Tabela 4 - Eventos relevantes após 2009 – Adaptado de Caetano (2014)

Data	Zona	Prejuízos
2 de fevereiro de 2010	Faial	Destruição de vias de comunicação
	Porto da Cruz	
20 de fevereiro de 2010	Ribeira Brava, Câmara de Lobos, Funchal e Santa Cruz	48 mortos, 250 feridos, 600 desalojados, 500 viaturas destruídas, 800 habitações danificadas
21 de outubro de 2010	Funchal	5 desalojados e destruição de vias de comunicação
20 de dezembro de 2010	Curral das Freiras e Funchal	2 feridos, habitações danificadas, viaturas destruídas, destruição de vias de comunicação
6 de novembro de 2012	Porto Moniz e São Vicente	6 feridos, 71 desalojados, dezenas de viaturas danificadas, 11 habitações danificadas
29 de novembro de 2013	Porto da Cruz e Santo António da Serra	5 feridos, 6 desalojados, danos em Habitações, destruição de vias de comunicação

Fonte: Caetano, 2014 (adaptado)

A tabela anterior, resulta de vários trabalhos de investigação dedicados à temática das aluviões na RAM e respetivos impactos diretos, elaborados posteriormente ao acontecimento de fevereiro de 2010, sendo que se destacaram em 2010 os de Sepúlveda, em 2011 de Castro, Policarpo em 2012, Peixoto em 2013 e Góis, Marques e Caetano em 2014.

2.1.1.4. Seleção e Identificação das Zonas Críticas

A DROTA foi a entidade responsável na RAM, pela identificação das zonas críticas a cartografar após a ocorrência de inundações, sendo definida no documento “Implementação da Diretiva n.º 2007/60/CE, de 23 de outubro, transposta pelo Decreto de Lei (DL) n.º 115/2010, de 22 de outubro (Diretiva sobre a Avaliação e Gestão dos Riscos de Inundações) na RAM”.

Segundo o documento mencionado anteriormente, definem-se quatro critérios que possibilitam a identificação e seleção de zonas críticas, nomeadamente:

- I. Registo de cheias e inundações com ocorrência de pelo menos uma vítima (morta ou desaparecida);
- II. Registo de cheias e inundações com ocorrência de pessoas afetadas (evacuadas/desalojadas ou feridas);
- III. Registo de cheias e inundações com ocorrência de danos em pelo menos uma infraestrutura pública/privada);
- IV. Intervenções de hidráulica torrencial de caráter defensivo e de reforço de cursos de água, com vista à diminuição da vulnerabilidade territorial, em particular aquelas concretizadas na sequência da aluvião de 20 de fevereiro de 2010.

Assim, tornou-se possível a identificação e seleção das zonas críticas na RAM, Figura 9, sendo de particular interesse para a presente dissertação, as do concelho do Funchal, expostas na Tabela 5. Dos seis canais de água artificial assinalados no concelho do Funchal, com um total de 57 zonas críticas, serão alvo de estudo no caso prático apenas dois, nomeadamente as ribeiras de João Gomes e Santa Luzia.

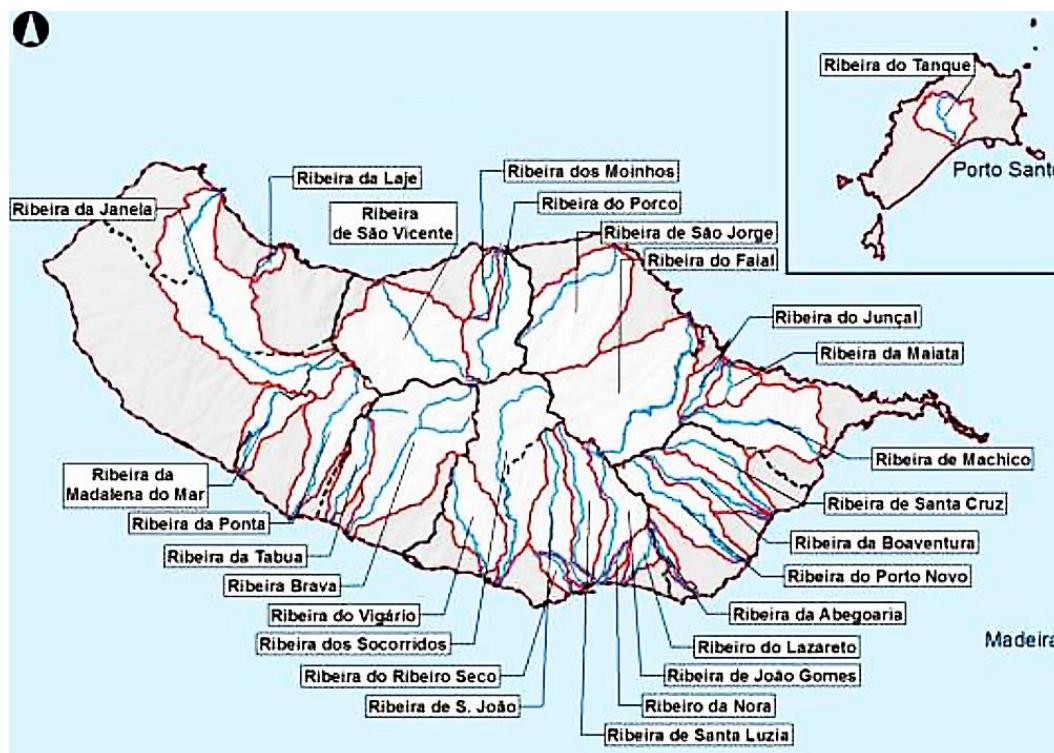


Figura 9 - Cursos de água com risco hidrológico

Fonte: Plano de Gestão de Riscos de Inundação da RAM, SRA, 2017.

Tabela 5 - Zonas críticas no concelho do Funchal

Localidade	Linha de água	Número de zonas críticas
Funchal	Ribeira de João Gomes	10
	Ribeira de Santa Luzia	9
	Ribeira de São João	8
	Ribeira do Ribeiro Seco	7
	Ribeiro da Nora	11
	Ribeira do Lazareto	12

Fonte: Plano de Gestão de Riscos de Inundação da RAM, SRA, 2017. (adaptado).

Alguns instrumentos de gestão territorial e de planeamento de emergência, acabam por ter a sua área de ação coincidente com as zonas críticas assinaladas, incluindo por isso na sua génese elementos que visam minimizar ou mitigar potenciais prejuízos advindos de inundações.

Destes instrumentos, destacam-se com particular relevância para a zona de estudo, o Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Arquipélago da Madeira (PGRH-RH10), o Plano Regional da Água da Madeira (PRAM) ou ainda o Plano Regional de Emergência de Proteção Civil da Região Autónoma da Madeira (PREPC-RAM), uma vez que além de incluírem medidas mitigadoras do risco de inundação, definem as áreas mais propícias à ocorrência deste fenómeno.

2.1.1.5. Risco de Inundação

Segundo o DL n.º 115/2010 de 22 de outubro, o risco de inundação designa a probabilidade de ocorrência de inundações, considerando os possíveis prejuízos para a saúde humana, ambiente, património cultural, infraestruturas e atividades económicas. O fluxograma exposto na Figura 10, elucida os elementos necessários para a criação da cartografia de risco de inundação.

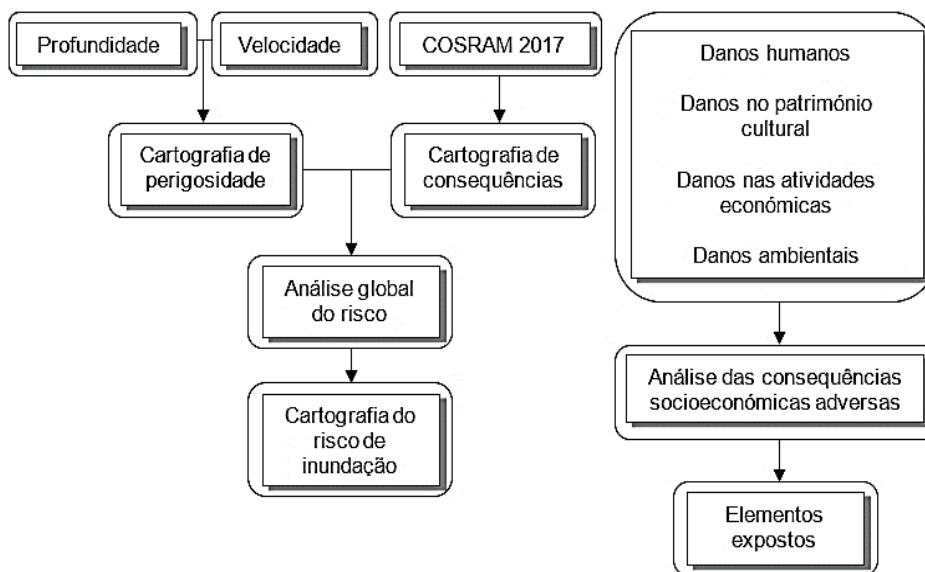


Figura 10 - Fluxograma originário da cartografia de risco

Fonte: Plano de Gestão dos Riscos de Inundação da RAM – SRA, 2017 (adaptado).

Wallingford (2005), deduziu uma fórmula empírica, Equação 1, que permite calcular o grau de perigo de inundação, relacionando a profundidade da inundação (d) com a velocidade de escoamento (v), tendo sido posteriormente adotada pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) para a elaboração da cartografia de risco de inundação.

$$P_i = d \times (v + 0.5) \tag{Equação 1}$$

No que concerne à elaboração das cartas de perigo de inundação, devem ser adotados os valores críticos expostos na Tabela 6

Tabela 6 - Caracterização do perigo de inundação

$P_i = d \times (v + 0.5)$	Nível de ameaça	Quantificação do risco
< 0.75	Inexistente (I)	-
0.75 a 1.25	Baixo (B)	Cautela
1.25 a 2.5	Médio (M)	Perigo apenas para alguma população
2.5 a 7	Alto (A)	Perigo para a maioria da população
> 7	Muito alto (MA)	Perigo para toda a população

Fonte: PGRI-RAM, 2017 (adaptado)

Com a nova classificação proposta pela Carta de Ocupação de Solos da Região Autónoma da Madeira (COSRAM) de 2007 e, atendendo à caracterização do nível de ameaça de inundação patente na tabela anterior, criou-se a matriz de risco de inundação, que relaciona a gravidade das consequências com a perigosidade de uma inundação, Tabela 7.

Tabela 7 - Matriz de risco de inundação

	Insignificante	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Mínima	I	I	B	B	M
Reduzida	I	B	M	M	A
Média	B	M	M	A	A
Alta	B	M	A	A	MA
Máxima	M	A	A	MA	MA

Fonte: PGRI-RAM, 2017 (adaptado)

2.1.1.6. Prevenção de Riscos - Proteção Civil

O sistema de prevenção de riscos (conjunto de medidas destinadas a impedir ou evitar que fenómenos naturais, atividades industriais ou outras desenvolvidas pelo homem provoquem catástrofes) constitui em Portugal um dos quatro vetores do modelo territorial, o que significa que a gestão preventiva de riscos constitui uma prioridade de primeira linha da política de ordenamento do território, sendo considerada como condicionante fundamental da organização das várias componentes do modelo e um objetivo do Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT) e ainda um elemento obrigatório dos outros instrumentos de gestão territorial (Julião, 2009).

De acordo com a Lei de Bases da Proteção Civil – Lei n.º 27/2006, de 3 de junho, a proteção civil (PC), é definida como a atividade desenvolvida pelo estado, regiões autónomas e autarquias locais, pelos cidadãos e por todas as entidades públicas e privadas, com o fim último de prevenir riscos coletivos. Estes podem estar associados a situações de acidente grave (com efeitos relativamente limitados temporal e espacialmente, suscetíveis de atingir seres vivos, os bens materiais ou o ambiente), ou de catástrofe (acidente ou série de acidentes graves com probabilidade de provocarem elevados prejuízos materiais ou vítimas, afetando de forma intensiva as condições de vida e o tecido socioeconómico de um território), atenuando os seus efeitos, protegendo e socorrendo as pessoas e bens que se verifiquem em perigo.

Assim sendo, um dos objetivos essenciais da PC é a prevenção de riscos de carácter coletivo e da ocorrência de acidentes graves ou catástrofes, através do levantamento, previsão, avaliação dos mesmos. Por outro lado, a PC ocupa-se da vulnerabilidade permanente face a situações de risco, assim como, da informação e formação das suas populações.

A utilização de um processo de caracterização de risco na proteção civil, é então claramente uma vantagem por ser uma oportunidade para conhecer devidamente e reduzir o risco para a população, os seus bens e para o ambiente, através de atividades de prevenção e mitigação. Ao mesmo tempo promove tomadas de decisão sobre o risco e quais os recursos a afetar.

2.2. ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

O termo ordenamento, designa uma ferramenta de gestão do espaço biofísico que permite dar resposta aos desafios territoriais de cada país, através da organização, utilização, e transformação do território de acordo as suas potencialidades, considerando os aspetos económicos, culturais e ambientais, de forma a minimizar as disparidades regionais, melhorar o uso e organização dos espaços, proteger o ambiente bem como promover a qualidade de vida das populações locais.

“O ordenamento do território visa a utilização otimizada do espaço, procurando dar resposta e compatibilizar as necessidades das atuações com impacto no território (da habitação ao emprego, da circulação ao consumo e ao lazer, entre outros), sem colocar em risco o ambiente e a utilização dos recursos endógenos”. (Pereira, 1997, p.73).

De acordo com Caldeira (2008) o Ordenamento Territorial pressupõe: *“(...) a utilização de diversos instrumentos de gestão territorial definidos por cada país (e a várias escalas), os quais contribuem para a novas soluções estratégicas para o território (...)*”. Contextualmente, o Ordenamento do Território tem como propósito a resolução de problemáticas inerentes ao território, permitindo oportunidades, através de uma posição pró-ativa na matriz dos desafios territoriais. À semelhança do referido por Lopes, (2001): *“(...) raro é o país que não é confrontado com a existência de regiões com problemas”.*

2.2.1 Objetivos

O ordenamento territorial assume diversos objetivos, dependendo das necessidades e prioridades de cada Estado, sendo a sua determinação uma tarefa essencialmente política (Carta Europeia do Ordenamento do Território, 1983). Não obstante, o seu principal objetivo é promover um desenvolvimento territorial sustentável e promover a qualidade de vida atual bem como assegurar tais condições para futuras gerações. Neste sentido, e de acordo com a Carta Europeia do Ordenamento do Território (CEOT), os objetivos fundamentais do OT definem-se por:

- I. Garantir o desenvolvimento equilibrado das regiões – i.e. apoio às mais deprimidas, melhoria do reforço da rede urbana, proteção e conservação das zonas rurais, planeamento estratégico na localização das atividades económicas, dinamização e capacitação dos recursos humanos, definição estratégica das redes de infraestruturas e equipamentos sociais;
- II. Melhorar as condições e qualidade de vida das populações – i.e. garantindo o seu bem-estar, através do acesso a utilização de serviços e infraestruturas públicas e do património natural e cultural, seja através da criação de postos de emprego, acesso à habitação, dotação de equipamentos, lazer e de um ambiente sadio com qualidade;
- III. Gestão responsável dos recursos naturais, assim como investir na proteção do meio ambiente, visando a sua conservação, garantindo a conciliação inerente à satisfação da necessidade de utilização, bem como o respeito pelas particularidades locais, gestão responsável do solo como suporte de atividades, conservação dos recursos, ecossistemas, do ar, da água, da paisagem, belezas naturais e do património cultural e arquitetónico;
- IV. Utilizar de forma consciente os recursos, e o uso múltiplo do solo, controlando a implementação de atividades através de processos planeamento de planeamento estratégico, visando a salvaguarda dos interesses coletivos.

2.2.2 Princípios

Segundo a CEOT, o ordenamento do território deve ser orientado sob vários princípios fundamentais, tais como:

- I. Democrático - orientado, de forma a assegurar a participação pública, apelando à consciência cívica da população, através do acesso à informação e à intervenção nos procedimentos de elaboração, execução, avaliação e revisão dos instrumentos de gestão territorial;
- II. Global e integrador - integrando as políticas setoriais, articulando o ordenamento com as políticas de desenvolvimento económico e social;
- III. Funcional e prospetivo - considerando as especificidades do território e, conseqüentemente planear a longo prazo.

Além dos princípios acima referidos de acordo com Castanho (2017), outros podem e devem ser considerados, tais como: interesse público; grau de sustentabilidade em que o ordenamento deve salvaguardar, conservar e valorizar os recursos endógenos do território quer a nível ambiental, cultural e natural, assegurando a satisfação das necessidades presentes sem comprometer a capacidade de decisão das gerações futuras; subsidiariedade e equidade, no sentido de garantir o acesso aos recursos e às oportunidades associadas, tendo como objetivo corrigir/mitigar desequilíbrios inerentes aos níveis de desenvolvimento.

De grosso modo, podemos afirmar que ordenar o território traduz-se na distribuição estratégica da população e atividades de um determinado espaço, considerando as suas necessidades e explorando as respetivas potencialidades. Ainda assim, assume-se como uma ferramenta de gestão territorial essencial para por um lado assegurar o desempenho dos territórios e promover a melhoria da qualidade de vida das populações, e por outro evitar questões como: o desequilíbrio local; fraca acessibilidade; má gestão

dos solos e usos inerentes; degradação ambiental; diminuição da coesão social; perda de eficiência económica; menor competitividade regional face à global; entre outros, tal como explica Fadigas (2015).

2.2.3. Ordenamento do Território e de Urbanismo em Portugal

A política de promoção do desenvolvimento do território, envolve todos os níveis de intervenção, desde a União Europeia até ao nível nacional, regional e municipal. Em Portugal, o conceito de Ordenamento do Território foi oficialmente descrito pela Lei de Bases do Ambiente (LBA), de 1987, (Lei n.º 11/87, de 7 de abril), onde se afirma como: “ (...) *um processo integrado na organização do espaço biofísico, tendo como objetivo o uso e transformação do território, de acordo com as suas capacidades e potencialidades, bem como da conservação dos valores de equilíbrio biológico e da estabilidade geológica*”.

O atual quadro legal básico do ordenamento e gestão do território em Portugal baseia-se na Lei n.º 48/98, de 11 de agosto, designada por Lei de Bases da Política de Ordenamento do Território e de Urbanismo (LBOTU). A LBOTU, prossegue várias finalidades específicas ligadas aos objetivos do ordenamento no âmbito dos desenvolvimentos socioeconómico, ambiental, urbanístico, da política territorial e da segurança civil. A Lei 48/98, de 11 de agosto, alterada pela Lei 54/2007, de 31 de agosto, abriu um “ (...) *capítulo novo na história das políticas públicas de ordenamento do território e de urbanismo em Portugal*”, tal como expõe Caldeira (2003).

De acordo com o disposto no artigo 3º da Lei n.º 48/98, a Política de Ordenamento do Território e de Urbanismo, visa essencialmente:

- I. Reforçar a coesão territorial e organizar o território;
- II. Promover a valorização integrada das diversidades do território nacional;
- III. Assegurar o aproveitamento consciente dos recursos naturais, a preservação do equilíbrio ambiental, a humanização das cidades e a funcionalidade dos espaços edificados;
- IV. Assegurar e valorizar o património cultural e natural;
- V. Assegurar a qualidade de vida e as condições favoráveis ao desenvolvimento de atividades socioeconómicas e culturais;
- VI. Reabilitar e modernizar os centros urbanos;
- VII. Salvaguardar e valorizar as potencialidades do espaço rural;

No seguimento da lei anteriormente mencionada, surgiu o DL 380/99, de 22 de setembro, que define o Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT) criados pela Lei de Bases (LB). Segundo o 1º artigo deste diploma, o mesmo: “ (...) *desenvolve as bases da política de ordenamento do território e de urbanismo, definindo o regime de coordenação dos âmbitos nacional, regional e municipal do sistema de gestão territorial, o regime geral de uso do solo e o regime de elaboração, aprovação, execução e avaliação dos instrumentos de gestão territorial*”.

Contudo: “ (...) *são delimitadas as responsabilidades do Estado, das autarquias locais e dos particulares, com o intuito de assegurar o desenvolvimento económico e social e a igualdade no acesso a equipamento e serviços públicos, num quadro de sustentabilidade dos ecossistemas, de solidariedade intergeracional e de transformação do solo rural em urbano*” (Preâmbulo, RJIGT).

A LB define ainda as diretrizes para uma gestão coordenada entre as distintas ferramentas: “ (...) *desenvolver o princípio da organização do sistema de gestão territorial num quadro de interação coordenada, (...) explicitando as relações entre os diversos instrumentos, desenvolvendo o princípio da necessária compatibilização das respetivas opções*” (Preâmbulo, DL 380/99).

2.3. SISTEMA DE GESTÃO E PLANEAMENTO DO TERRITÓRIO PORTUGUÊS

Segundo Fadigas (2017), o planeamento do território assume-se como um instrumento fundamental para gestão do território, consistindo num processo que se pretende contínuo, eficaz e rigoroso, sendo desenvolvido de forma integrada e permitindo estabelecer os limites e linhas orientadores para o desenvolvimento do território.

Planear, traduz a organização do território considerando as necessidades da população e do ambiente, de modo a corrigir desequilíbrios socioeconómicos e espaciais, fomentando um desenvolvimento sustentável, Castanho (2019).

2.3.1. Instrumentos de Gestão Territorial

O Sistema de Gestão e Planeamento do Território em Portugal (SGPT), desenvolve-se de forma articulada entre os vários Instrumentos de Gestão Territorial (IGT), Figura 11, regendo três âmbitos distintos (nacional, regional e municipal). Estes instrumentos, materializam-se em programas e planos, sendo que os programas estabelecem o quadro estratégico de desenvolvimento territorial e respetivas diretrizes e definem a incidência espacial de políticas nacionais a considerar em cada nível de planeamento. Por sua vez, os planos estabelecem opções e ações concretas em matéria de planeamento e organização do território, definindo ainda o uso do solo (alíneas a) e b), do artigo n.º 38 da Lei n.º 31/2014, de 30 de maio).

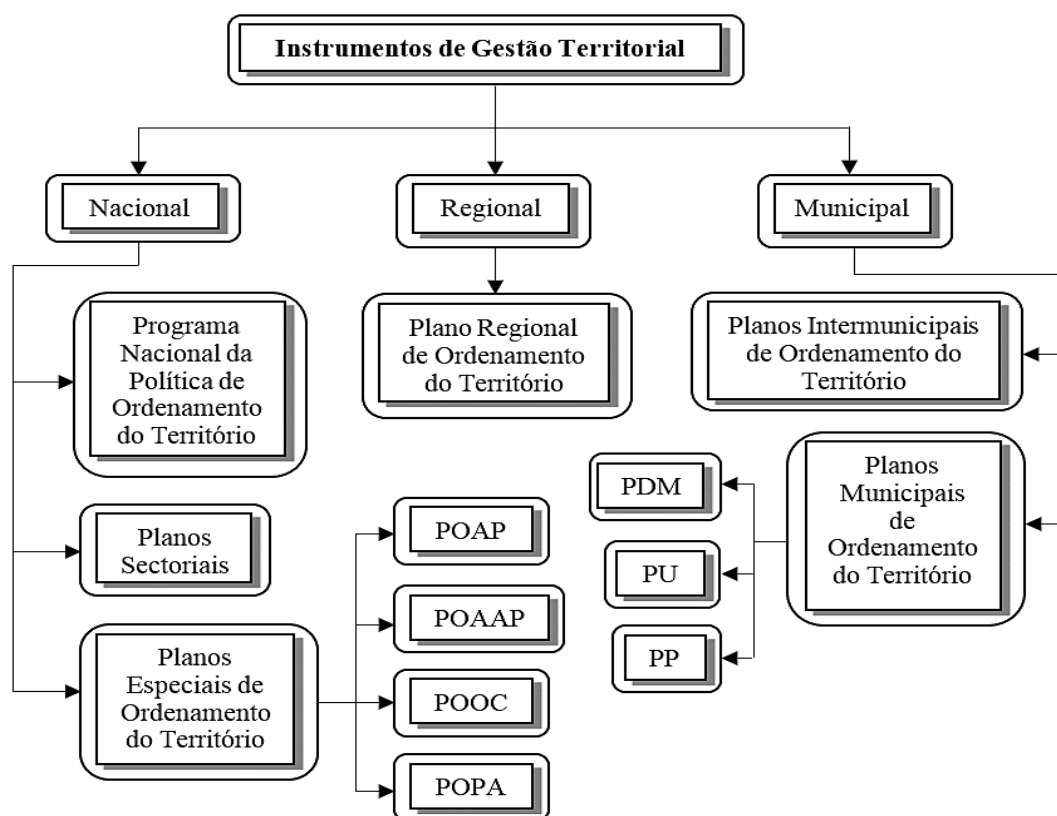


Figura 11 - Instrumentos de gestão territorial
 Fonte: Elaborada pelo autor. [ACRESCENTAR PIMOT]

Capítulo II

2.3.1.1. Âmbito Nacional

- Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território

De acordo com o artigo 26º do RJGT, o PNPOT: “(...) estabelece as grandes opções com relevância para a organização do território nacional, consubstancia o quadro de referência a considerar na elaboração dos demais instrumentos de gestão territorial e constitui um instrumento de cooperação com os demais estados membros para a organização do território da União Europeia”.

O n.º 2 do artigo 5º, do DL n.º 58/2007 de 4 de setembro que aprova o PNPOT, apresenta os objetivos estratégicos para Portugal, os quais constituem o quadro de compromissos das políticas com incidência territorial:

- I. Conservar a biodiversidade, os recursos e o património natural, paisagístico e cultural;
- II. Reforçar a competitividade territorial de Portugal e a sua integração nos espaços ibérico, europeu, atlântico e global;
- III. Promover o desenvolvimento policêntrico dos territórios e reforçar as infraestruturas de suporte à integração e à coesão territorial;
- IV. Assegurar o provimento equitativo de infraestruturas e equipamentos coletivos no território;
- V. Expandir as redes e infraestruturas avançadas de informação e comunicação, incentivando a sua utilização pelos cidadãos, empresas e Administração Pública;
- VI. Reforçar a qualidade e eficiência da gestão territorial, promovendo a participação informada, ativa e responsável, dos cidadãos e das instituições.

Em suma, com a aprovação do PNPOT, modificou-se a matriz jurídica do planeamento do território, uma vez que se elaborou um documento que identifica os principais problemas de ordenamento do território e opções estratégico-operativas a serem levadas a cabo, para os corrigir.

- Planos Setoriais

Relativamente aos Planos Setoriais (PS), traduzem-se em instrumentos de concretização das diversas políticas que incidem na organização do território. São considerados planos setoriais, os planos estratégicos de desenvolvimento e os planos nos domínios dos transportes, comunicações, energia e recursos geológicos, educação e formação, cultura, saúde, habitação, turismo, agricultura, comércio e indústria e florestas.

Para além destas peças técnicas, existem ainda os Planos Sectoriais da RAM:

- a. PERRAM - Plano Estratégico de Resíduos da Região Autónoma da Madeira;
- b. PRAM - Plano Regional de Água da Madeira;
- c. PPERAM - Plano de Política Energética da RAM;
- d. PRPA - Plano Regional de Política do Ambiente;
- e. POT - Plano de Ordenamento Turístico.

- Planos Especiais de Ordenamento do Território

Os Planos Especiais de Ordenamento do Território (PEOT) são constituídos pelos Planos de Ordenamentos de Áreas Protegidas (POAP), os Planos de Ordenamento de Albufeiras de Águas Públicas (POAAP), os Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC) e os Planos de Ordenamento de Parques Arqueológicos (POPA).

2.3.1.2. Âmbito Regional

- Planos Regionais de Ordenamento do Território

No âmbito regional, destacam-se os Planos Regionais de Ordenamento do Território (PROT), sendo que atualmente a sua elaboração é da responsabilidade das Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional.

Os PROT, assumem-se como os instrumentos de gestão territorial, responsáveis pela definição estratégica para o desenvolvimento e organização regional, integrando as opções estabelecidas a nível nacional. Estes consideram as estratégias municipais de desenvolvimento local, constituindo de igual modo o quadro de referência para a elaboração dos Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT). É da competência dos PROT a definição do modelo de organização do território à escala regional.

2.3.1.3. Âmbito Municipal

- Planos Municipais e Intermunicipais de Ordenamento do Território

No âmbito municipal, a gestão é materializada pelos Planos Intermunicipais de Ordenamento do Território (PIMOT), que de acordo o n.º 1 do artigo 60º do DL n.º 380/99, representam os instrumentos de planeamento para o desenvolvimento do território, estabelecendo articulação entre o PROT e os PMOT. Por outro lado, segundo o n.º 2 do mesmo artigo, estes abrangem a totalidade ou parte das áreas do território que pertencem a dois ou mais municípios vizinhos.

Conforme o artigo 61º, o PIMOT tem como objetivo fundamental, a articulação de estratégias de desenvolvimento de carácter socioeconómico dos municípios envolvidos, nos mais diversos domínios.

Relativamente aos Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT), aprovados pelos municípios, *“(...) estabelecem o regime de usos do solo, definindo modelos de evolução previsível da ocupação humana e da organização de redes e sistemas urbanos e, na escala adequada, parâmetros de aproveitamento do solo e de garantia da qualidade ambiental”*, (n.º 2 do artigo 60º do DL n.º 380/99).

Desta forma os PMOT encontram-se estruturados em categorias distintas:

- I. Os Planos Diretores Municipais (PDM), estabelecem o modelo de estrutura espacial do território municipal, constituindo uma síntese da estratégia de desenvolvimento e ordenamento local, integrando as opções de âmbito nacional e regional com incidência na respetiva área de intervenção, (artigo 85º, DL n.º 380/99, de 22 de setembro);
- II. Os Planos de Urbanização (PU), designam instrumentos que definem: *“(...) a organização espacial de parte determinada do território municipal, integrada no perímetro urbano, que exija uma intervenção integrada de planeamento”* (artigo 87º, DL n.º 380/99, de 22 de setembro).
- III. Os Planos de Pormenor (PP), segundo o artigo 90.º do DL n.º 380/99, de 22 de setembro, desenvolvem: *“(...) propostas de organização espacial de qualquer área específica do território municipal definindo com detalhe a conceção da forma de ocupação e servindo de base aos projetos de execução das infraestruturas, da arquitetura dos edifícios e dos espaços exteriores, de acordo com as prioridades estabelecidas pelo PDM e pelos PU”*.

Não obstante, as três tipologias de planos municipais (PDM, PU e PP), diferem quanto à área e escala de intervenção. Enquanto que o PDM intervém em todo o território do município, os PU intervêm em áreas urbanizáveis e os PP intervêm com detalhe na ocupação de uma área mais restrita.

Tabela 8 - Tipologias dos instrumentos de gestão territorial

Instrumentos de Desenvolvimento Territorial	PNPOT
	PROT
	PMOT
Instrumentos de Planeamento Sectorial (Planos Sectoriais na RAM)	PERRAM
	PRAM
	PRPA
	POT
Instrumentos de Planeamento Espacial	POAP
	POAAP
	POOC
	POPA
Instrumentos de Planeamento Territorial	PDM
	PU
	PP

Fonte: Elaborada pelo autor.

Em síntese, os IGT podem ser classificados de acordo com as funções que desempenham:

- PNPOT, PROT e PIMOT ou PMOT - Instrumentos de desenvolvimento territorial, de natureza estratégica, que traduzem as grandes opções para a organização do território;
- PDM, PU e PP - Instrumentos de planeamento, de natureza regulamentar, que estabelecem o regime de uso do solo;
- PS - Instrumentos de política setorial, que programam ou concretizam políticas de desenvolvimento económico e social com incidência espacial;
- PEOT - Instrumentos de planeamento de natureza especial, que estabelecem um meio supletivo de intervenção do Governo apto à prossecução de objetivos de interesse nacional.

2.3.2. Planeamento Urbano em Portugal

Planeamento urbano designa um processo contínuo e dinâmico, de ordenamento do uso do solo em áreas urbanas, efetuando e desenvolvendo a qualificação do mesmo através de ações de análise e diagnóstico da sua situação atual bem como de tendências, definindo estratégias de desenvolvimento assim como modelos de ordenamento da urbe, Rodas (2018).

Segundo as definições de Gallego (2009) e Castanho (2017), o modelo para a aglomeração urbana é definido geralmente com base na distribuição espacial da rede viária principal, dos equipamentos de utilização coletiva, da estrutura ecológica e do zonamento das funções urbanas (de tipo habitacional, comercial, de serviços, industriais ou turísticas), tendo em conta os respetivos parâmetros urbanísticos aplicáveis às várias categorias de espaço.

Portelas (2011) entende que a definição de uma solução urbanística deve, portanto, integrar e relacionar o uso de solo tendo em conta a sua compatibilidade (ou falta dela), a sua intensidade, a sua organização espacial e a viabilidade financeira da operação. Considerando estes fatores, o planeamento urbano deve possuir mecanismos operativos, designadamente critérios de perequação e indicação do sistema de execução urbanística a utilizar.

Por perequação subentende-se a redistribuição de forma equitativa dos benefícios e encargos resultantes da execução de um instrumento de gestão territorial vinculativo dos particulares, ou de outro instrumento de intervenção urbanística a que a lei atribua esse efeito, Carvalho (2003). A aplicação de mecanismos perequativos surge pelo facto de o planeamento espacial originar efeitos diferenciadores da apropriação do espaço, decorrentes do desigual valor do solo, por sua vez associados ao urbanismo e à edificação, Correia (2008). Estes mecanismos têm em vista os seguintes objetivos:

- I. Redistribuição das mais-valias atribuídas pelo plano aos proprietários;
- II. Obtenção pelos municípios de meios financeiros adicionais para a realização das infraestruturas urbanísticas e para o pagamento de indemnizações por expropriação;
- III. Disponibilização de terrenos e edifícios ao município para a implementação, instalação ou renovação de infraestruturas, equipamentos e espaços urbanos de utilização coletiva, bem como para compensação de particulares nas situações em que tal se revele necessário;
- IV. Estímulo da oferta de terrenos para urbanização e construção, evitando-se a retenção dos solos com fins especulativos;
- V. Eliminação das pressões e influências dos proprietários ou grupos para orientar as soluções do plano na direção das suas intenções.

A ausência de políticas públicas, especialmente as inerentes à habitação, permitiu que se criassem núcleos urbanos à margem da lei, isto é, não respeitando quaisquer tipos de índices ou parâmetros urbanísticos, pelo que se revelou fundamental e urgente desenvolver instrumentos de planeamento dedicado à sua reconversão, Oliveira (2018).

De acordo com relatado por Portelas (2003), devido ao fenómeno da globalização e seus efeitos no final do século XX, surgiram novas metas (mais ambiciosas), afastando-se dos planos urbanísticos tradicionais assentes em premissas cada vez menos realistas como a lenta e previsível evolução da realidade urbana ou a abundância de recursos, a todos os níveis.

Dessas metas são exemplo a aposta em políticas que promovam um território mais competitivo e consequentemente atrativo para a população, o aumento da atividade económica local, a exploração sustentável dos recursos disponíveis através da redução da emissão de carbono e utilização de energias renováveis ou ainda por via da integração dos atores chave nas tomadas de decisão em detrimento do poder político.

Verifica-se desta forma uma nova configuração no modelo urbano, abandonando o carácter expansionista desmedido, preferindo a reabilitação à construção de novas habitações ou outras infraestruturas, adotando a diversidade e mistura funcional das populações envolvidas e atentando a novos desafios como a mobilidade sustentável, Balula (2011).

2.3.2.1. Principais Fases do Processo do Planeamento Urbano

Segundo o que é descrito por Ackoff R. (1973), a definição de planeamento consiste em: “(...) *conceber um futuro desejado, bem como os meios reais para lá chegar*”. Torna-se então possível inferir que este termo se traduz num conjunto de processos que possibilitam várias alternativas para um determinado território, definindo regras e orientações para a sua viabilização. De forma simplificada, o processo de planeamento designa um processo racional de tomada de decisão onde se identificam objetivos, elaboram propostas de execução, conjugam meio operativos, se implementam ações e avaliam resultados face aos objetivos estipulados (Fidelis, 2001).

Para uma correta implementação do processo de planeamento, é necessário reconhecer as necessidades de intervenção, definir criteriosamente objetivos e selecionar estratégias. Assim, torna-se fundamental o conhecimento pleno do espaço onde se insere toda a atividade social. Um processo de planeamento

Capítulo II

revela um elevado grau de complexidade, exigindo uma intervenção a vários níveis e multidisciplinar, nomeadamente a nível social, económico, técnico, político e dos cidadãos, Castanho (2017).

O planeamento urbano, de igual modo ao planeamento de atividades, pode ser dividido em sucessivas fases, visando organizar o processo de planeamento com base em atividades programadas para cada uma das etapas. Nesse sentido, torna-se fulcral a participação dos diversos atores envolvidos, tais como as instituições responsáveis pelo processo técnico de planeamento urbano, o setor privado e a sociedade em geral.

Na eventualidade da necessidade de elaboração de um plano, importa considerar as fases que o constituem:

- 1) Identificação da problemática;
- 2) Identificação e formulação de objetivos, metas ou fins;
- 3) Análise e caracterização da área de intervenção;
- 4) Identificação de problemas através de uma análise de diagnóstico;
- 5) Alternativas de intervenção e definição de possíveis cenários;
- 6) Desenvolvimento da opção tomada;
- 7) Formalização do plano;
- 8) Implementação;
- 9) Avaliação e monitorização.

2.3.2.2. Sistema Regional de Gestão Territorial

A RAM está dotada de um sistema de gestão territorial (SGT) próprio, estabelecido pelo Decreto Legislativo Regional (DLR) n.º 43/2008/M de 23 de dezembro e pelo DLR n.º 18/2017/M. Este sistema resulta da autonomia legislativa reconhecida pelo Estatuto Político-Administrativo da RAM (EPARAM), o qual propicia a liberdade de decisão na tomada de resoluções estratégicas mais adequadas para o ordenamento regional (artigo 1.º da Lei n.º 13/91, de 5 de junho com as alterações introduzidas pelos diplomas: Leis n.º 130/99, de 21 de agosto e 12/2000, de 21 de junho). No entanto, a RAM deve respeitar e integrar as opções estabelecidas a nível nacional.

O DLR n.º 18/2017/M, caracteriza-se pelo desenvolvimento das bases da política pública de solos, de ordenamento do território e de urbanismo em vigor na RAM, contidas na Lei n.º 31/2014, de 30 de maio. Por sua vez o DLR n.º 43/2008/M de 23 de dezembro define o respetivo sistema regional de gestão territorial (SRGT), o qual proporcionou a adaptação parcialmente ajustada do regime nacional previsto no DL n.º 380/99, de 22 de setembro, que visa a simplificação e adaptação do SGT às especificidades do arquipélago da Madeira.

Desta forma, segundo o artigo 2.º do DLR N.º 43/2008: “(...) *Na Região Autónoma da Madeira, a política de ordenamento do território e urbanismo assenta no sistema regional de gestão territorial, que se articula com os IGT de âmbito nacional definidos pela Lei n.º 48/98, de 11 de agosto.*”

Resumidamente, o SRGT na Madeira, organiza-se num quadro de interação coordenada, subdividido em dois âmbitos:

- I. O âmbito regional, concretizado através dos seguintes instrumentos:
 - a. O Plano regional de ordenamento do território;
 - b. Os planos setoriais com incidência territorial.
- II. O âmbito municipal, efetuado através dos seguintes instrumentos:
 - a. Planos intermunicipais de ordenamento do território;
 - b. Planos municipais de ordenamento do território, que por sua vez subdividem em:

- i. Planos diretores municipais;
- ii. Planos de urbanização;
- iii. Planos de pormenor.

Por fim, importa salientar que o artigo 3 do DRL anteriormente mencionado indica que o plano regional de ordenamento do território, os planos setoriais com incidência territorial e os planos intermunicipais de ordenamento do território vinculam as entidades públicas. Não obstante, os planos especiais e os planos municipais de ordenamento do território vinculam as entidades públicas, e ainda, direta e imediatamente as entidades particulares.

2.4. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

2.4.1. Evolução do uso e ocupação do solo

De acordo com o enunciado por Bartholomé (2004), os registos do uso e ocupação do solo, afixam-se como ferramentas essenciais para melhor compreender a disposição do território e a forma como o mesmo é ocupado. O carácter multifuncional do território obriga segundo Pinto-Correia (2013) à: “(...) *necessidade de abordagens espaciais, onde as características naturais de uma paisagem são combinadas, com os fatores socioeconômicos e culturais que afetam suas mudanças*”.

Ao nível nacional já se encontra disponível em plataformas digitais, nomeadamente na *webpage* do Sistema Nacional de Informação Geográfica a informação relativa ao uso e ocupação do solo permitindo a sua análise e enquadramento conjunto com outros mapas através de *Software SIG*. Já ao nível regional, a Direção de Serviços de Informação Geográfica e Cadastro tem vindo a trabalhar em conjunto com outros organismos como o Instituto das Florestas e da Conservação da Natureza no sentido de aproximar o modo como a informação se encontra disponível, verificando-se no entanto o entrave de esta ainda não permitir a manipulação da informação ao gosto do utilizador.

O *CORINE Land Cover* designa um projeto do programa *Corine* cujo propósito é o de produzir cartografia de ocupação e uso de solo nos países da união europeia, classificando-o hierarquicamente num sistema de três níveis, sendo o terceiro o mais detalhado subdividido em 44 classes, Castanho (2019). Sendo que o projeto em Portugal decorreu entre 2002 e 2005, a única versão atualmente disponível para utilização livre da carta de uso e ocupação de solos da Madeira é a de 2006, ligeiramente desatualizada.

Da análise efetuada por Castanho (2019) é possível verificar quais as categorias de uso e ocupação de solo com maior predominância no panorama regional, assim como, a sua evolução entre 1990 e 2012. Relativamente aos usos e ocupações de solo com maior expressão na ilha da Madeira foi possível averiguar que: quanto ao território artificializado, o percentual mais elevado é encontrado na categoria 112 (tecido urbano descontínuo); no que concerne às áreas agrícolas, o percentual mais elevado associa-se à categoria 243 (zonas principalmente agrícolas com zonas naturais importantes); as áreas florestais e seminaturais vêm o seu percentual mais elevado ser associado ao uso de solo 311 (floresta de folhosas).

A Figura 12, demonstra a evolução entre 1990 e 2012 do uso e ocupação de solo a nível regional, com claro ênfase para o aumento de zonas ardidas (334) e o conseqüente decréscimo da percentagem atribuída à floresta folhosa (311), dado estatístico que consubstancia o acréscimo do risco de cheias – *i.e.* quanto menos vegetação, menor a infiltração e maior a probabilidade de escoamento superficial rápido. Destacam-se ainda o decréscimo do percentual associado ao do tecido urbano contínuo (111) em detrimento do descontínuo (112) e o aumento de charnecas ou matos (322), tendo os restantes usos de solo verificado uma evolução praticamente constante.

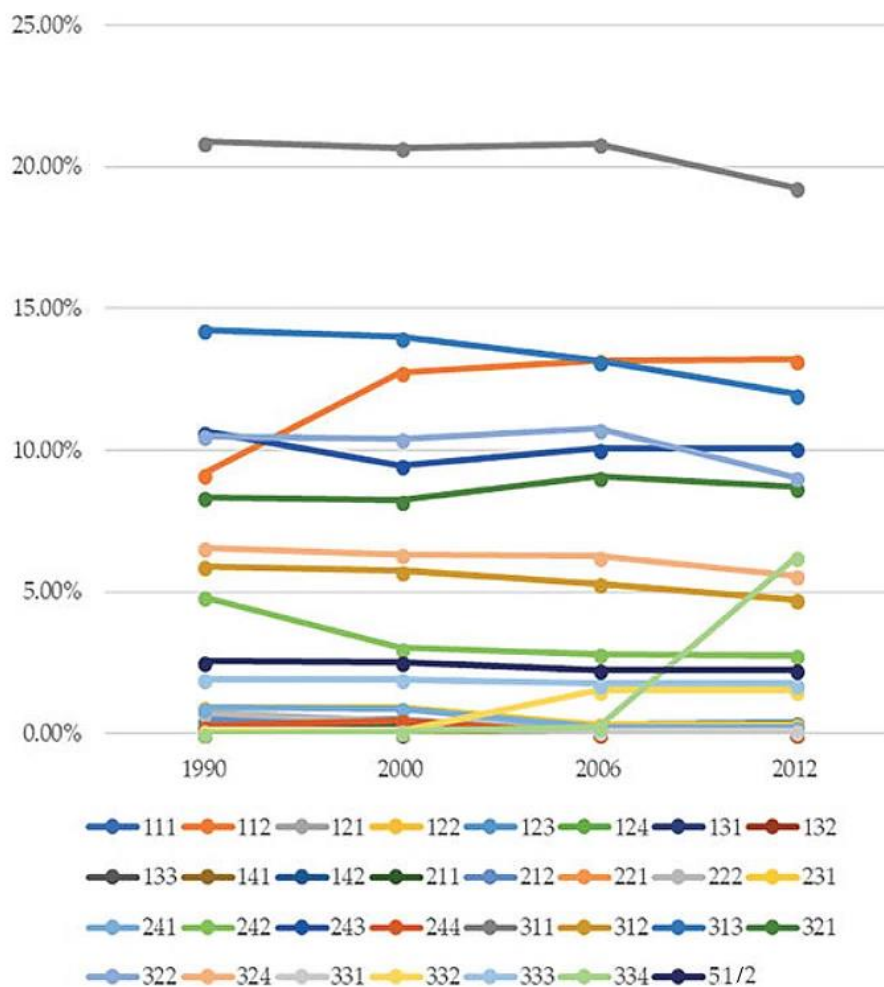


Figura 12 - Evolução do uso e ocupação de solo (1990 - 2012)

Fonte: Castanho *et al.* 2019, p.23.

Resta analisar as classes de corpos de água (51 e 52), que verificaram um decréscimo entre 1990 e 2012 de 0.25%, tendo de acordo com Castanho (2019): “(...) a sua origem em políticas de gestão territorial insustentáveis de carácter expansionista”.

Com recurso ao *software Quantum GIS* foi possível produzir a Figura 13, que demonstra a distribuição espacial dos principais usos e ocupações de solo da ilha da Madeira, tornando-se evidente que a esmagadora maioria da espaço está classificada como “Florestas, meios naturais e semi-naturais”, áreas ocupadas segundo a *Nomenclatura CORINE Land Cover* (2007), por: “(...) florestas ou bosques com vegetação constituída por plantas nativas com um porte superior a 5 m e um grau de coberto mínimo de 30%.”

Num segundo plano, em evidente menor dimensão e notoriamente associado às áreas urbanas surge a classificação de “Territórios artificializados”, subdividida em 4 classes – *i.e.* tecido urbano; zonas industriais, comerciais ou de transportes; minas, depósitos de resíduos ou zonas de construção; zonas artificializadas não agrícolas com vegetação.

Por fim, e em menor dimensão surgem as “Áreas agrícolas e agroflorestais” onde se inserem as classes de terras aráveis; culturas permanentes; pastagens; zonas agrícolas heterogéneas; culturas anuais ou as pastagens sob coberto de espécies florestais.

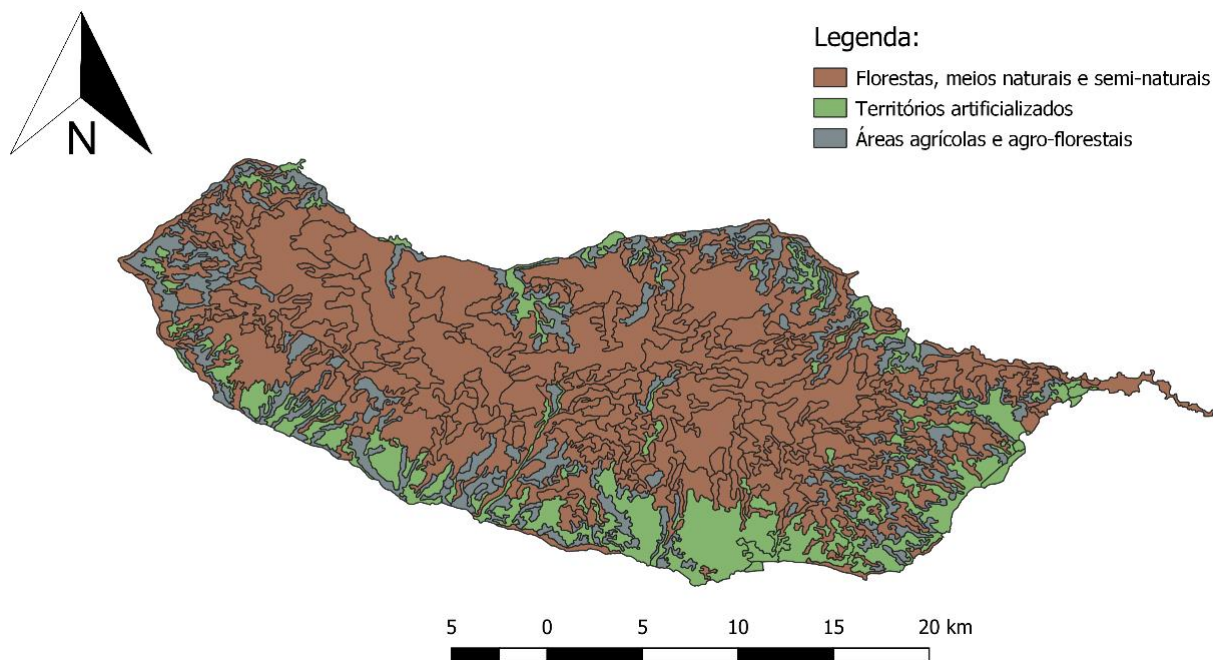


Figura 13 - Carta de ocupação de solos da ilha da Madeira, 2006

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.4.2. Influência das levadas no uso e ocupação do solo

As levadas da Madeira também são consideradas canais de água artificiais, cuja função é a de encaminhar a água captada diretamente de nascentes distribuídas por toda a ilha, essencialmente com duas finalidades - *i.e.*, regadio, intrinsecamente ligado ao uso e ocupação de solo terrenos agrícolas e afins e, por outro lado encaminhar a água para áreas com menor abundância, sendo alvo de tratamento para o consumo por parte da população.

As levadas afirmam-se deste modo como uma maneira de valorizar a agricultura tradicional madeirense (*e.g.* banana, cana sacarina, uva, entre outros), preservando e protegendo-a de forma sustentável. A sua contribuição para superar barreiras naturais decorrentes da morfologia da ilha, favorece a exploração maximizada dos recursos naturais endógenos, conferindo-lhe um estatuto de agente para o uso e ocupação do solo sustentável.

O escoamento nas levadas, tanto pode ser superficial como através de túneis especificamente construídos para atravessar as montanhas que caracterizam a orografia madeirense. Seguidamente expõe-se nas Figura 14 e Figura 15, a disposição das levadas ao longo das bacias hidrográficas dos dois canais de água artificiais alvos de estudo na presente dissertação, especificando-as quer quanto à sua designação quer quanto à tipologia do seu escoamento.

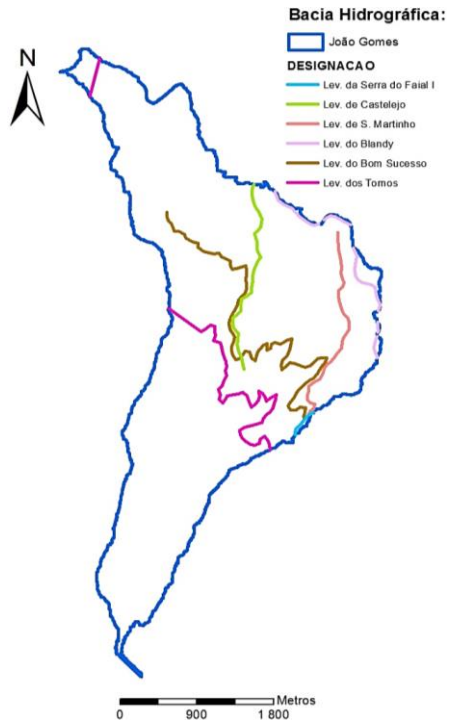


Figura 14 - Disposição das levadas na bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes, por designação

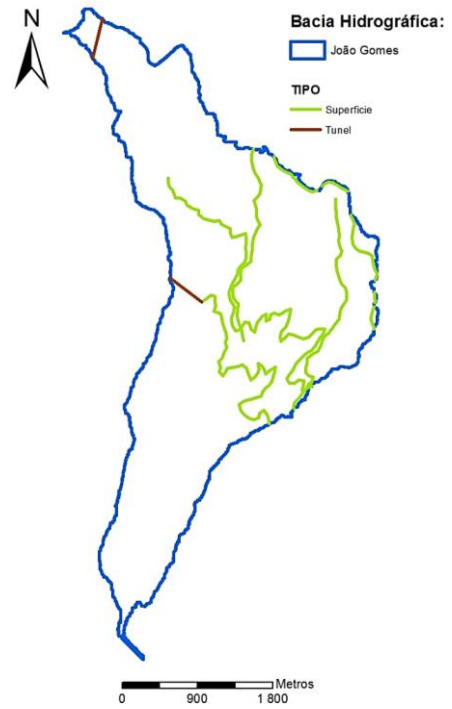


Figura 15 - Disposição das levadas na bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes, por tipologia do escoamento

Fonte: Elaborado pelo autor.

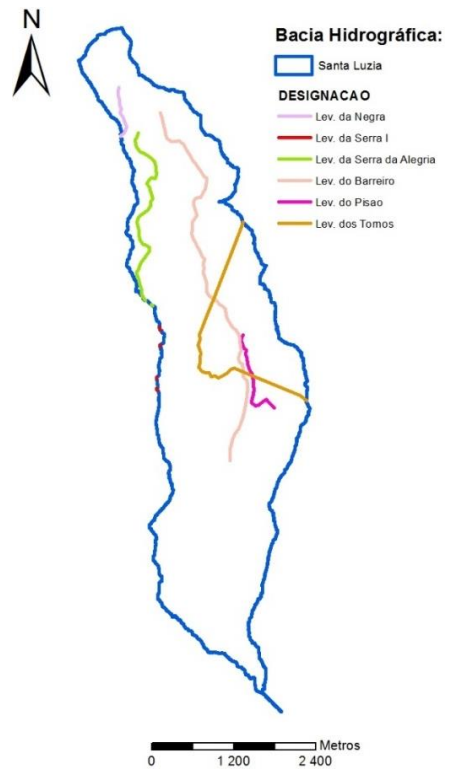


Figura 16 - Disposição das levadas na bacia hidrográfica da ribeira de Santa Luzia, por designação

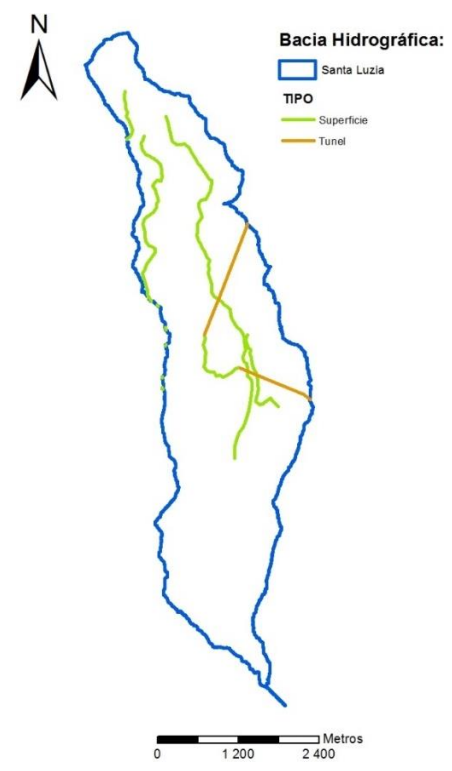


Figura 17 - Disposição das levadas na bacia hidrográfica da ribeira de Santa Luzia, por tipologia do escoamento

2.4.3. Importância do coberto vegetal

O substrato geológico, o tipo de solo e a qualidade/quantidade de vegetação existente em uma bacia hidrográfica, designam fatores que influenciam a evapotranspiração e a capacidade de infiltração no solo da precipitação ocorrida numa determinada localidade (Araújo, 2013).

Por evapotranspiração, compreende-se um processo conjunto entre a evaporação e a transpiração, sendo esta uma medida da altura de água sobre a superfície em mm. Este processo depende de vários fatores entre os quais a latitude, a estação do ano, a hora do dia, a nebulosidade, a altitude, a velocidade do vento, as características do solo, as características da vegetação e principalmente da disponibilidade de água no solo para que se inicie o processo (Prada, 2015).

Em 1944, Thornthwaite introduz um novo conceito separando a evapotranspiração real (EVR) da evapotranspiração potencial (EVP), sendo que esta segunda designa a quantidade de água que, diretamente ou através da vegetação que cobre a totalidade de um solo, pode passar para a atmosfera se a humidade presente no solo se encontrar sempre disponível em quantidade suficiente. Deste modo podemos deduzir que a componente potencial designa um máximo de evapotranspiração possível em condições de disponibilidade de água do solo, e a componente real o valor efetivamente medido devido à condicionante anteriormente referida. O seu cálculo assume pertinência uma vez que, intervém no balanço hidrológico da bacia hidrográfica e desta forma se afigura como indispensável para avaliação de disponibilidades. A EVP pode ser calculada através de expressões empíricas a partir das Equação 2 (Thornthwaite) e Equação 7 (Turc):

$$EVP(30d, 12h) = 1,6 \times \left(10 \times \frac{t}{I}\right)^a \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$EVP(30d, 12h)$ - Evapotranspiração potencial para um mês com 30 dias, cada dia com a insolação astronómica de 12 h, medida em cm;

t - Temperatura média mensal do ar, medida em °C;

I - Índice térmico anual;

a - Expoente empírico que depende exclusivamente do índice térmico anual, que por sua vez é apenas função dos índices térmicos mensais.

$$a = 675 \times 10^{-9} \times I^3 - 77,1 \times 10^{-6} \times I^2 + 17,92 \times 10^{-3} \times I + 492 \times 10^{-3} \quad \text{Equação 3}$$

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

i_j - Índice térmico do mês j

$$i_j = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

t - Temperatura média mensal do ar no mês j , medida em °C;

Considera-se ainda um fator corretivo para uniformizar a expressão da EVP através da fórmula empírica:

$$f = \frac{D_m \times N}{30 \times 12} \quad \text{Equação 6}$$

Capítulo II

Onde:

D_m – Dias do mês considerado;
 N – Insolação Astronómica média do mês considerado.

$$EVP = 0,40 \times \frac{t}{t + 15} \times (R_c + 50) \quad \text{Equação 7}$$

Turc, elaborou ainda fórmulas particulares para o mês de fevereiro Equação 8 e para meses com humidade relativa do ar com valor médio inferior a 50% Equação 9:

$$EVP(\text{fevereiro}) = 0,37 \times \frac{t}{t + 15} (R_c + 50) \quad \text{Equação 8}$$

$$EVP(h_r < 50\%) = EVP \times \left(1 + \frac{50 - h_r}{70}\right) \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

h_r – Humidade relativa do ar média mensal, em %.

Curiosamente, na ilha do Porto Santo aproximadamente 90% da precipitação é “perdida”, devido ao processo de evapotranspiração por parte do solo e das plantas, correspondendo às restantes variáveis de escoamento superficial e de recarga dos aquíferos uma parcela muito inferior de apenas 4 a 5%.

A presença de vegetação em abundância, de forma a cobrir o máximo de solo da bacia hidrográfica possível, torna-se deste modo através do processo de evapotranspiração, uma forma de controlar e reduzir a quantidade de precipitação que incide sobre a bacia, o que por sua vez revela um carácter mitigador da ocorrência de cheias.

Noutro plano e de acordo com o enunciado por Araújo (2013), a densidade de vegetação relaciona-se inversamente com a velocidade do escoamento superficial, o que por sua vez contribui para a diminuição da erosão do solo e com a ocorrência de cheias rápidas. Se a análise for efetuada ao nível fluvial, a vegetação ribeirinha assume preponderância no papel de diminuir a velocidade da corrente, reduzir a suscetibilidade das margens à erosão e assoreamento do leito, constituir habitat e fonte alimentícia às faunas aquática e terrestre, diminuir a temperatura e aumentar a oxigenação da água contribuindo para a melhoria da qualidade da mesma.

Assim, a interação entre a água e o solo deverá ser feita através de dois tipos de vegetação sendo categorizadas na, Tabela 9.

Tabela 9 - Tipos de vegetação essenciais em uma bacia hidrográfica

Tipo de vegetação	Função
Elástica	Fundamental na proteção contra a erosão, inclinando-se sobre a margem
Rígida	Fundamental na redução da velocidade do escoamento, e consequentemente da erosão e assoreamento

Fonte: Elaborado pelo autor.

Recorrendo ao *Software ArcMap*, tornou-se possível saber qual a classificação da vegetação a montante do curso de água principal das duas bacias hidrográficas em estudo, encontrando-se exposto nas Figura 18 e Figura 19.

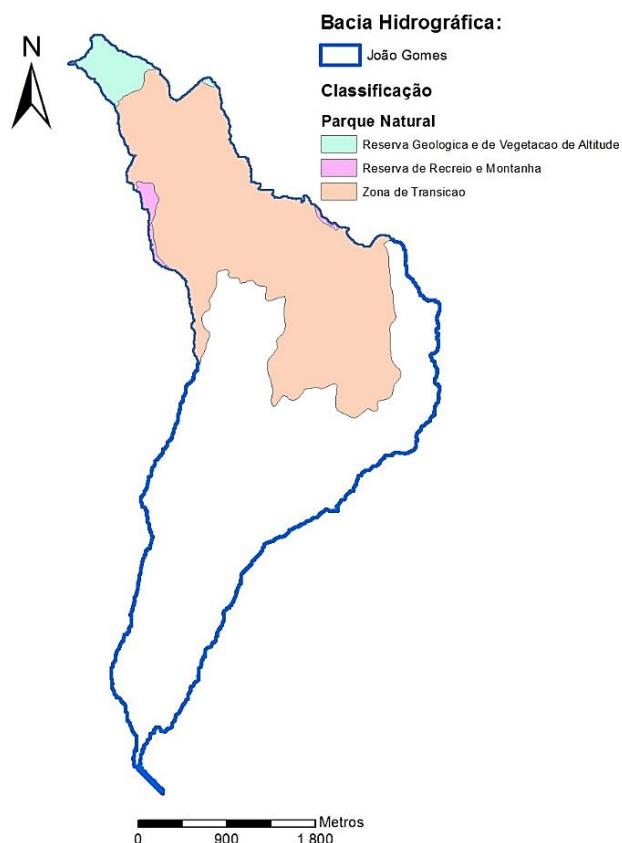


Figura 18 - Vegetação a montante do curso de água principal da ribeira de João Gomes

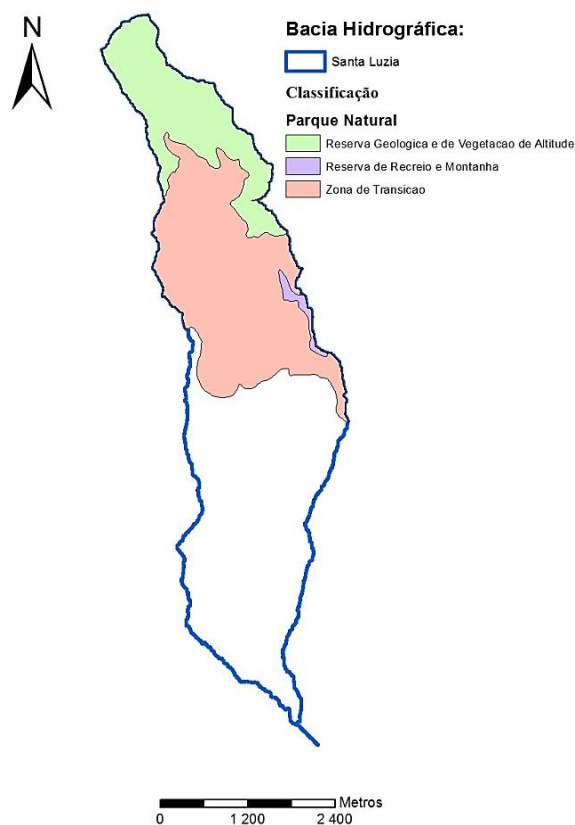


Figura 19 - Vegetação a montante do curso de água principal da ribeira de Santa Luzia

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.5. CASOS DE ESTUDO

De forma a poder retratar a realidade das cheias em áreas urbanas, optou-se por analisar a existência de casos de estudo semelhantes em outras localizações do globo, além do Funchal. Neste sentido, foi utilizada uma metodologia de análise de casos de estudo, baseada no método proposto por Robert Yin (1994). Contextualmente, foram definidas 3 partes distintas, mas complementares, tais como: (i) definição da localização geográfica de cada uma das eventuais casuísticas; (ii) seleção de critérios - registos máximos de temperatura e udométricos anuais; (iii) análise de um evento de cheia significativo em cada uma das casuísticas selecionadas.

Uma vez que a casuística principal, onde se pretende aplicar os conhecimentos adquiridos através da análise de outros casos de estudo, corresponde à ocorrência do fenómeno anteriormente mencionado na RAM, concretamente na ilha da Madeira e em específico nos cursos de água artificiais do Funchal onde adquirem a designação de ribeiras, Camacho (2018), optou-se numa primeira fase por analisar casos de estudo com características climáticas, geomorfológicas ou localização geográfica semelhantes e, por conseguinte, foram selecionados os três restantes arquipélagos integrantes da região da Macaronésia, os Açores, as Canárias e Cabo Verde. Nestes, as localizações alvo de estudo restringiram-se respetivamente a Povoação, a Santa Cruz e a Ribeira Brava.

Posteriormente efetuou-se a análise a dois casos de estudo fora da região da macaronésia, uma ocorrência em Atenas (Grécia), cujo clima e geomorfologia se assemelham ao funchalense por influência mediterrânica e origem vulcânica e, um segundo exemplo na região metropolitana de Manila nas Filipinas, diferindo na sua causa, fatores climáticos e respetivas consequências.

Para finalizar e de acordo com a metodologia proposta, procedeu-se ao tratamento dos dados obtidos nos seis casos de estudo (através de uma tabela síntese) possibilitando uma leitura comparativa entre as casuísticas. Através da análise comparativa, foram seleccionados os dois casos mais semelhantes ao fenómeno decorrido nas ribeiras do Funchal, para efetuar uma análise mais aprofundada.

2.5.1. Funchal (Madeira, Portugal)

2.5.1.1. Enquadramento Geográfico

A Madeira, Figura 20, é uma ilha pertencente a um arquipélago e que se insere numa região autónoma de Portugal, sendo ainda parte integrante da região da Macaronésia a par de Açores, Canárias e Cabo Verde. Banhada em toda a sua costa exclusivamente pelo Oceano Atlântico e situada aproximadamente entre as latitudes de 30° 01' N e 33° 31' N e as longitudes de 15° 51' W e 17° 30' W de *Greenwich*, acaba por se aproximar geograficamente mais do norte de África do que propriamente da parte continental do seu país, fator que em muito influencia o seu clima, Fernandes (2009).



Figura 20 - Ilha da Madeira

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com uma área total de aproximadamente 801 Km² e uma população registada nos censos de 2011 de 267.785 habitantes, a Madeira acaba por obter uma densidade populacional de 334 hab/Km², que praticamente triplica o valor de Portugal de apenas 115 hab/Km².

A sua cidade mais populosa acaba sendo naturalmente a sua capital, o Funchal com cerca de 112.015 habitantes (quase metade da população madeirense) distribuídos por apenas 76,15 Km², atingindo deste modo o valor exagerado de 1469,36 hab/Km² como índice de densidade populacional, o que se assume como um dos grandes problemas e fatores de risco e somente um planeamento urbano e ordenamento territorial cuidadoso impediria constrangimentos à drenagem dos seus principais canais de água artificiais, as ribeiras de João Gomes, Santa Luzia e de São João, INE (2011).

A concentração da demografia nesta cidade em particular, deve-se a uma variada panóplia de fatores, desde logo por ser o ponto de chegada turística por via marítima, setor de maior relevo na economia regional e à volta do qual concentra grande parte dos postos de trabalho da capital. O facto das grandes

superfícies comerciais e dos mercados de abastecimento alimentício assumirem uma maior variedade (e em maior número) na capital, acaba por tornar mais atrativa a residência no Funchal, face a municípios vizinhos e muito mais quanto a concelhos rurais.

2.5.1.2. Fatores Climáticos

A geomorfologia do Funchal revela-se como uma autêntica bacia de receção, uma vez que é caracterizada por fortes declives provenientes das suas montanhas a norte e leste e dos picos vulcânicos a oeste. A delimitação do perímetro urbano assume-se desde o nível do mar até aproximadamente os 800 metros de altitude, com concentração do seu espaço habitacional e comercial nas zonas intermédia e baixas do mesmo, com especial incidência a jusante das ribeiras, Teixeira (2014).

O clima verificado na capital é de carácter mediterrânico, com uma temperatura média anual a rondar os 20 °C e uma taxa de humidade praticamente constante ao longo do ano com valores de 70%, elevando a perceção de temperatura face aos valores efetivamente reais, Castro (2011).

Podemos distinguir essencialmente dois períodos diferentes durante o ano, sendo um o que se compreende entre dezembro e abril que obtém a designação de estação amena, e uma temperatura média máxima de 18 °C a meados de dezembro e, a outra compreendida entre julho e setembro (podendo se prolongar até inícios de outubro), com uma temperatura média máxima de 24 °C no final de agosto, sendo designada de estação morna. Os restantes meses correspondem à transição entre estações com temperaturas irregulares, mas a tender para os valores da seguinte, Figura 21.

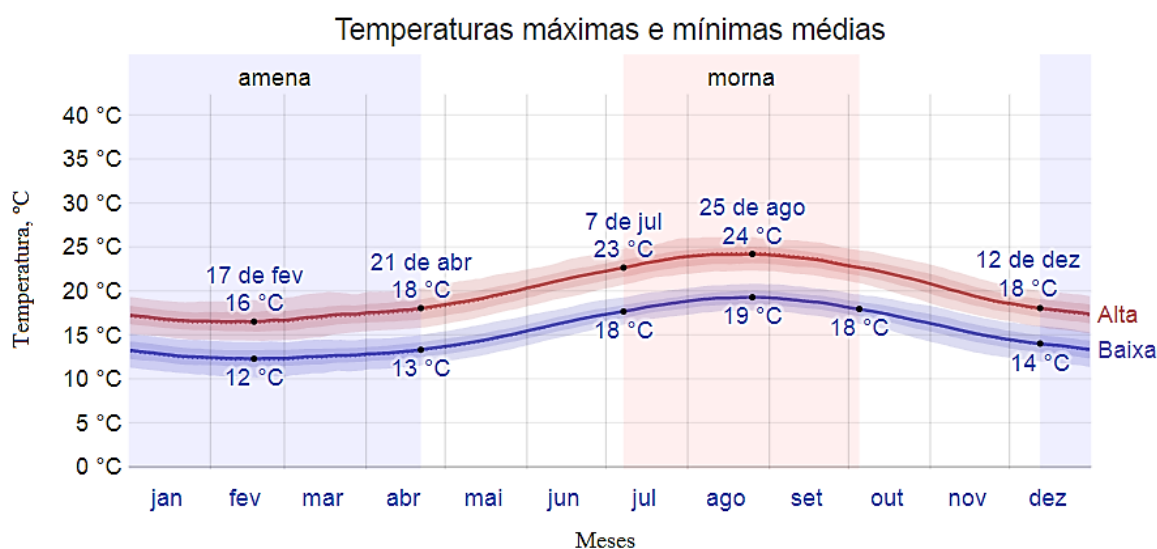


Figura 21 - Registo de temperaturas em Funchal (Portugal)

Fonte: *Weather Spark* - Condições meteorológicas médias de Funchal, Portugal.

A variação do registo de chuva é regular e subdividida em duas grandes temporadas, uma chuvosa entre outubro e meados de abril, com particular incidência entre dezembro e fevereiro, registando valores superiores a 30 mm de chuva mensal média em ambos os meses, mas com o seu pico atingido em meados de dezembro com o valor de 36 mm. Por outro lado, a temporada menos chuvosa está compreendida entre meados de abril e finais de setembro onde o seu registo udométrico é drasticamente menor, atingindo o seu mínimo por volta de meados de julho com apenas 1 mm, Figura 22.

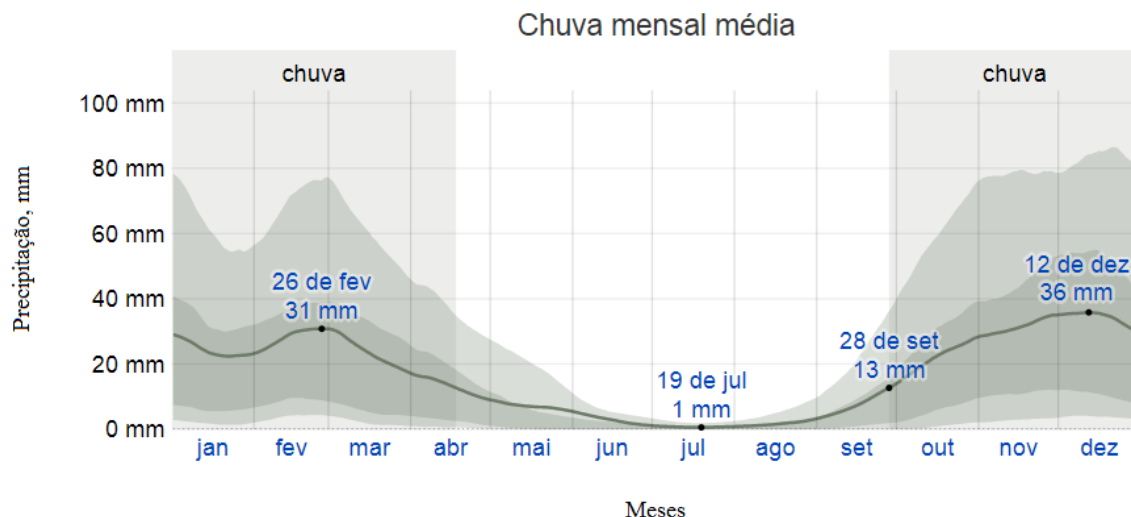


Figura 22 - Registos de pluviosidade em Funchal (Portugal)
Fonte: *Weather Spark* - Condições meteorológicas médias de Funchal, Portugal.

Devido à sua geomorfologia que atinge altitude dos 1.800 metros, é frequente poder observar dois tipos de clima na mesma cidade, sendo que nas zonas mais altas predomina a nebulosidade, chuva e vento, enquanto que na sua zona costeira o céu costuma apresentar mais limpo. Ainda assim devidos às suas características, em eventos esporádicos dá-se a estacionaridade das nuvens o que explica, em parte, alguns eventos de precipitação extremos ao longo da história.

2.5.1.3. Fenómeno Observado

O crescimento da população residente no Funchal e, em concreto da sua zona urbanizada, foi sendo feito ao longo do tempo de forma ordenada e planeada através dos vários instrumentos de gestão territorial existentes e em vigor, quer de origem governamental, municipal ou até mesmo local. As modificações ao seu crescimento e desenvolvimento são mais profundas do que à partida podem transparecer, nomeadamente no que diz respeito à impermeabilização dos solos, ou ainda (e mais grave), à transformação desadequada dos canais de escoamento naturais ou artificiais que atravessam a capital.

É nesta última medida que se centra grande parte da responsabilidade pelos eventos de cheia registados ao longo do tempo, com efeitos devastadores para a população e seus bens. O asficiar dos troços das ribeiras para possibilitar novas edificações ou alterações às existentes tem produzido alterações na dinâmica do escoamento das mesmas, especialmente quando se verificam junto à foz, zona mais crítica e propensa a registos de cheias e inundações, não fosse esta a zona onde se encontram a água pluvial escoada e a água do mar.

De acordo com o referido em Castro (2011), o evento seguidamente descrito deu-se no seguimento de um período de chuva prolongado, que teve início em outubro de 2009 e culminando na grande tragédia de fevereiro do ano seguinte. Durante este período foram registadas precipitações acumuladas superiores a 1.000 mm em todos os postos de monitorização, tendo o do Areeiro-LREC (a cerca de 1600 metros de altitude) atingido o estrondoso recorde de 4.050 mm.

Na manhã de 20 de fevereiro de 2010, havia já sido dado o alerta pela proteção civil, da possibilidade de aguaceiros fortes em toda a ilha, tendo mesmo sido colocada sob alerta vermelho (o mais grave numa escala de quatro). Entre as 9 e as 10 horas da manhã, já havia registos de 58,3 mm nas estações Funchal-Observatório e do Pico do Areeiro, valor que praticamente duplicou em apenas uma hora, atingindo os 105 mm, Figura 23, Figura 24 e Figura 25.

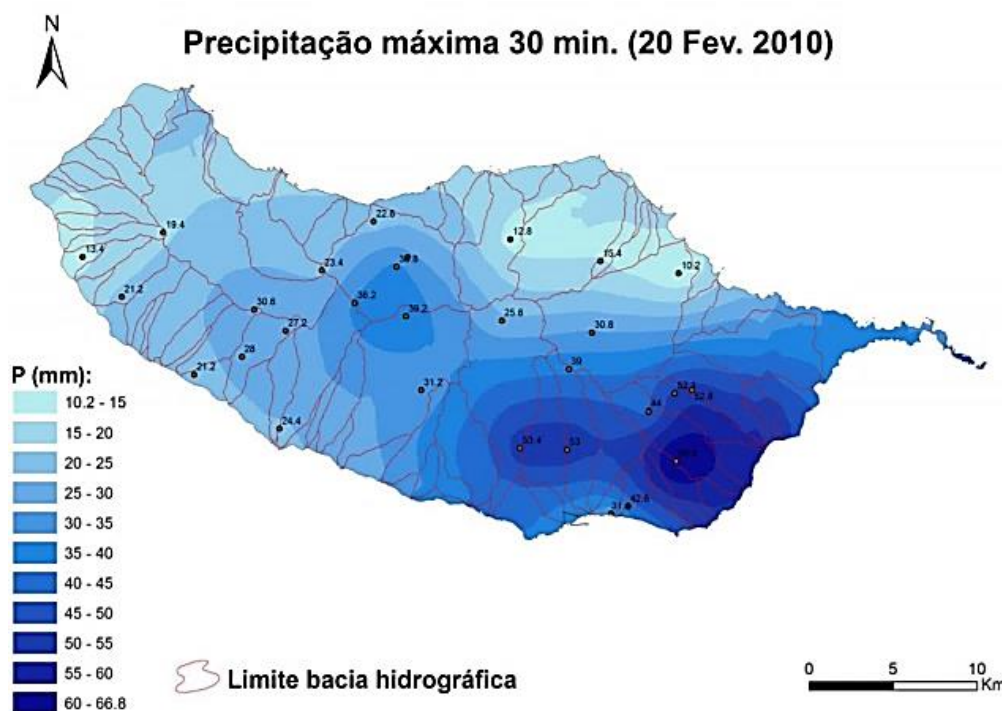


Figura 23 - Precipitação Máxima Acumulada (30 minutos)
 Fonte: Oliveira *et al*, 2011, p.7.

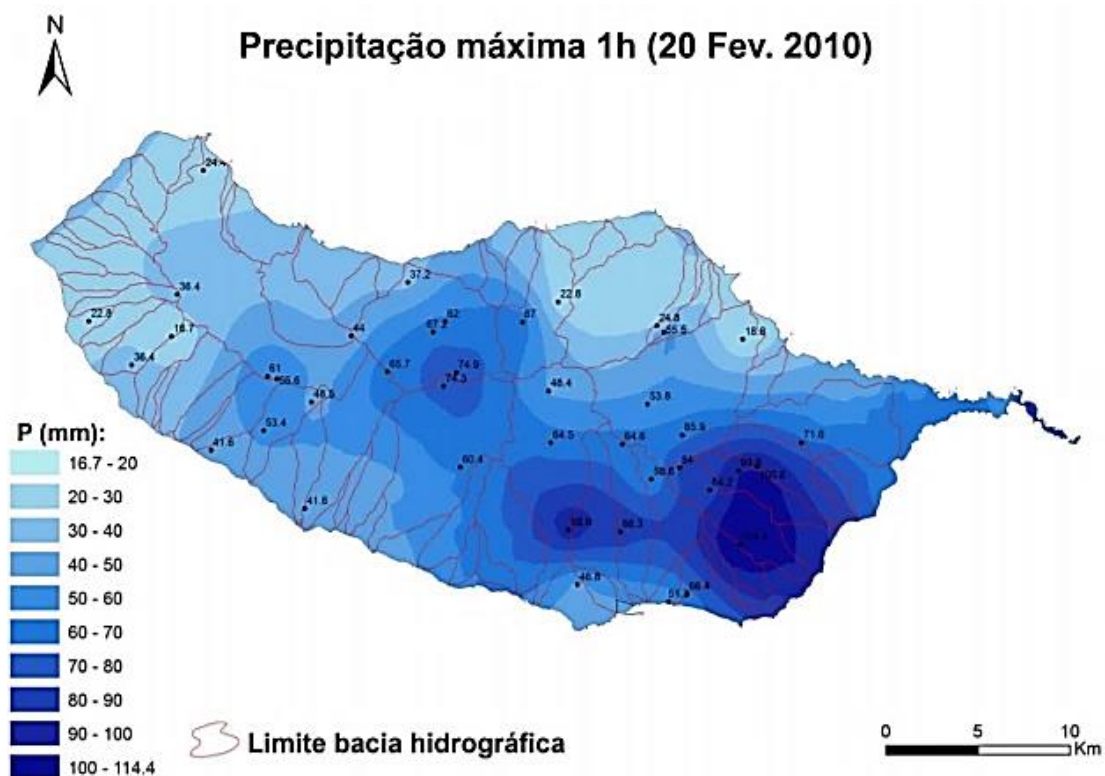


Figura 24 - Precipitação Máxima Acumulada (60 minutos)
 Fonte: Oliveira *et al*, 2011, p.9.

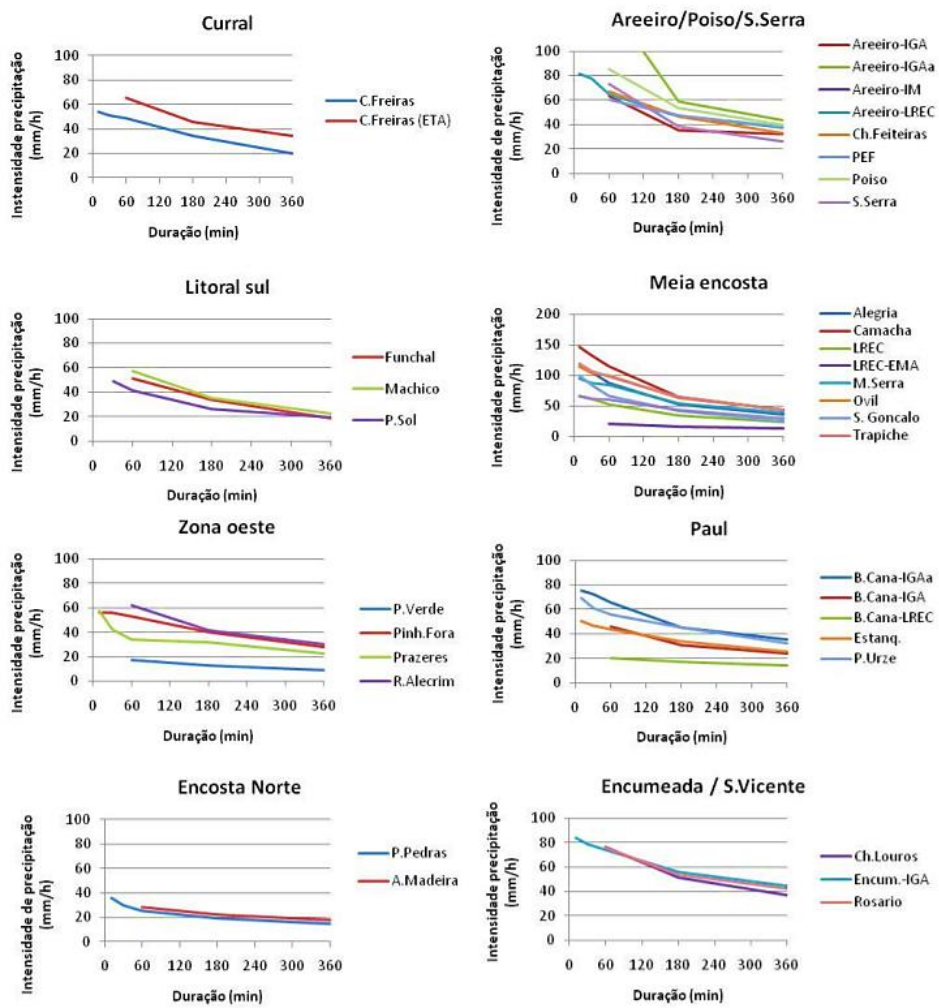


Figura 25 - Intensidade Máxima de Precipitação
 Fonte: Oliveira *et al*, 2011, p.6.

O Funchal simplesmente não estava preparado para aguentar com tamanha descarga a montante das suas ribeiras, Reis (2015). Os fogos dos anos anteriores, aliados à falta de controlo do coberto vegetal, em parte efetuado por espécies invasoras ou simplesmente desadequadas à contenção de movimentos de solos de grandes proporções e que dificultavam a rápida infiltração da água para o subsolo, desempenharam outro grande papel na catástrofe que se fazia antecipar há muito, Figura 26.



Figura 26 - Movimento de terras de grandes dimensões (Trapiche, Funchal)
 Fonte: Madeira Gentes e Lugares, 2010.

Outro grande fator prendia-se com a falta de limpeza dos leitos das ribeiras, os detritos da mais variada dimensão que ao longo do tempo se fizeram depositar, não tinham estruturas de contenção que prevenissem o seu transporte abrupto, aquando de uma chuvada de grande intensidade e prolongada.

Toda esta falta de controlo e prevenção, fizeram com que a enorme quantidade de chuva detetada nas estações de recolha de dados udométricos, recriasse um efeito bola de neve já vislumbrado num passado (não muito distante), de um fenómeno aluvionar que arrastasse consigo enormes quantidades de lama, pedregulhos e troncos, destruindo ou danificando praticamente tudo no seu caminho, Figura 27.

As ribeiras não estavam dimensionadas para suportar tamanha descarga hidráulica, muito menos misturadas com todo o entulho acumulado e, nas suas zonas críticas facilmente transbordaram, Figura 28.



Figura 27 - Exemplo dos detritos e respetivo prejuízo causado

Fonte: Madeira Gentes e Lugares, 2010.



Figura 28 - Exemplo de uma zona crítica da ribeira de Santa Luzia

Fonte: JM Madeira, 2019.

Os resultados diretos e indiretos de um evento de precipitação extremo como este para a ilha foram 42 vidas, centenas de feridos, quase um milhar de desalojados e danos materiais com proporções drásticas para a população, quer no que toca a habitações, obras primas de engenharia, infraestruturas com fins variados ou mesmo veículos que acabaram soterrados até à altura de um primeiro andar de um prédio. Estima-se que o valor do prejuízo total distribuído por toda a ilha se situe na ordem dos 700 milhões de euros, com particular incidência na cidade do Funchal dada a concentração demográfica e atividade comercial, Lousada (2019).

2.5.1.4. Pós 20 de fevereiro de 2010

Após o acontecimento fatídico de 20 de fevereiro, tornou-se urgente iniciar todo um processo de reconstrução condicionando-o fortemente ao nível da gestão territorial, de forma a minimizar prejuízos decorrentes de eventos de igual natureza no futuro. Várias foram as medidas tomadas nesse sentido – *e.g.* a regularização das paredes e fundo das ribeiras em betão armado, por forma a favorecer o rápido escoamento de caudais de ponta de cheia e ao mesmo tempo reforçar os muros de suporte antigos que as confinavam, Figura 29; a limpeza de sedimentos (calhaus e lamas) que se acumularam nos leitos das ribeiras e nas ruas, aproveitando para construir aquilo que hoje em dia se designa como praça do povo, um espaço verde urbano; alargamento da secção transversal através da junção das duas ribeiras no seu trecho final.



Figura 29 – Obras de regularização da ribeira de Santa Luzia

Fonte: Diário de Notícias, 2016.

Por outro lado, nem todas as medidas aplicadas foram positivas, nomeadamente quanto à gestão do território. Com plena noção das consequências da tragédia de 20 de fevereiro de 2010, em alguns casos a ocupação de solos na imediação dos dois cursos de água principais continua a ser desadequada.

A título de exemplo, numa zona de risco (de incêndios e principalmente de inundação, comprovado pela Figura 30 anexa à ribeira de João Gomes, permitiu-se a utilização deste espaço para fins diversos, nomeadamente a norte para a exploração de hortas urbanas e a sul por um centro de lavagem de veículos (correndo o risco de prejudicar a fauna, a flora e a própria estrutura exterior da ribeira). Salienta-se ainda, o facto de não se ter expropriado todas as habitações da zona de risco, permitindo deste modo que as infraestruturas se encontrem deste modo indefinidamente expostas a futuros fenómenos de cheia.



Figura 30 - Extrato da Planta de Ordenamento II do PDM do Funchal (João Gomes)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por outro lado, na ribeira de Santa Luzia, tarda em deslocar-se um posto de combustível sobranceiro ao curso de água que representa um perigo não só ao nível dos potenciais danos ambientais e da estrutura hidráulica, como constitui uma obstrução ao natural escoamento do canal por via do estreitamento da respetiva secção transversal. Um segundo problema e ainda relacionado com postos de combustível dá-se um pouco mais a norte, Figura 31, onde atualmente se encontra a finalizar a construção de um posto justamente na margem da ribeira acatando consigo os problemas e riscos anteriormente referidos, acrescentando ainda o curioso facto de a escassos metros se situar um ponto de captação de águas para consumo da população.

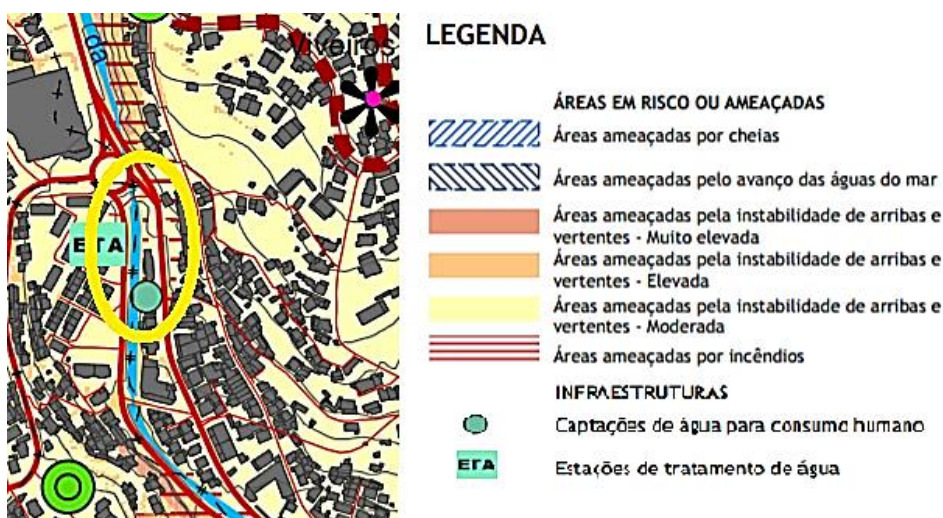


Figura 31 - Extrato da Planta de Ordenamento II do PDM do Funchal (Santa Luzia)

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.5.2. Povoação (Açores, Portugal)

2.5.2.1. Enquadramento Geográfico



Figura 32 - São Miguel (Açores)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os Açores, designam um arquipélago composto por 9 ilhas subdivididas por 3 grupos, oriental (Santa Maria e São Miguel), central (Terceira, Graciosa, São Jorge, Faial e Pico) e ocidental (Flores e Corvo), Figura 33. Geograficamente, situam-se a nordeste do Oceano Atlântico, perto da Europa e de África, nomeadamente entre os paralelos $39^{\circ} 43' 34''$ e $36^{\circ} 55' 39''$ de latitude Norte, e os meridianos $25^{\circ} 0' 47''$ e $31^{\circ} 16' 8''$ a oeste de *Greenwich*, Calado (2008), sendo parte integrante da região da Macaronésia. Em termos demográficos, o arquipélago apresenta um saldo de 246.746 habitantes, INE (2011) e uma área territorial de cerca de 2.333 Km², perfazendo uma densidade populacional de aproximadamente 106 hab/Km².

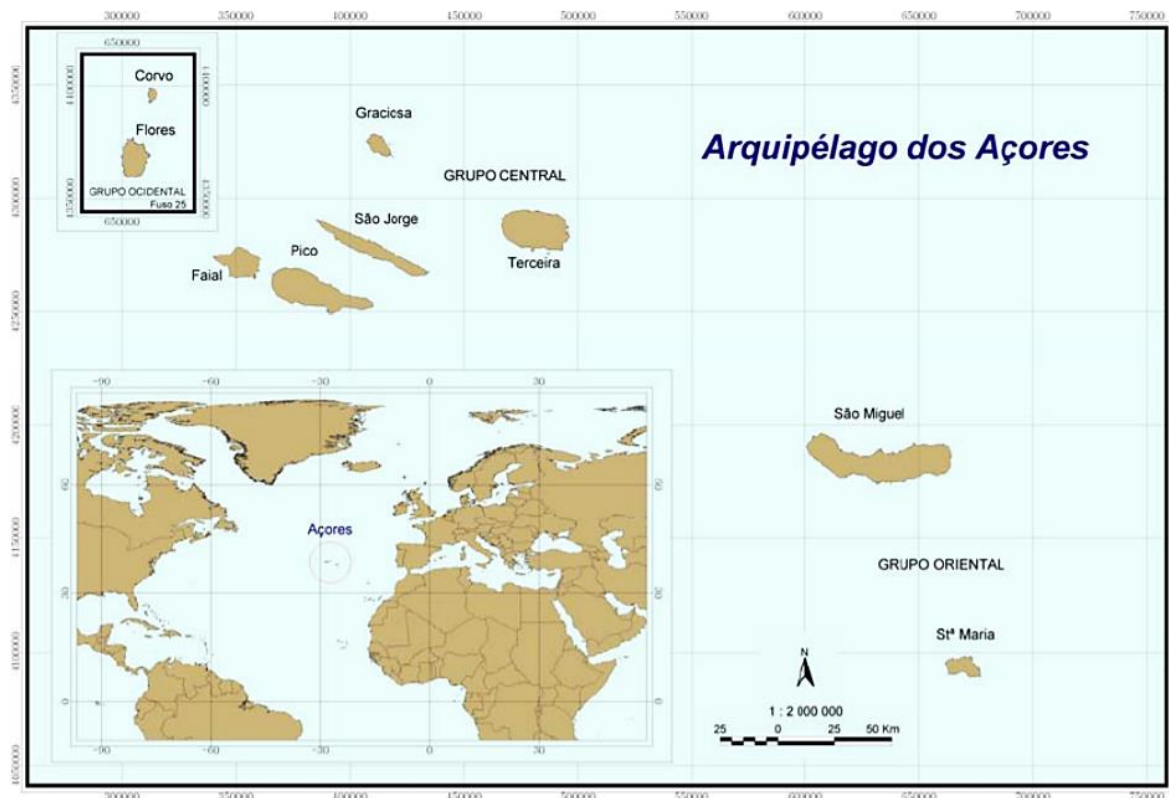


Figura 33 - Arquipélago Açoriano

Fonte: Calado, 2013 (adaptado de UAA/DB/SG, 2003a)

Povoação, Figura 34, designa um município da ilha de São Miguel, no arquipélago dos Açores, que se subdivide por sua vez em seis freguesias, nomeadamente: Água Retorta, Faial da Terra, Furnas, Nossa Senhora dos Remédios, Povoação e Ribeira Quente. Com cerca de 6.327 habitantes (estimativa de 2011), Povoação abrange uma área territorial com uma extensão de aproximadamente 110,3 Km², pelo que a sua densidade populacional atinge o valor de 57,36 hab/Km².

Como limites geográficos, Povoação encontra-se ladeada pelos municípios de Ribeira Grande e Vila Franca do Campo, respetivamente a nordeste e oeste, e pelo Oceano Atlântico a leste e a sul.



Figura 34 - Povoação, Açores

Fonte: byAçores

2.5.2.2. Fatores Climáticos

O arquipélago açoriano possui um risco climático de eventos precipitação intensa relativamente semelhante ao madeirense. Embora seja necessário considerar que o fenómeno se dá por diferentes motivos, também nos açores se verifica a estacionaridade nublada de sistemas convectivos, num espaço temporal que chega a atingir vários dias e, cuja descarga pluvial pode atingir proporções diluviais, se dá repentinamente através de diversos mecanismos, (Ferreira, 1985).

Por via de não haver caracterização do clima da freguesia de Povoação, optou-se por fazer análise da localidade mais próxima, neste caso a freguesia vizinha das Furnas também pertencente ao concelho da Povoação. Tendo em conta o registo de temperaturas máximas e mínimas (médias), Figura 35, é possível inferir que a subdivisão em duas estações é feita com a denominada de amena a ter acontecimento entre dezembro e abril, atingindo o seu pico em inícios de dezembro com aproximadamente 15 °C e, por outro lado a estação morna a estar compreendida entre julho e setembro, com um registo máximo de 22 °C em meados de agosto. Os restantes meses inserem-se na transição entre as duas estações, com temperaturas máximas irregulares, mas a tenderem para os valores registados na estação seguinte.

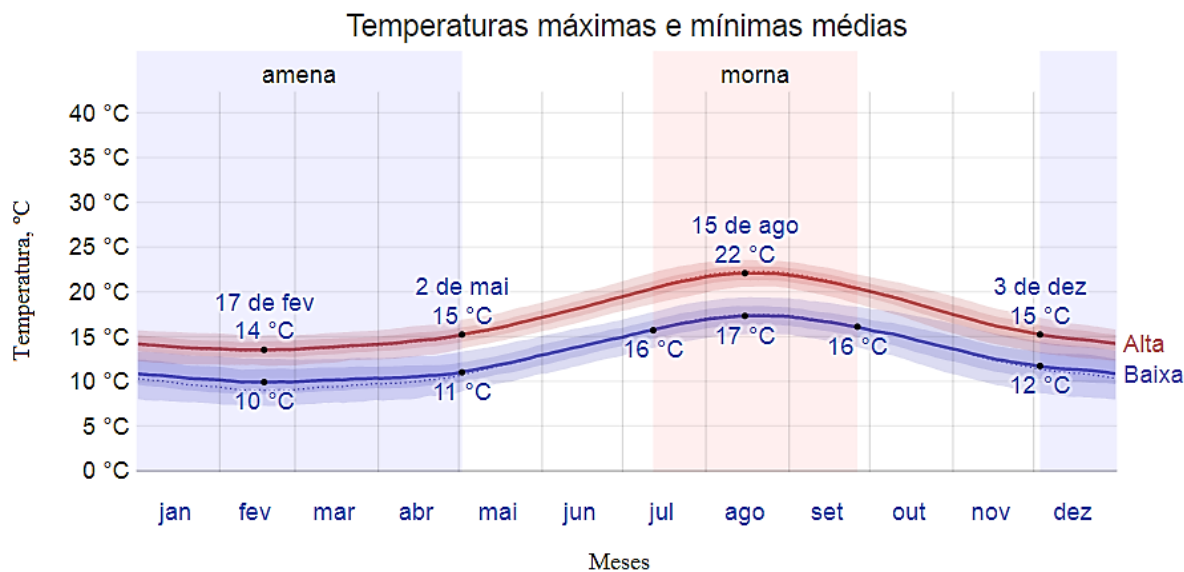


Figura 35 - Registo de temperaturas em Furnas (Portugal)
Fonte: Weather Spark - Condições meteorológicas médias de Furnas, Portugal.

Por outro lado, atendendo ao registo de chuva mensal (média), Figura 36, podemos constatar que o período chuvoso do ano é extenso tendo a duração aproximada de 10 meses, com início nos finais de agosto e o seu término a meados de junho, apresentando registos máximos de 74 mm em meados de dezembro e de 44 mm no final de janeiro. A estação seca tem apenas a duração de dois meses e está compreendida entre os meados de junho e agosto com um valor de precipitação mínima a ser atingido em julho de apenas 6 mm.

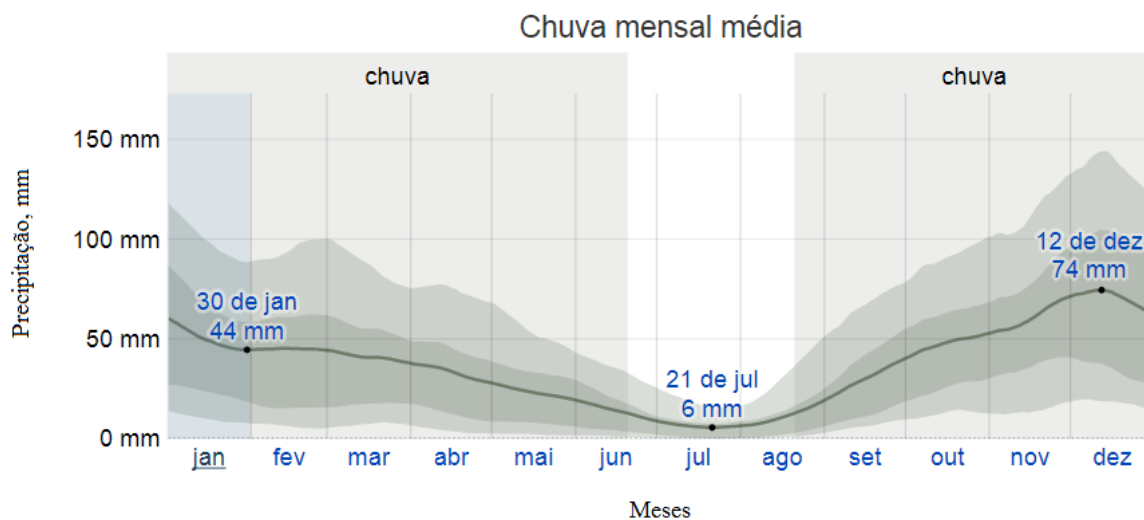


Figura 36 - Registo de pluviosidade em Furnas (Portugal)
Fonte: Weather Spark - Condições meteorológicas médias de Furnas, Portugal.

Não sendo comparável com a ilha da Madeira no que concerne à sua altitude, a oceanicidade e a proximidade à corrente do Golfo, apresentam-se como dois fatores de relevo para a quantidade de precipitação que acaba sendo registada nas ilhas dos Açores.

Pelos fatores anteriormente expostos, torna-se vasto o registo da ocorrência de chuvadas intensas, cheias e inundações, às quais se somam os correspondentes prejuízos materiais e humanos um pouco por todo o arquipélago. Um exemplo claro disso foi exposto por Ferreira (1985), ao relatar a queda de mais de

620 mm de chuva entre os dias 5 e 8 de novembro de 1969, no cimo da caldeira, na ilha do Faial, sendo ainda referido pelo mesmo autor uma autêntica catástrofe a 3 de setembro de 1976, com um saldo de perdas de vidas humanas de 68 pessoas.

2.5.2.3. Fenómeno Observado

De acordo com o que Rebelo (2003) expõe, a quantidade de precipitação registada no posto meteorológico da Ponta Delgada em 1986, verificou-se exagerada quando comparado com a média registada entre as décadas de 30 e 60 do mesmo século. Tendo em conta que a média para esse período de três décadas tinha sido de cerca de 28,8 mm, em 1986 esse valor era praticamente seis vezes superior, aproximadamente 127,7 mm e, em outro posto situado no Planalto dos Graminhais (local que acaba por funcionar como um catalisador das ribeiras da parte oriental da ilha), o registo terá atingido mesmo os 350 mm de chuva, um valor desmedido que facilmente evidenciava um cenário de risco.

Nas freguesias da Povoação e Faial da Terra, atendendo ao fenómeno anteriormente descrito, era notória a conjugação dos riscos hidrológico e geomorfológicos, com a agravante da pressão antrópica desenvolvida pela presença humana naquelas localidades.

De entre estas duas freguesias, o acontecimento mais marcante acaba por ser o da Povoação, até pela sua importância histórica². Nesta localidade, o processo de escoamento da água de chuvas tem início em três torrentes, Figura 37, nomeadamente as ribeiras de Lagos, do Purgar e da Lomba Grande, convergindo posteriormente em um único canal, sendo que, esta infeliz junção se efetuava a montante da vila e com a agravante de a esta majoração de caudal se aditarem os de duas ribeiras de menor dimensão, Poiso dos Pombos e Pé do Salto.

As torrentes designam cursos de água de pequena dimensão, de carácter temporário e que têm como funções, concentrar e escoar a água pluvial, situando-se por isso, nas vertentes de relevo mais acidentado de vales ou nas suas cabeceiras.

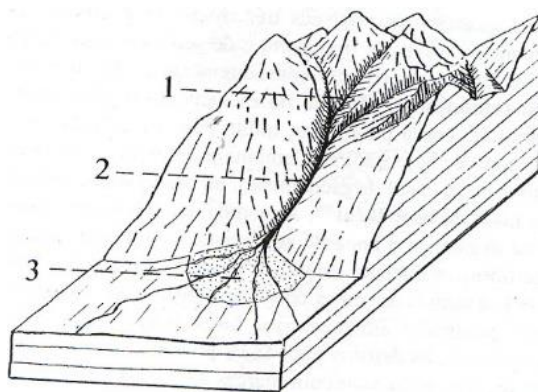


Figura 37 - Exemplo da composição de torrentes
Fonte: Ciências da Vida e da Terra: As Torrentes, 2012.

No que toca à sua morfologia, as torrentes veem o seu funcionamento ser realizado de forma sequencial, por 3 troços com características e objetivos diferentes, sendo estes:

1. Bacia de receção: situa-se na zona mais elevada do conjunto, e designa o local para onde converge o escoamento da pluviosidade. Apresenta um aspeto geralmente erodido e

² Local de desembarque dos primeiros povoadores da ilha de São Miguel (Açores).

desprovido de vegetação, sendo amplo e escavado a montante, com tendência a afunilar posteriormente;

2. Canal de escoamento: apresenta-se como um troço aproximadamente retilíneo, com uma secção transversal em V (assimilando-se a um vale profundo);
3. Cone de dejeção: trata-se do depósito detrítico-sedimentar resultante da perda de velocidade do escoamento, situado a jusante do canal de escoamento, que assume uma forma semelhante a um leque, mais ou menos rebaixado, e cuja extensão da acumulação pode variar entre alguns metros e alguns quilómetros consoante a quantidade de material drenado. Naturalmente, sendo o troço final (resultante) de todo o processo, o seu crescimento é contínuo.

O método tradicional de atenuação do efeito das torrentes, traduz-se pela diminuição da energia do escoamento no canal e pode ser efetuado através da implantação de tabiques, reduzindo a escorrência e abrindo regos segundo as curvas de nível, ou ainda, através da fixação de vegetação adequada no primeiro troço do processo.

O formato assumido pelo conjunto das 5 fontes de alimentação do canal de escoamento, acaba se aproximando a uma forma circular (o que acarreta perigosidade acrescida no que concerne ao processo de escoamento), Figura 38, por outro lado, quanto à variação do declive ao longo dos 6 a 7 quilómetros dos referidos cursos de água, verifica-se que em dois deles o decréscimo de aproximadamente 1.000 metros.

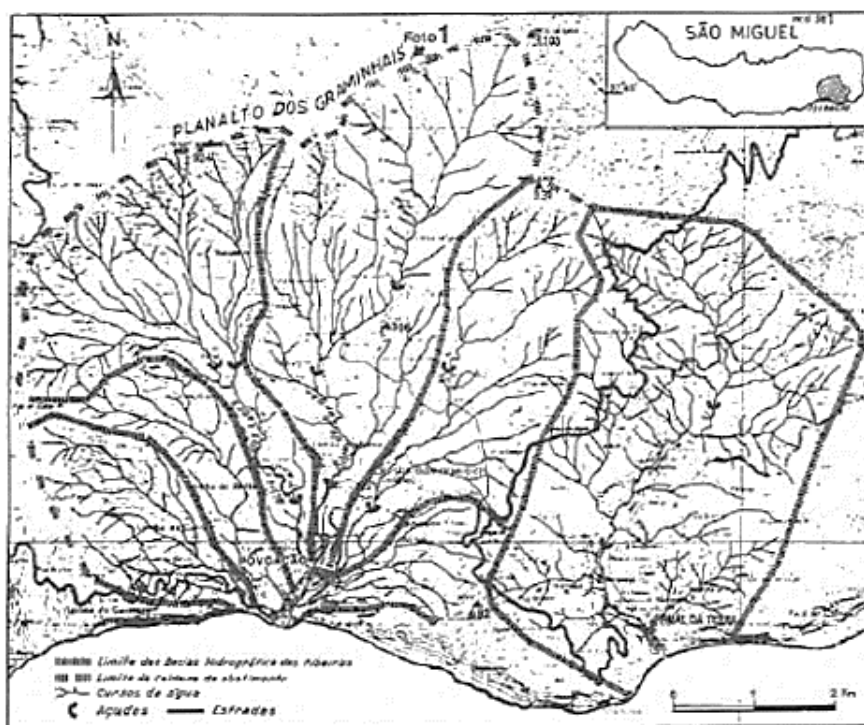


Figura 38 - Bacias hidrográficas das ribeiras convergentes na Povoação

Fonte: Adaptado de REBELO, 2003, p.180.

Após a convergência das duas últimas ribeiras, de carácter secundário atendendo à sua dimensão e capacidade de drenagem, para junto do escoamento proveniente das 3 principais fontes de alimentação do canal, o formato a jusante deveria se assemelhar a um leque. Contudo, a intervenção humana verificada ao longo do tempo, é facilmente perceptível, pelas alterações efetuadas quer no canal de escoamento quer no cone de dejeção, tornando-o um canal artificial, compartimentado por diques

laterais, sendo que a perda de carga (redução de energia do escoamento) é realizada por pequenos descarregadores hidráulicos cuja eficácia em períodos de ponta de acontecimentos de cheia, é dúbia. Outro dos fatores incisivos no caso de estudo, prende-se com o desaparecimento da cobertura vegetal numa vasta área das bacias de receção, mais um dos vestígios da presença e impacto humanos, que por sua vez levou ao favorecimento das movimentações em massa nas vertentes, fazendo escoar detritos tais como lama e calhaus, aumentando desta forma a energia do caudal escoado.

Infelizmente, em 1996 (dez anos depois) verificou-se novamente fenómeno de chuvada intensa e prolongada, repetindo-se todos “condimentos” para que a calamidade atingisse proporções semelhantes e destruísse cerca de 200 moradias, 40 viaturas e ainda algumas obras de arte de engenharia civil tais como pontes.

Em ambos acontecimentos, de pouco serviram as estruturas de contenção existentes tais como vários açudes dispersos pelas bacias hidrográficas, sendo considerado como essencial a existência de pequenas barragens, particularmente nas ribeiras de Purgar, dos Lagos e da Lomba grande.

2.5.3. Tenerife (Canárias, Espanha)

2.5.3.1. Enquadramento Geográfico

A Espanha é um país geograficamente situado na cauda da Europa, onde a par de Portugal forma a Península Ibérica, sendo limitado a nordeste pela França. É banhada a sul e a leste pelo mar Mediterrâneo, a norte pelo mar Cantábrico, a nordeste pelo Golfo da Biscaia e a noroeste pelo Oceano Atlântico.

Em termos administrativos, o país acaba se subdividindo em 17 comunidades autónomas nomeadamente: Andaluzia, Aragão, Ilhas Baleares, Canárias, Cantábria, Castilla-La Mancha, Castela e Leão, Catalunha, Comunidade de Madrid, Comunidade Foral de Navarra, Comunidade Valenciana, Extremadura, Galiza, País Basco, Principado das Astúrias, Região de Múrcia e La Rioja.

Concretamente no que às ilhas Canárias diz respeito, estas constituem um arquipélago espanhol (com 7 ilhas principais divididas em 2 províncias e vários ilhéus e ilhas de menor dimensão), Figura 39, banhado inteiramente pelo Oceano Atlântico, geograficamente situado a sul do arquipélago da Madeira e a sudoeste de Marrocos.

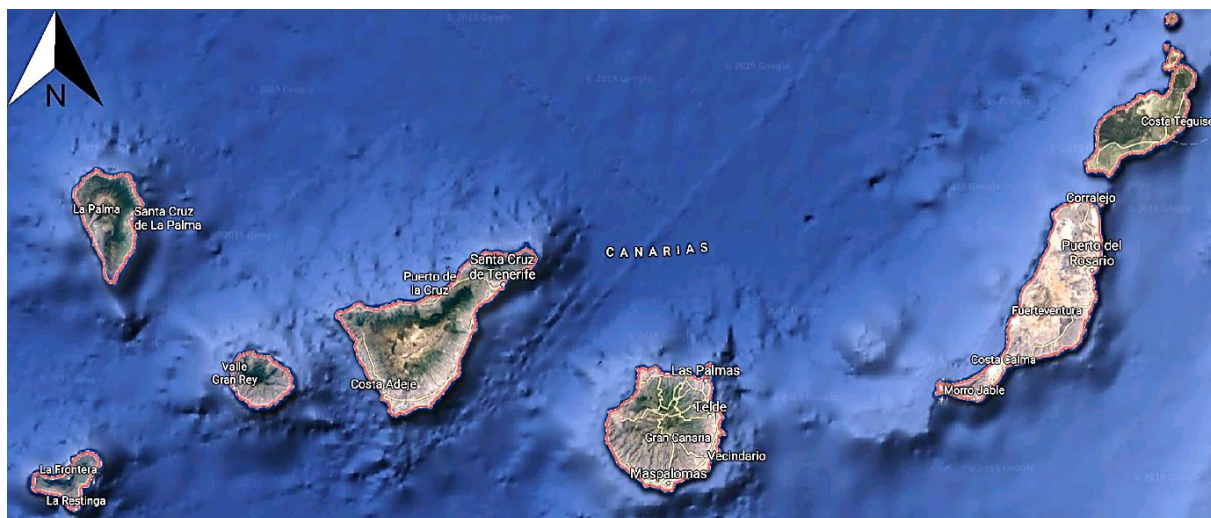


Figura 39 - Arquipélago das Canárias

Fonte: Elaborada pelo autor.

Possuindo uma área total de cerca de 7.447 Km² (apenas a 13ª maior de todas as comunidades autónomas espanholas) e, uma população de 2 milhões de habitantes de acordo com registos de 2005, atinge a proporção de 247.58 hab/Km² no que concerne a densidade demográfica, obtendo deste modo os títulos de maior e mais populoso arquipélago integrante da região da Macaronésia.

Se atendermos especificamente ao local de estudo, neste caso Santa Cruz de Tenerife que se localiza geograficamente em 28° 19' N e 16° 34' O, as estatísticas acima referidas adaptam-se quanto à demografia para um registo populacional de 203.585 habitantes (dados de 2016), distribuídos por uma área territorial de 150,6 Km², perfazendo uma densidade populacional de valor igual a 1.351,83 hab/Km².

2.5.3.2. Fatores Climáticos

Pelo que é descrito Instituto Português do Mar e da Atmosfera - IPMA (2011), no *Atlas Climático dos Arquipélagos das Canárias, da Madeira e dos Açores*, a temperatura nas Canárias conhece duas estações distintas, variando de morna nos meses compreendidos entre julho e outubro, alcançando um valor máximo médio diário de 28 °C registo que ocorre geralmente em meados de agosto e, por outro lado, a estação mais fresca que ocorre entre os meses de dezembro e abril, onde a máxima média diária normalmente não ultrapassa os 22 °C, obtendo o seu valor mais baixo em fevereiro, Figura 40.

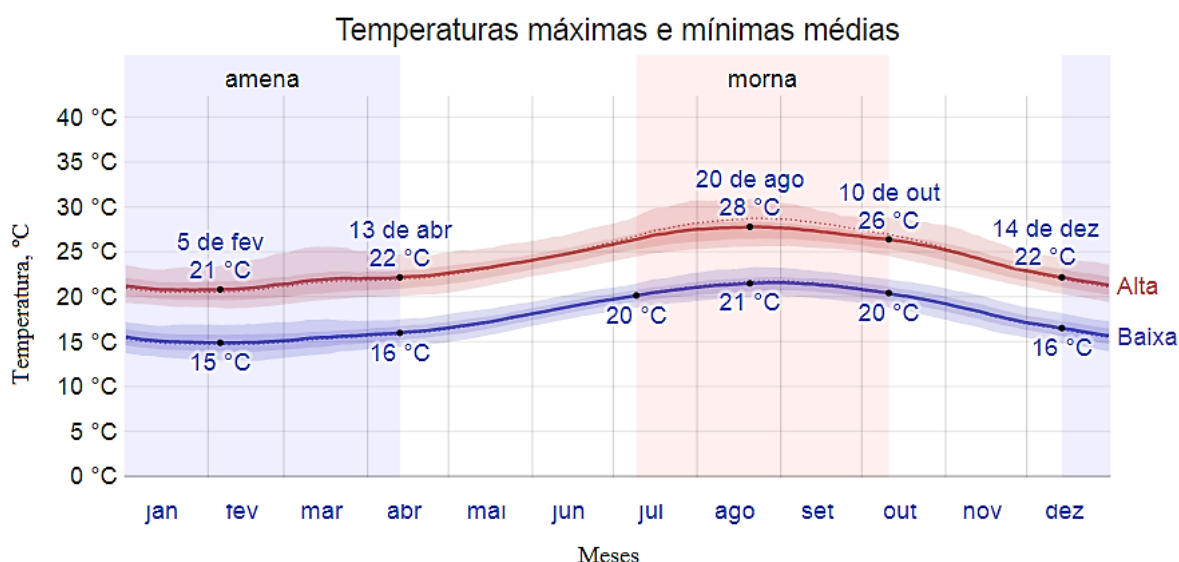


Figura 40 - Registo de temperaturas em Tenerife (Espanha)

Fonte: *Weather Spark* - Condições meteorológicas médias de Canárias, Tenerife.

Da análise hidrológica do arquipélago e, neste caso particularizando a Santa Cruz de Tenerife, podemos inferir que a variação sazonal da quantidade de precipitação medida nas várias estações de recolha de dados udométricos é moderada. O registo efetuado permite a subdivisão do ano em duas temporadas, sendo a que contempla um maior valor acumulado de precipitação compreendida entre os meses de novembro e março, onde o registo mínimo alcançado nos 31 dias ao redor do pico máximo foi de 22 mm. Por outro lado, Tenerife passa praticamente 6 meses, entre abril e setembro com um registo muito baixo de precipitação registada, sendo que nos meses de junho e julho este valor acaba mesmo por ser nulo.

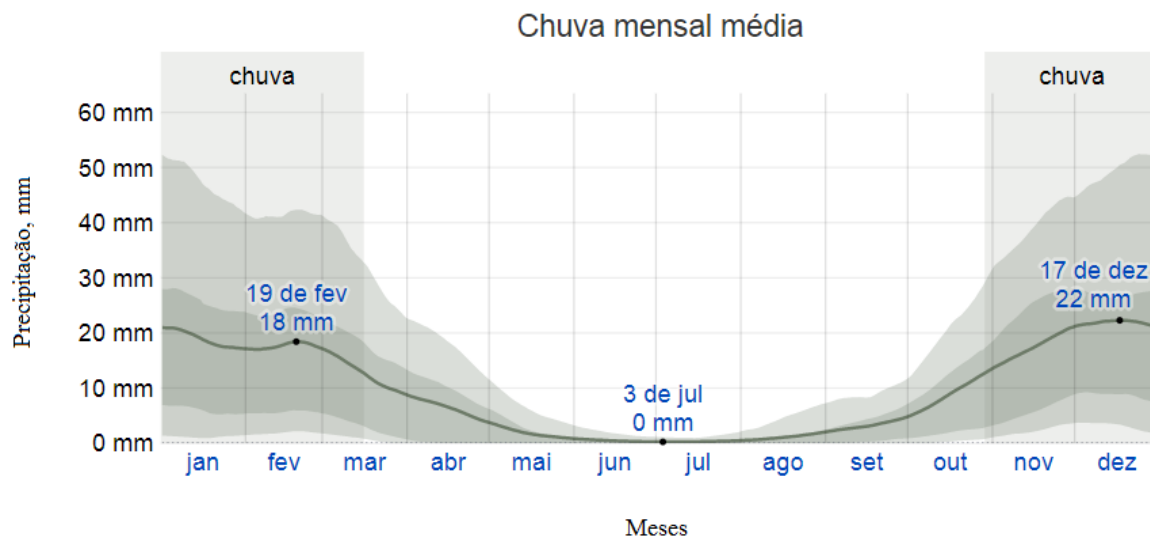


Figura 41 - Registo da pluviosidade em Tenerife (Espanha)
Fonte: *Weather Spark* - Condições meteorológicas médias de Canárias, Tenerife.

2.5.3.3. Fenómeno Observado

Entre os dias 19 e 20 de outubro de 2014, o arquipélago das canárias obteve uma demonstração brutal e inesperada, do efeito de uma chuvada torrencial em área urbana. Com o passar do olho de uma frente extremamente fria diretamente sobre as ilhas de Tenerife e La Gomera, era previsível que se registassem fluxos anormais de precipitação, contudo, a quantidade anormal registada na área de Santa Cruz, Figura 42, a capital da ilha de Tenerife, atingiu a marca dos 140 mm em apenas 24 horas, Figura 43.



Figura 42 - Cartografia do barranco Santos (Santa Cruz - Tenerife)
Fonte: Elaborada pelo autor.

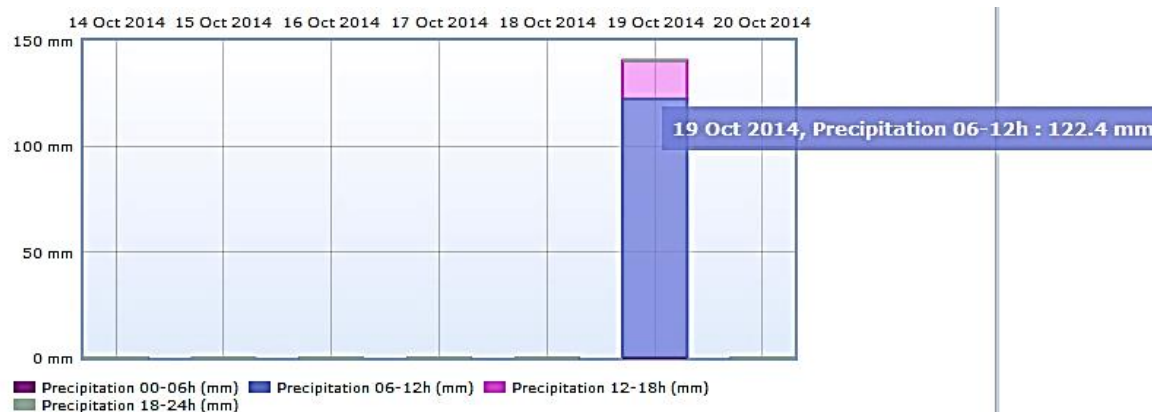


Figura 43 - Precipitação registada a 19 de outubro em Tenerife
 Fonte: *Eumetsat*, 2014.

As consequências diretas retiradas da passagem da tempestade nesta área urbana, uma vez mais, se demonstram pela destruição e até submersão de veículos, danos nas vias de comunicação rodoviária (arrancamento do asfalto), inundações em infraestruturas de habitação, comércio e culturais/religiosas, Figura 44, e perda de vidas humanas sendo que o registo oficial foi de apenas uma, mas segundo relatos da comunicação social, esse número poderá ter sido seis vezes superior. Deu-se ainda o corte do fornecimento de energia elétrica, bem como das comunicações afetando pelo menos 4.000 habitações e agravando o pânico instalado.

Em conjunto com a água da chuva que caiu, com particular incidência em Santa Cruz, verificou-se o transporte de sedimentos de grandes dimensões, bem como lama e troncos provenientes do coberto vegetal de solos a montante. Isto naturalmente levou ao extravasamento do leito do barranco Santos, que ao ter o seu curso inserido no seio da zona urbana da capital de Tenerife provocou os respetivos prejuízos anteriormente referidos, Figura 45.

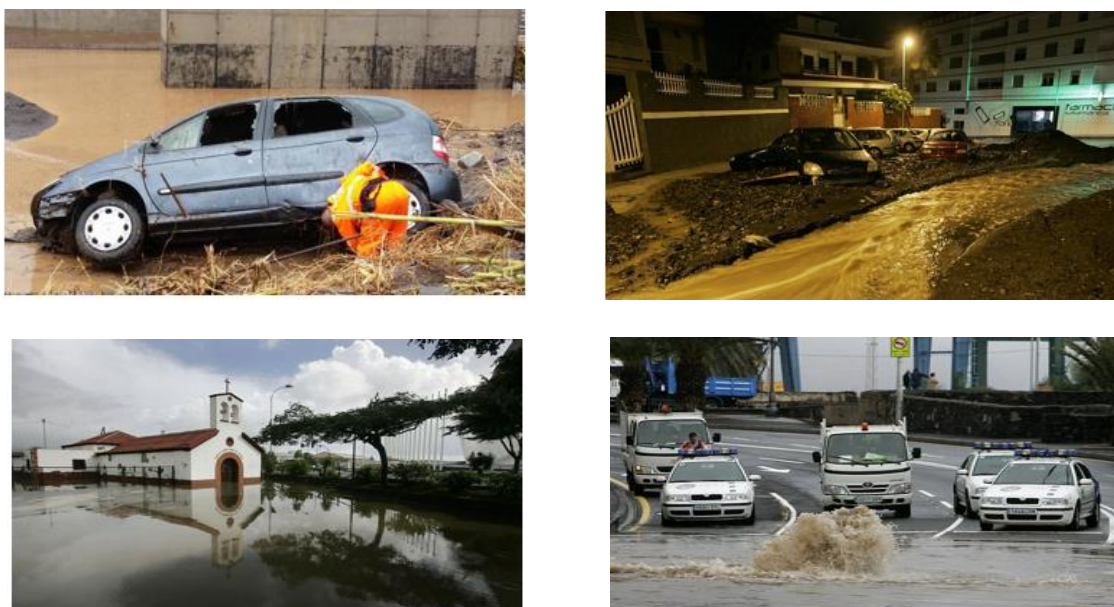


Figura 44 - Danos em veículos e infraestruturas
 Fonte: *FloodList*, 2014.



Figura 45 - Entulho na rede viária resultante do extravasamento do barranco Santos
Fonte: Mail Online, 2010.

Não sendo uma completa novidade para os habitantes que haviam experimentado uma experiência de chuvadas torrenciais apenas quatro anos antes, com um registo de quantidade de precipitação até mais elevado, aproximadamente 200 mm como máximo em apenas duas horas, o resultado prático deste caso vem demonstrar que as devidas medidas preventivas não foram tomadas.

2.5.4. Ribeira Brava (São Nicolau, Cabo Verde)

2.5.4.1. Enquadramento Geográfico

A República de Cabo Verde, ou simplesmente Cabo Verde, designa um país de características insulares localizado no Atlântico Norte a cerca de 455 Km da costa ocidental africana. O país, que neste caso se apresenta sob a forma de um arquipélago, é composto por dez ilhas (sendo que apenas 9 destas são habitadas) e oito ilhéus, Figura 46, subdivididos por sua vez em dois grandes grupos:

- Barlavento (Norte) - Ilhas de Santo Antão, S. Vicente, Santa Luzia, S. Nicolau, Sal e Boa Vista e os Ilhéus de Pássaros, Branco e Raso;
- Sotavento (Sul) - Ilhas do Maio, Santiago, Fogo e Brava e os Ilhéus de Santa Maria, Luís Carneiro, Sapado Grande e de Cima.

A demografia do país está estimada em 560.899 habitantes (dados de 2017) distribuídos por uma área total de 4.033 Km², perfazendo índice de densidade populacional de 139,07 hab/Km². A maior concentração populacional de Cabo Verde verifica-se, uma vez mais, na sua capital Praia, na ilha de Santiago, geograficamente situada no sudoeste do arquipélago.

Por outro lado, a ilha de São Nicolau que se enquadra geograficamente entre os 16° 29' e 16° 40' a norte do equador e entre os 24° 00' e 24° 25' a oeste do meridiano de *Greenwich* e onde se localiza o município objeto de estudo (Ribeira Brava), concentra em si 13.310 habitantes correspondentes a 2,4% da população total do país, distribuídos por uma área de 343 Km², perfazendo uma densidade populacional de 38,8 hab/Km², INE (2008).

Shahidian (2014), afirma que no que toca à sua relação com a chuva, as ilhas de Cabo Verde estão já mais que habituadas a sujeitar-se a uma de duas hipóteses, ou pela sua escassez ou pela abundância redentora,

o que ocasionalmente se transforma em fenômenos de chuva súbita e intensa, acatando consigo todas as consequências para a população do país, nas mais diversas localidades.



Figura 46 - Mapa topográfico de Cabo Verde
Fonte: Elaborada pelo autor.

2.5.4.2. Fatores Climáticos

O clima cabo-verdiano, pela influência de se localizar na sona subsaheliana, acaba se assumindo como sendo tropical, de caráter semideserto tendencialmente árido ou semiárido, tendo ainda a sua temperatura controlada e balizada geralmente entre os 20 e os 25 °C pela Corrente das Canárias³ e pelos ventos alísios. O fator de insularidade confere-lhe uma boa humidade atmosférica, ainda que não a suficiente para ser geradora de precipitação.

Subdividindo-se nas categorias de morna e amena, respetivamente entre agosto e outubro e entre janeiro e abril, os valores máximos e mínimos da temperatura (média) máxima atingem-se, geralmente, com os valores de 28 °C em setembro e de 23 °C em fevereiro, Figura 47. Os restantes meses correspondem às fases de transição entre as duas categorias oscilando dentro da tendência da categoria seguinte.

³ Corrente marítima do Atlântico Norte, que flui para sudoeste ao longo da costa noroeste de África até à região do Senegal, onde inverte para oeste, afastando-se da costa.

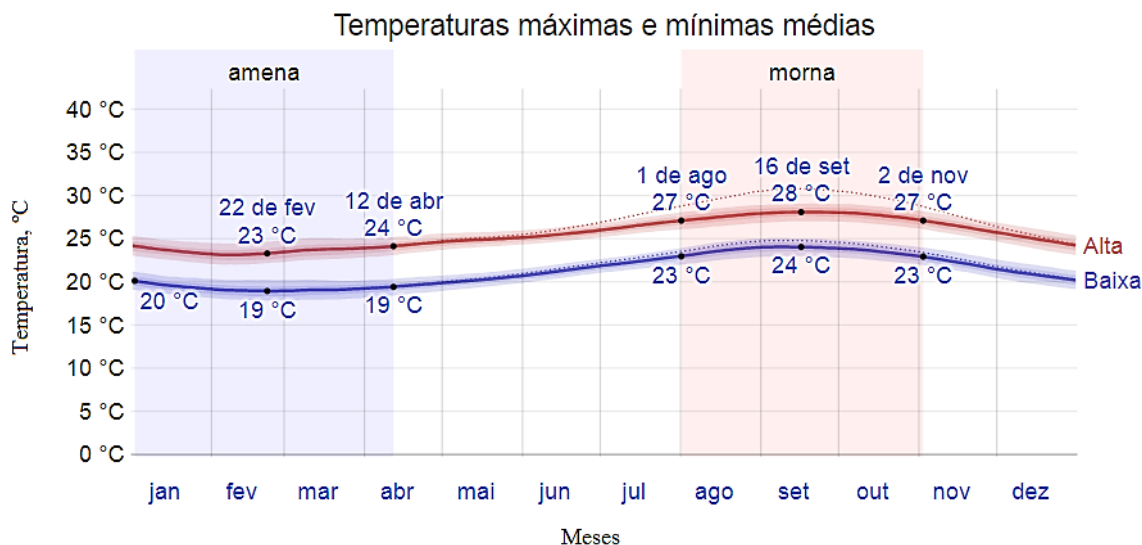


Figura 47 - Registo de temperaturas em Ribeira Brava (Cabo Verde)
Fonte: *Weather Spark* - Condições meteorológicas médias de Cabo Verde, Ribeira Brava.

No que toca à pluviosidade registada, Cabo Verde e em particular a cidade Ribeira Brava, apresentam uma variação sazonal moderada, sendo que, o período com maior precipitação compreende os meses de agosto a fevereiro, tendo o seu pico geralmente ocorrência por volta de setembro com o valor de 23 mm e, o seu mínimo em junho incluído na temporada de baixa precipitação compreendida entre fevereiro e julho com apenas 1 mm registado, Figura 48.

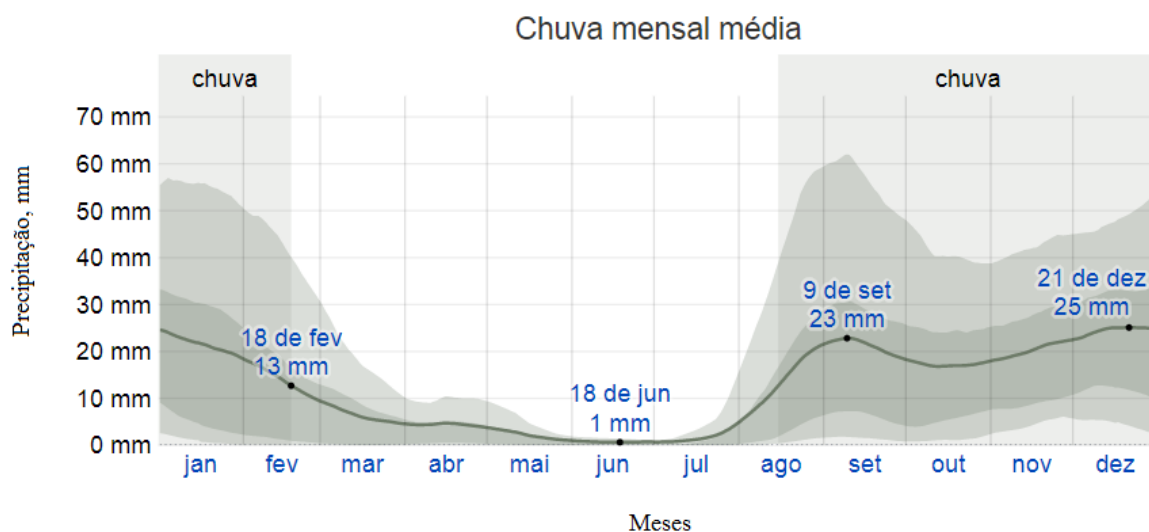


Figura 48 - Registo de precipitação em Ribeira Brava (Cabo Verde)
Fonte: *Weather Spark* - Condições meteorológicas médias de Cabo Verde, Ribeira Brava.

2.5.4.3. Fenómeno Observado

No seguimento das grandes quantidades de precipitação que se vinham a registar em setembro e outubro de 2009, ocorreram cheias e inundações em praticamente todas as ilhas de Cabo Verde, atingindo com particular intensidade as de Santo Antão, São Vicente e São Nicolau. Esta última foi de todas, a que durante mais dias consecutivos foi fustigada por precipitação de alta intensidade, tendo Monteiro (2011) relatado detalhadamente o acontecimento.

O concelho da Ribeira Brava, mais concretamente na Vila da Ribeira Brava, registou valores acumulados nos três meses de agosto, setembro e outubro muito elevados (da ordem dos 1.000 mm) tendo o resto da ilha acompanhado, embora em menor quantidade, Tabela 10. Podemos ainda pelo mesmo quadro, denotar que no dia 18 de setembro bem como a 21 de outubro se registaram picos de 300 mm (sendo esta a capacidade máxima do pluviómetro, ou seja, o valor real terá sido ainda superior a este), sendo deste modo perspetivável o panorama crítico que se seguiria.

Em síntese, além das chuvadas de alta intensidade que tiveram acontecimento entre 16 e 18 de setembro, verificou-se a existência de outros fatores contribuintes para o desfecho arrasador para as infraestruturas existentes (como habitações, pontes e estradas), sendo disso exemplo os declives superiores a 45°, onde os vales se encontram encaixados e cujo formato de anfiteatro se parece com o de bacias de receção, a falta de coberto vegetal a montante, bem como um vasto conjunto de sedimentos de dimensão variada depositados no tramo final das vertentes, Figura 49. As ribeiras em questão são descritas como tendo uma grande capacidade de transporte e elevada competência, embora possuam um escoamento apenas esporádico.

Como se tudo o que anteriormente referido não demonstrasse um caráter crítico, a impermeabilização do solo e o estreitamento do leito das ribeiras nas áreas urbanas, e por isso mesmo densamente povoadas, agravou a situação, Saraiva (2009).



Figura 49 - Invasão de habitações e caminhos por lama

Fonte: Sapo Notícias, 2009

Tabela 10 - Quadro de registo de precipitação em São Nicolau

	Estações / Postos	Agosto	Setembro				Outubro		Total	
		24	9	13	16	18	24	20		21
Ilha - São Nicolau	Caleijão Posto	*	*	290,3	132,8	240,0	112,0	*	*	-
	Campo Preguiça	*	*	296,2	130,0	245,0	115,0	*	*	-
	Canto Fajã	93,4	148,7	72,8	*	300,0	34,0	*	*	-
	Carrçal	41,0	71,0	27,0	39,0	**	**	*	*	-
	Covoada	140,0	182,5	94,5	147,5	300,0	**	*	*	-
	Fabateira	140,0	200,3	128,5	150,0	300,0	48,0	47,7	300,0	1314,5
	Fajã Posto	78,0	106,4	54,4	112,0	300,0	13,9	*	*	-
	Juncalinho	40,0	80,0	100,0	40,0	**	**	*	*	-
	Morreom	68,9	109,8	55,3	112,6	300,0	13,9	*	*	-
	Pombas	143,2	171,6	164,0	*	300,0	51,0	*	*	-
	Queimadas	77,4	170,0	98,0	114,4	300,0	14,0	*	*	-
	Talho	164,0	190,0	138,0	148,0	300,0	51,0	45,0	300,0	1336,0
	Vila da Ribeira Brava	Ladeira da Igreja	128,0	160,0	124,0	*	232,0	32,3	51,8	234,5
São João		128,0	156,7	152,0	*	300,0	40,0	46,9	237,4	-

Fonte: Monteiro e Cunha, 2011, p.183. (adaptado)

*Não se realizaram medições devido a problemas técnicos

** Valores superiores a 300 mm (o pluviómetro transbordou)

A água da chuva ao juntar-se, uma vez mais, à escoada pelas vertentes (já sob o desígnio de lama) arrastando consigo os calhaus e blocos depositado nos leitos, assumiu tal como em outros *case study* já analisados, o caráter nefasto não só para as infraestruturas, mas também para os setores agrícola e pecuário, que ali se assumem como fundamentais para uma população caracteristicamente rural, tendo nessas atividades os seu principal meio de sustento, Figura 50. O registo de perdas de vidas humanas foi felizmente contabilizado em apenas três (dada a gravidade da situação), uma família residente em Covoada, contudo o número de famílias desalojadas foi muito superior.



Figura 50 - Escoamento a partir das vertentes para zona urbanizada

Fonte: *Print screen* do vídeo - “Chuva em São Nicolau”, 2009.

Outra das consequências do fenómeno verificado foi o isolamento das populações locais, sendo disso exemplo a do Carriçal, pelo período de aproximadamente 3 meses após a catástrofe, sendo que os bens de primeira necessidade apenas chegavam aos habitantes através de botes de pesca. Por outro lado, o isolamento na ilha estendeu-se aos meios de comunicação móvel e de internet por um período de dias.

Felizmente, a reação por parte das autoridades competentes foi rápida e, após a catástrofe começou a ser delineado um plano de intervenção para a minimização dos riscos, consistindo num levantamento das populações afetadas e respetiva proximidade a linhas de água, de modo a efetuar obras de correção torrencial e reparação das infraestruturas afetadas, Figura 51.



Figura 51 - Reconstrução de via rodoviária

Fonte: *Print screen* do vídeo - “Chuvas 2009 - São Nicolau, Ribeira Brava”, 2015.

Por outro lado, salientando a relevância atribuída à necessidade do estudo integrado das bacias hidrográficas, foram tomadas várias medidas estruturais para a correta gestão dos recursos hídricos e mitigação do risco de inundações em Cabo Verde, nomeadamente através da construção de 17 novas barragens (salientando-se relativamente ao caso de estudo a de Banca Furada – São Nicolau, em 2014) e de 29 diques de regularização de grande porte com a finalidade de minimizar o assoreamento das albufeiras existentes.

Em síntese, as chuvadas de setembro e outubro de 2009 em São Nicolau, vieram expor a fragilidade da ilha no que toca à preparação e reação para fenómenos de precipitação intensa. Apesar de pouco frequentes, estes acontecimentos climáticos têm sido recorrentes ao longo do tempo e vêm mais uma vez chamar a atenção do perigo de um mau ordenamento territorial com particular impacto nas zonas urbanas.

2.5.5. Atenas (Grécia)

2.5.5.1. Enquadramento Geográfico



Figura 52 - Atenas (Grécia)

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Grécia é um país localizado no sul da Europa (entre os $41^{\circ} 44' 53.74''$ e $34^{\circ} 48' 7.32''$ a norte do equador e $26^{\circ} 10' 22.93''$ e $24^{\circ} 7' 23.31''$ a este do meridiano de *Greenwich*), sendo considerada como o cruzamento entre os continentes europeu, asiático, africano e o médio oriente. As suas fronteiras são realizadas com a Albânia a noroeste, a Macedónia do Norte e a Bulgária a norte, e com a Turquia a noroeste. Por outro lado, no que concerne à sua extensa periferia marítima (possui a 11ª maior costa do mundo com cerca de 13,7 Km), é banhada por três mares diferentes, sendo eles: o mar Egeu a leste, o mar Jónico a oeste e a sul pelo mar mediterrânico.

Como regiões geográficas, o país encontra-se por sua vez subdivido em nove frações, sendo elas: Macedónia, Grécia Central, Peloponeso, Tessália, Epiro, ilhas Egeias, Trácia, Creta e ilhas Jónicas.

A esmagadora maioria do tecido urbano grego está concentrado na parte central do seu território, nomeadamente na sua capital, a cidade de Atenas que pertence à região Ática. Demograficamente, Atenas concentra na sua área urbana de 412 Km², 3.090.508 habitantes o que resulta numa densidade populacional da sua urbe de aproximadamente 7501,23 hab/Km².

Distribuída ao longo de cerca de 534 Km² e encontrando-se delimitada por um complexo montanhoso a norte, este e oeste e por um golfo a sul, a bacia hidrográfica sobre a qual se Atenas se desenvolveu tem o seu formato influenciado por dois grandes cursos de água, os rios Kifissos e Ilissos e seus respetivos afluentes, cujo caudal é maioritariamente escasso.

Por outro lado, na zona central da bacia, devido ao desenvolvimento e expansão intensivos da urbe (quer a nível populacional quer a nível das infraestruturas existentes) ao longo das últimas décadas, aliados a um pobre planeamento urbano, teve como consequência direta a alteração do fluxo natural da água entre o seu escoamento superficial e subterrâneo, estando profundamente afetado maioritariamente por culpa da excessiva impermeabilização do solo.

Estima-se que pelo menos cerca de 68% da bacia hidrográfica esteja neste momento já a ser ocupada pelo tecido urbano, o que faz deste desenvolvimento excessivo um fator crítico no que toca à capacidade de drenagem da mesma. Não deixa de ser questionável facto de não terem sido tomadas medidas preventivas mais cedo nesta região, uma vez que estudos anteriores tinham já confirmado o crescente risco de cheias, havendo registo de 52 grandes eventos entre 1880 e 2010.

2.5.5.2. Fatores Climáticos

A Grécia e neste caso em concreto Atenas, possui um clima carateristicamente mediterrânico, caraterizado tradicionalmente por verões quentes e secos e por invernos frios e chuvosos. A particularidade da capital grega, prende-se com a sua geomorfologia, uma vez que por se encontrar cercada por montanhas, o vento acaba por ser bloqueado/anulado tornando assim, a região mais árida do que qualquer outra cidade grega (com os dias a se tornarem mais quentes, abafados e secos no verão, mas possibilitando a ocorrência de fenómenos como a estacionaridade de nuvens no inverno (o que tal como foi visto anteriormente, aumenta o risco de chuvada intensa e prolongada).

No que toca à temperatura, conseguimos distinguir duas fases ao longo do ano, tendo a mais quente a duração de 3 meses, ocorrendo entre os meses de junho e setembro e, registando uma temperatura (média) máxima da ordem dos 29 °C. Por outro lado, a estação com uma temperatura mais amena está compreendida entre finais de novembro e finais de março, obtendo o seu registo (médio) máximo de menos de 13 °C em inícios de fevereiro. Os restantes meses, inserem-se em fases de transição, com temperaturas inconstantes e tendendo a se aproximarem da estação seguinte, Figura 53.

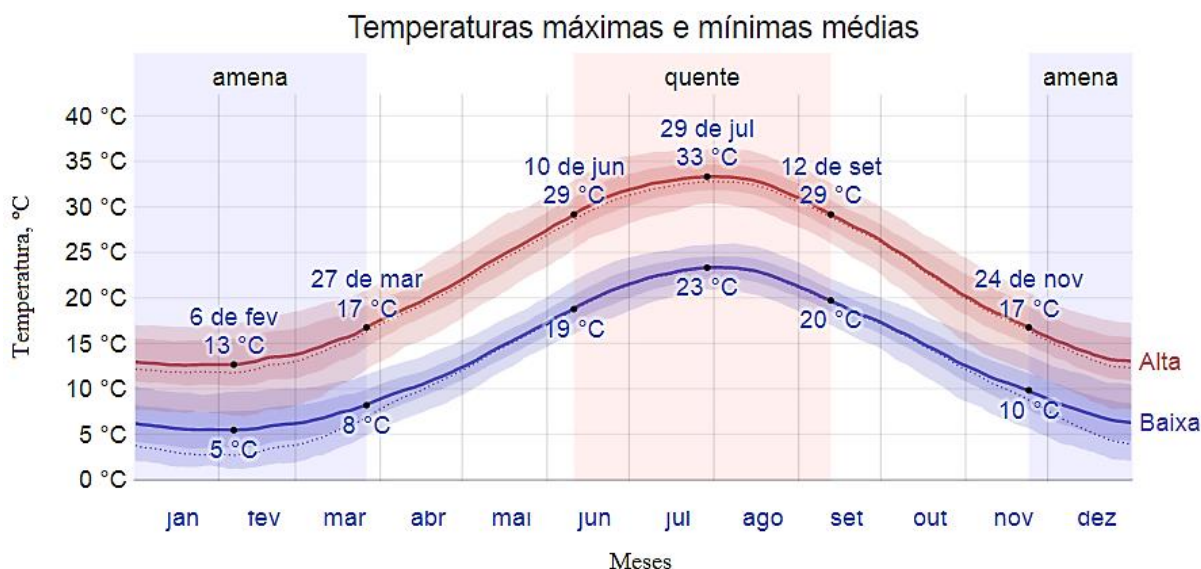


Figura 53 - Registo de temperaturas em Atenas (Grécia)
Fonte: *Weather Spark* - Condições meteorológicas médias de Atenas, Grécia.

Quanto ao registo de pluviosidade na capital grega, a estação chuvosa tem duração de aproximadamente oito meses e meio, com ocorrência entre setembro e junho sendo que o seu pico máximo acontece a meados de novembro com um valor de 64 mm de chuva. Por outro lado, a estação

seca dura cerca de três meses e meio, tendo início em junho e término a meados de setembro (coincidindo com o verão), com a quantidade mínima de chuva acumulada a ser medida no início de agosto com apenas 5 mm de precipitação, Figura 54.

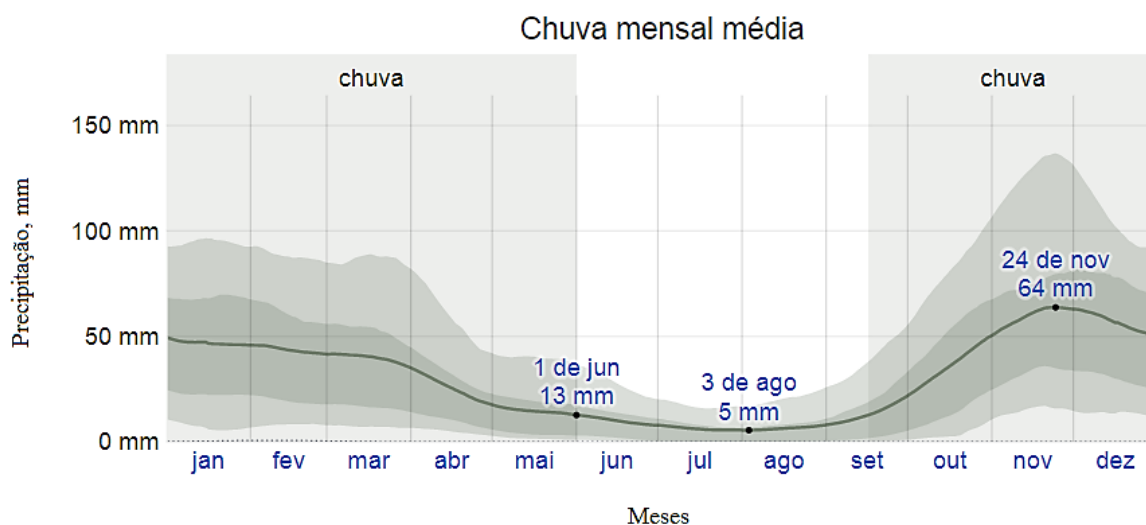


Figura 54 - Registo de pluviosidade em Atenas (Grécia)

Fonte: *Weather Spark* - Condições meteorológicas médias de Atenas, Grécia.

2.5.5.3. Fenómeno Observado

De acordo com o exposto por Diakis (2016), o acontecimento de 21 de fevereiro de 2013 deu-se devido ao deslocamento de uma depressão vinda da costa norte africana em direção ao sul do Mar Jónico. Posteriormente a mesma assumiu a direção de este, atingindo o território grego e em particular Atenas pelas 4 horas da manhã do dia seguinte, onde vórtices positivos e a instabilidade atmosférica deram aso a uma frente fria.

Pouco tempo depois do início da tempestade, as massas de ar frio que ficaram confinadas em camadas atmosféricas de baixa altitude, favoreceram a ocorrência de movimentos ascendentes originando por si só, ainda mais precipitação. A juntar a tudo isso, o facto deste fenómeno ter permanecido encurralado sobre a bacia hidrográfica “ocupada” por Atenas por um longo período, fez com que se entrasse em uma espiral de acontecimentos originando o aumento da precipitação.

Sendo que a precipitação intensa se começou a fazer sentir a oeste de Atenas, foi de forma relativamente rápida que o sistema começou a afetar a parte central e nordeste da bacia hidrográfica sobre a qual assenta a cidade, locais onde se deu a maior acumulação de precipitação causada pelo fenómeno descrito, Figura 55.

A consequência direta deste excesso de precipitação concentrado sobre a bacia, foi a ocorrência de cheias, que acabaram por assumir a qualidade de cheias rápidas com escoamentos turbulentos e correntes de alta velocidade, reduzido tempo de concentração, subida abrupta do nível de água e rápida drenagem. A razão principal para o extravasamento do leito dos canais acabou por ser dada às elevadas intensidade e duração com que a chuvada se deu, porém, não é a tudo isto alheio o bloqueio das redes de água pluvial (em alguns locais).

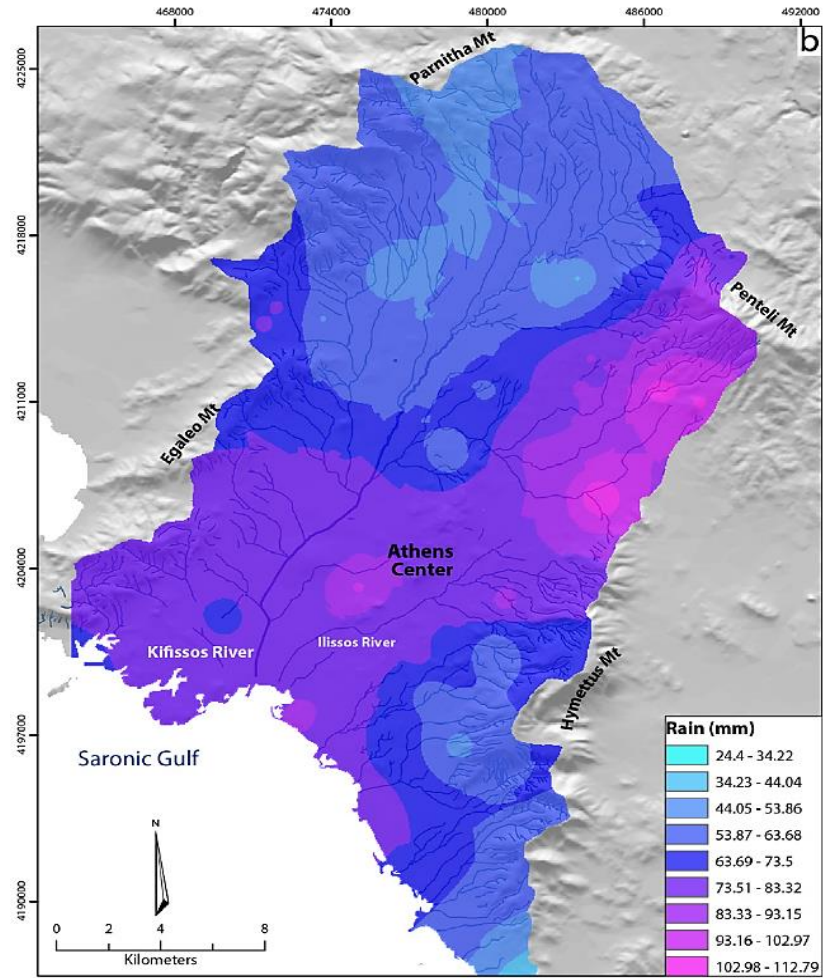


Figura 55 - Acumulação da precipitação na tempestade de 22 de fevereiro de 2013 (Atenas)
Fonte: Diakakis, M., Deligiannakis, G., Pallikarakis, A., Skordoulis, M. 2016, p.174.

2.5.6. Manila (Filipinas)

2.5.6.1. Enquadramento Geográfico



Figura 56 - Manila (Filipinas)
Fonte: Elaborada pelo autor.

A região metropolitana de Manila ($14^{\circ}35'45''$ a norte do equador e $120^{\circ} 58' 38''$ a este do meridiano de *Greenwich*), encontra-se localizada em uma porção de terra estreita cercada por água dos dois lados, e que se conecta a duas grandes extensões terrestres (istmo), sendo que neste caso os dois grandes cursos de água correspondem respetivamente à baía de Manila a oeste e de Laguna a este. Toda a região assenta sobre a importante bacia hidrográfica do rio Marikina, com uma área de cerca de 535 Km^2 e oito outras bacias de menor dimensão com um total de 683 Km^2 , tendo como destino de drenagem quer a baía de Manila quer a de Laguna.

Há semelhança do que se verificou já em anteriores casos de estudo, também na região metropolitana de Manila se verifica um processo de crescimento urbano desmedido, com o agravamento de possuir um pobre planeamento e ordenamento do seu território. Com uma população estimada em cerca de 12,9 milhões de habitantes (de acordo com os censos de 2016), distribuída por uma área de $619,57 \text{ Km}^2$, facilmente se estima um valor brutal de densidade populacional de aproximadamente de 21.000 hab/Km^2 .

2.5.6.2. Fatores Climáticos

No que ao clima diz respeito, Manila enquadra-se numa zona de clima tropical, caracterizado por elevadas temperaturas ao longo de todo o ano (média máxima de aproximadamente $29,5^{\circ}\text{C}$), as quais não tendem a variar mais do que um grau Célsio (pela proximidade ao equador), às quais acresce uma igualmente elevada taxa de humidade, oscilando entre os 64% em abril (o mês mais quente) e os 83% no mês mais chuvoso de agosto.

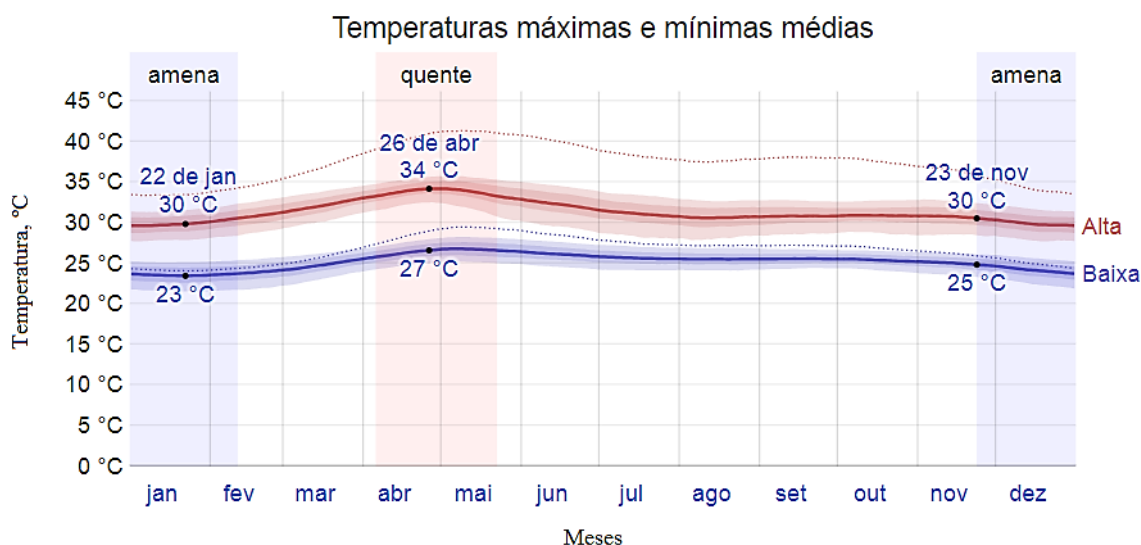


Figura 57 - Registo de temperaturas em Manila (Filipinas)

Fonte: *Weather Spark* - Condições meteorológicas médias de Manila, Filipinas.

Quanto à precipitação, o ano subdivide-se em duas grandes temporadas, sendo que a que se caracteriza por um registo de maior quantidade de chuva, tem início a junho findando em outubro, e por outro lado a estação mais seca está compreendida entre os meses de dezembro e abril. Os restantes meses inserem-se numa zona de transição entre as duas grandes temporadas. A oscilação da quantidade de água da chuva medida, acaba se verificando com uma grande disparidade, uma vez que aos 2000 mm de chuva incidentes sobre a cidade anualmente, tanto podem ser medidos 32 mm em março como 351 mm em agosto, o que só por si acarreta risco de elevada descarga pluvial sazonal, com prováveis efeitos colaterais, caso não seja efetuado o correto dimensionamento de estruturas hidráulicas que permitam escoar devidamente o caudal referido.

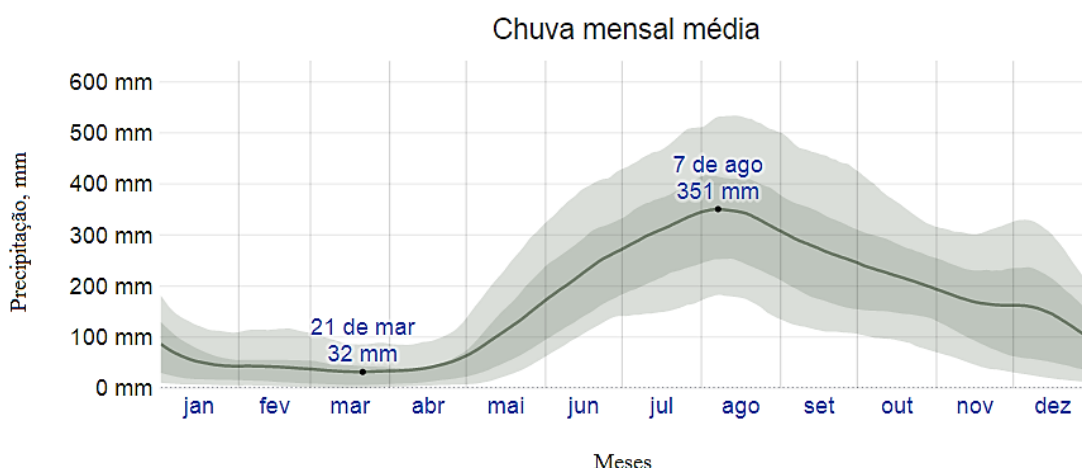


Figura 58 - Registo de pluviosidade em Manila (Filipinas)
Fonte: *Weather Spark* - Condições meteorológicas médias de Manila, Filipinas.

2.5.6.3. Fenómeno Observado

De acordo com Sato (2011), o registo do fenómeno de cheias no caso particular da região metropolitana de Manila tem sido recorrente e devastador, nomeadamente quando são causados por tempestades tropicais, tal como se verificou em 2009 aquando da *Ondoy* que resultou na perda da vida a 75 pessoas e pelo menos 280.000 desalojados, Figura 59, ou mais recentemente causadas por chuvadas de alta intensidade (propulsionadas por tufões) com ocorrência no período das monções, como as registadas nos anos de 2012, 2013 e 2014.



Figura 59 - Inundações em Manila provocadas pela tempestade tropical Ondoy
Fonte: Jornal de Notícias, 2009.

Também em Manila, um dos principais motivos apontados para a ocorrência de fenómenos de cheias rápidas em zonas urbanas é a excessiva impermeabilização do solo, que resulta diretamente em problemas de infiltração das águas, obrigando-as deste modo a fazer o seu escoamento ao nível superficial com as devidas consequências materiais e financeiras.

A metrópole, já de si com os devidos constrangimentos anteriormente descritos, acaba por ficar sobrecarregada com a rede de drenagem dos vários afluentes nela incidentes, nomeadamente do rio Tullahan a norte, dos rios Pasig e San Juan a sul e da bacia hidrográfica do rio Marikina a leste.

Têm ainda se verificado uma maior frequência de inundações derivadas às chuvadas (de curta duração) que ocorrem simultaneamente com as trovoadas, causando transtornos ao nível do tráfego automóvel, apresentando um custo estimado pela Agência Internacional para a Cooperação Japonesa (JICA), de cerca de 108,4 milhões de euros por dia divididos entre combustível desperdiçado e a baixa produtividade da economia da região. Estes transtornos verificam-se maioritariamente graças à paralisação do trânsito na metrópole devido às cheias rápidas, uma vez bloqueadas algumas das artérias principais, a cidade e os negócios ficam sujeitos ao tempo de retoma das condições normais das vias para respetiva regularização do trânsito e, conseqüentemente da retoma do período laboral normal.

Graças a estudos já realizados, utilizando tecnologias topográficas derivadas do *Light Detection and Ranging*, foi possível concluir que os constrangimentos ao tráfego têm dois grandes motivos. O primeiro dos quais, deve-se ao facto de as zonas com maior risco de inundação coincidirem com a maior proximidade das vias de circulação automóvel aos afluentes dos rios, onde caso não se dê o escoamento rápido desse excesso de água, facilmente essa pequena inundação se estende a outra artéria que lhe interse. O segundo motivo, prende-se com as cidades se localizarem em baixos topográficos, o que logicamente facilita a acumulação de águas pluviais.

Em Manila, foram já propostas e analisadas soluções imediatas (de baixo custo) a adotar para a resolução das duas condicionantes anteriormente descritas, Lagmay (2016), passando simplesmente pela elevação do nível das estradas nas zonas identificadas com elevado risco de cheia, tendo mesmo sido feito um levantamento pela Autoridade para o Desenvolvimento da região Metropolitana de Manila (MMDA) de pelo menos vinte e três estradas onde esta problemática se verificava e a solução era viável, Tabela 11.

Tabela 11 - Lista de estradas propícias a serem afetadas por cheias

Id	Nome da via rodoviária	Cidade
1	Espana – Antipolo - Maceda	Manila
2	P. Burgos (City Hall)	
3	R. Papa, Rizal Avenue	
4	Extension – Macapal Avenue	
5	South Superhighway (northbound)	
6	South Superhighway (southbound)	
7	Osmeña – Skyway (northbound)	
8	Makati	Makati
9	Don Bosco	
10	EDSA Pasong Tamo, Magallanes	
11	West Service Road, Merville	Paranaque
12	East Service Road – Sales Street	Muntinlupa
13	McKinley Road	Taguig
14	Bayani Road	
15	BCDA	
16	Bagong Ilog	Pasig
17	SM Megamall	Mandaluyong
18	Camp Aguinaldo Gate 3	Quezon
19	North Avenue	
20	Quezon Avenue – Victory Avenue / Biak na Bato	
21	NLEX – Balintakwak Cloverleaf	
22	North Avenue fronting Trinoma Mall	
23	Philcoa Area	

Fonte: LAGMAY et al, 2017, p.40. (adaptado)

Por outro lado, com custos mais elevados e morosa sugeriu-se a opção da construção de uma rede de drenagem com estruturas preparadas para devolverem o mais rapidamente possível, toda a água acumulada ao afluente mais próximo.

2.5.7 Síntese Casuística Geral

Dos seis casos anteriormente apresentados, é possível observar parâmetros semelhantes, nomeadamente quanto à localização, à geomorfologia, ao clima ou às causas originárias dos fenómenos de cheia em áreas urbanas, mas também diferenças que as tornam casos singulares entre si. A Tabela 12, expõe os parâmetros considerados mais relevantes, apresentados nas várias casuísticas.

Numa primeira análise, atendendo às quantidades de precipitação máxima registada (excetuando o caso do Funchal), observa-se que os valores foram medidos em um período temporal de 24 horas, tendo como máximo os 455 mm de chuva medidos em Manila e como mínimo os 113 mm em Atenas. Os restantes valores estão compreendidos entre estes dois limites, com os de Ribeira Brava e Povoação a se aproximar às Filipinas e o de Santa Cruz ao da capital grega.

Quanto à forma das bacias hidrográficas que contemplam a área urbana das respetivas localizações geográficas, assumem um formato misto com maior tendência a arredondado (casos de Povoação, Ribeira Brava e Manila), fator esse que torna acrescido o risco de cheias. Por outro lado, os casos de Atenas e Santa Cruz assumem um formato alongado, porém mais uma vez aqui se demonstra que à semelhança do sucedido no Funchal, isso não constitui impedimento para que um fenómeno intenso de precipitação, se torne um problema para as infraestruturas e populações locais.

Por fim, atendendo aos registos demográficos é possível comparar as densidades populacionais de cada um dos casos de estudo, sendo que os mesmos variam entre os valores mais baixos de 38,8 hab/Km² em São Nicolau (tendo a mesma ordem de grandeza do dos Açores, 57,36), os valores intermédios de 1.351,83 e 7.501,2 hab/Km² respetivamente de Tenerife e Atenas e, como valor máximo os 21.000 hab/Km² de Manila.

Na Tabela 13 por sua vez, constata-se os diferentes parâmetros de pressão antrópica decorrentes da análise dos seis casos de estudo, tendo sido subdivididos em quatro grupos atendendo à diminuição do coberto vegetal a montante, à construção e/ou impermeabilização da envolvente dos canais e a modificação da respetiva secção transversal dos mesmos.

Tornou-se ainda possível constatar que em dois casos, nomeadamente de Povoação (São Miguel, Açores) e de Atenas (Grécia), os parâmetros antrópicos são idênticos aos do Funchal, verificando-se um encanamento acrescido da secção transversal, muito por culpa da crescente impermeabilização para construção de novas infraestruturas na envolvente dos canais de água (com os mais variados fins), havendo a agravante de o coberto vegetal a montante dos canais artificiais ter sofrido uma redução drástica por diversos motivos, entre os quais os incêndios que recorrentemente fustigam o seu troço inicial.

Tabela 12 - Análise casuística (geral)

Localização	Precipitação máxima (mm)	Duração do registo (h)	Forma da(s) bacia(s)	População	Área (Km ²)	Densidade populacional (hab/Km ²)
Funchal	105	2,5	Alongada	112.015	76,15	1.470,98
Povoação	> 350	24	Arredondada	6.327	110,30	57,36
Santa Cruz	140	24	Alongada	203.585	150,60	1.351,83
Ribeira Brava	> 300	24	Arredondada	13.310	343	38,80
Atenas	113	24	Alongada	3.090.508	412	7.501,23
Manila	455	24	Arredondada	12.900.000	619,57	21.000

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 13 - Parâmetros de pressão antrópica da casuística

Localização	Parâmetros de pressão antrópica verificados			
	Crescente construção na envolvente ou leito dos canais artificiais	Encanamento da secção transversal	Crescente impermeabilização da envolvente ao canal	Diminuição do coberto vegetal a montante
Funchal	✓	✓	✓	✓
Povoação	✓	✓	✓	✓
Santa Cruz	✓		✓	
Ribeira Brava	✓			
Atenas	✓	✓	✓	✓
Manila	✓		✓	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. ENQUADRAMENTO E CARATERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO REGIONAL

O presente subcapítulo tem como finalidade caracterizar as bacias hidrográficas selecionadas, utilizando diferentes estratégias para o cálculo de parâmetros como o método empírico ou os *softwares* *HEC-RAS* e *ArcMap*, que permitem de uma forma simplificada efetuar a análise hidrológica, elaborar mapas e obter parâmetros característicos das bacias, que de outra forma se revelariam morosos e complexos.

Neste caso, a escolha dos canais de água artificiais objeto de estudo, incidiu sobre duas das principais ribeiras do Funchal, respetivamente a de Santa Luzia e João Gomes. A opção tomada, foi alicerçada no facto de grande parte do comércio do centro histórico da cidade se ter desenvolvido nas artérias da vizinhança das suas margens, sendo que a rede viária que a confina se traduz em duas das mais importantes entradas e saídas da baixa funchalense, respetivamente as ruas 31 de janeiro e 5 de outubro para Santa Luzia e as ruas Brigadeiro Oudinot e Visconde do Anadia para João Gomes.

Um outro aspeto relevante quanto às ribeiras de Santa Luzia e de João Gomes, é o de que a sua secção a jusante (inclusive a foz conjunta, após as obras de regularização), acaba por coincidir com a Área de Reabilitação Urbana (ARU) do Centro Histórico do Funchal, Figura 60.



Figura 60 - Delimitação da ARU do Centro Histórico e das ribeiras de João Gomes e de Santa Luzia

Fonte: Elaborada pelo autor.

Segundo o DL n.º 307/2009, ARU designa uma determinada área delimitada devido à insuficiência, degradação ou obsolescência das infraestruturas, equipamentos e espaços (urbanos ou verdes) de utilização coletiva, por motivos afetos às condições de uso, solidez, segurança, estética ou salubridade, justificando desta forma uma intervenção integrada através de uma operação de reabilitação urbana que conste num instrumento próprio ou num plano de pormenor.

Torna-se deste modo imprescindível uma maior atenção ao troço final de ambas as ribeiras (de forma a proteger as edificações existentes e futuras), local onde a probabilidade de cheias e extravasamento do leito se torna muito maior, quer por deposição de sedimentos, quer pelo encontro com a água do mar, o que constitui um impedimento para a perfeita drenagem dos canais, Lichter (2011).

3.1.1. Caracterização Morfométrica das Bacias Hidrográficas

Segundo Camacho (2015), bacia hidrográfica designa a área total de captação da água pluvial, que devido aos declives orográficos, faz escoar o caudal precipitado para uma secção única de saída, também definida como secção de referência da bacia hidrográfica. A bacia tem sempre como referência uma determinada secção de uma linha de água, sendo que usualmente se considera a foz do curso de água principal, que por sua vez é resultado da junção de afluentes de menor dimensão ao longo da dimensão longitudinal do canal.

A chuva incidente sobre uma determinada bacia hidrográfica tem a tendência natural de se infiltrar até que se atinja o estado de saturação, onde passa a se verificar a existência de escoamento superficial. A taxa de infiltração diminui à medida que aumenta a duração da chuvada, sendo que quer o escoamento subterrâneo quer o superficial tendem a seguir a direção da rede hidrográfica, encaminhando-se para a secção de referência sendo alcançada desfasadamente pelos dois.




A análise hidrológica de uma bacia hidrográfica, no que concerne às suas características fisiográficas, pode ser efetuada através de imagens de satélite, cartas, mapas ou fotografias aéreas. Para isso, importa caracterizar o canal artificial quanto às sua geometria, relevo e capacidade do respetivo sistema de drenagem. Uma vez mais aqui se salienta a importância da caracterização do tipo de solo, cobertura vegetal predominante e constituição geológica, por forma a efetuar comparações entre diferentes bacias hidrográficas, encontrando características idênticas e distintas que permitam encontrar afinidades regionais.

I. Caracterização Geométrica

A área de drenagem designa a principal característica geométrica a considerar em uma bacia hidrográfica, resultando esta de uma projeção horizontal após efetuada a sua delimitação, sendo usualmente expressa em Km².

A forma da bacia está diretamente relacionada com a sua propensão para concentrar o escoamento superficial aquando de uma chuvada de alta intensidade. O caudal de ponta de cheia do curso de água principal, é fortemente influenciado pela forma planimétrica da bacia que o integra, sendo categorizado em três tipos expostos na Tabela 14.

Tabela 14 - Formas das bacias hidrográficas e respetivas características

	<p>Alongada ou longitudinal - constituída por apenas uma linha ou curso de água principal com desenvolvimento extenso e largura consideravelmente menor, sendo ainda alimentado por afluentes de menor expressividade;</p>
	<p>Arredondada - formada por diversos cursos de água de importância aproximadamente idêntica, que se interseccionam numa forma concêntrica, resultando numa linha de água principal de menor dimensão;</p>
	<p>Radial ou ramificada - resultado de um conjunto de sub bacias com forma alongada, que se interseccionam formando uma linha de água conjunta final.</p>

Fonte: Camacho, 2015 (adaptado)

Efetuada uma análise comparativa entre a forma da bacia e o caudal de ponta de cheia, é possível deduzir que o tempo de concentração nas bacias arredondadas é muito menor face aos outros dois casos, o que consequentemente resulta num caudal máximo de cheia maior, embora com menor duração. Este fator torna a bacia mais propícia à ocorrência de eventos de cheias.

De maneira a caracterizar a forma de uma qualquer bacia hidrográfica, calculam-se determinados índices que a quantifiquem, sendo seguidamente exposto o método empírico de cálculo dos mesmos:

- Índice de Compacidade ou de Gravelius, K_C – Designa a relação entre o perímetro, P (Km), da bacia hidrográfica em estudo e o de uma hipotética bacia de igual área, A (Km²), mas com uma forma circular. O cálculo do mesmo obedece às Equação 10, Equação 11 e Equação 12

$$K_C = \frac{P}{2 \times \sqrt{\pi \times A}} \quad \text{Equação 10}$$

Com:

$$A = \pi \times r^2 \quad \text{Equação 11}$$

$$P = 2 \times \pi \times r \quad \text{Equação 12}$$

Sendo:

r – O raio da bacia hidrográfica hipotética, com forma circular.

O resultado é um coeficiente adimensional sem qualquer dependência do tamanho da bacia, que no mínimo se verificaria igual à unidade no caso de uma bacia perfeitamente circular. A bibliografia consultada salienta que valores de K_C , inferiores a 1,13 correspondem na generalidade a bacias de formato arredondado.

- Fator de Alongamento, K_L - Traduz o quociente entre o comprimento e a largura de um retângulo equivalente à bacia hidrográfica. O resultado da operação é adimensional sendo que, caracteriza a bacia como alongada caso seja superior a 2. O cálculo do fator de alongamento pode ser efetuado recorrendo às Equação 13, Equação 14 e Equação 15:

$$K_L = \frac{L_e}{l_e} \quad \text{Equação 13}$$

Com:

$$L_e = \frac{K_C \times \sqrt{A}}{1,128} \times \left| 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_C}\right)^2} \right| \quad \text{Equação 14}$$

$$l_e = \frac{K_C \times \sqrt{A}}{1,128} \times \left| 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_C}\right)^2} \right| \quad \text{Equação 15}$$

- Fator de forma, K_F – Designa a relação adimensional entre a largura média, I e o comprimento da bacia hidrográfica, L_B . Quanto menor o resultado da operação, menor também a probabilidade da ocorrência de cheias quando comparado com outras bacias de igual dimensão, mas com um fator de forma mais elevado dado que a probabilidade das chuvadas de alta intensidade cobrirem a totalidade da sua área é bem menor. Por outro lado, o tempo que o escoamento de um afluente demora a atingir a secção de referência é diferente de qualquer um dos outros, atenuando desta forma os picos de escoamento, ou seja, verifica-se um desfasamento. O valor mínimo para este parâmetro, no limite, é de 1 correspondendo a uma bacia de forma quadrada. O seu cálculo pode ser efetuado através de:

$$K_F = \frac{I}{L_B} \Leftrightarrow K_F = \frac{A}{L_B^2} \quad \text{Equação 16}$$

Com:

$$I = \frac{A}{L_B} \quad \text{Equação 17}$$

Sendo:

A – Área da bacia hidrográfica em estudo

II. Caracterização do Relevo

- **Altitude Média** – A altitude média de uma bacia hidrográfica \bar{Z} , pode ser calculada através do quociente entre o somatório dos produtos da altitude média entre duas curvas de nível imediatamente consecutivas \bar{Z}_i pela respetiva área A_i e, a área total A_T da bacia hidrográfica, como se demonstra na Equação 18.

$$\bar{Z} = \sum \frac{\bar{Z}_i \times A_i}{A_T} \quad \text{Equação 18}$$

- **Altura Média** – A altura média de uma bacia hidrográfica \bar{H} , pode ser obtida de forma semelhante ao parâmetro anterior, com o ressalvo de que neste caso se deve considerar como referência de origem das alturas, a cota da secção de referência Z_{Min} , obtendo deste modo a Equação 27.

$$\bar{H} = \sum \frac{\bar{H}_i \times A_i}{A_T} = \bar{Z} - Z_{Min} \quad \text{Equação 19}$$

- **Coefficiente de Massividade** – Designa a relação entre a altura média da bacia calculada anteriormente em m e, a área total da bacia hidrográfica em Km^2 assumindo a forma da Equação 20.

$$C_{massividade} = \frac{\bar{H}}{A_T} \quad \text{Equação 20}$$

- **Coefficiente Orográfico** – Pode ser exprimido através do quociente entre o quadrado da altura média em m, pela área total da bacia hidrográfica em estudo, como mostra a Equação 21.

$$C_{orográfico} = \frac{\bar{H}^2}{A_T} \quad \text{Equação 21}$$

- **Declive Médio do Curso de Água Principal** – Obtém-se através da relação entre a amplitude de altitude do curso principal ΔZ em m e, o respetivo comprimento total L_T em Km, tal como é exposto na Equação 22.

$$D_{médio} = \frac{\Delta Z}{L_T} \quad \text{Equação 22}$$

- **Declive Equivalente do Curso de Água Principal** – Designa o declive de uma hipotética reta que ao intercepar o perfil longitudinal do curso de água principal de uma bacia hidrográfica, o dividiria em duas partes com áreas idênticas. Pode ser calculada através das Equação 23 e Equação 24

$$D_{equivalente} = \frac{Z_{equivalente} - Z_{Mínimo}}{L_T} \quad \text{Equação 23}$$

Com:

$$Z_{equivalente} = \frac{1}{L_T} \times \sum_{i=0}^{n-1} (Z_i + Z_{i+1}) \times (X_{i+1} - X) - Z_{Mínimo} \quad \text{Equação 24}$$

- Declive 10 – 85 do Curso de Água Principal – Designa um parâmetro que exclui os trechos do curso de água onde por norma se verificam declives mais acentuados, sendo estes nos 10% iniciais e os 15% finais do comprimento total do canal. A sua obtenção pode ser feita através da Equação 25

$$D_{10-85} = \frac{Z_{85} - Z_{10}}{0,75 \times L_T} \quad \text{Equação 25}$$

- Padrão de drenagem – Ao arranjo dos cursos de água, sendo estes influenciados por diversos fatores como a natureza e disposição das camadas rochosas, pela geomorfologia ou ainda pelos declives de uma bacia hidrográfica, denomina-se por padrão de drenagem. Os padrões de drenagem mais comuns são seguidamente expostos na Figura 61.

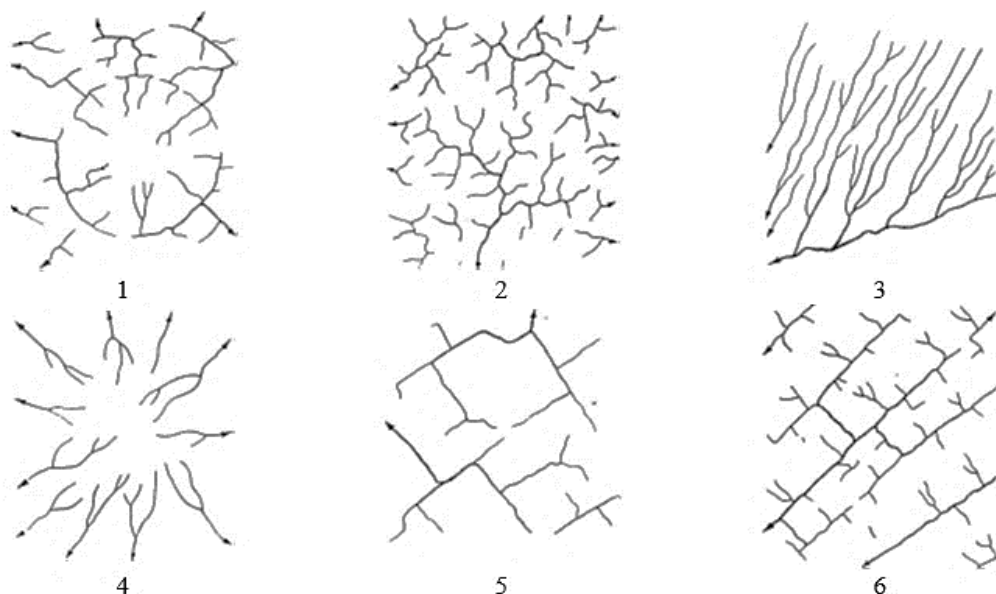


Figura 61 - Padrões de drenagem: 1) Anelar, 2) Dendrítico, 3) Paralelo, 4) Radial, 5) Retangular, 6) Treliça

Fonte: Camacho, 2015 (adaptado)

- Índice de Relevo da Bacia – Parâmetro obtido através do quociente entre amplitude de altitudes da bacia hidrográfica em m e, o comprimento da mesma em Km, como se verifica na Equação 26. Trata-se de um indicador da inclinação da bacia, o que por sua vez infere que quanto maior for, maior será a velocidade do escoamento, consequentemente mais rapidamente a água chegará à secção de referência o que aumenta o risco de cheia.

$$I_{Relevo} = \frac{\Delta Z}{1000 \times L_B} \quad \text{Equação 26}$$

III. Caraterização do Sistema de Drenagem

Classificação dos cursos de água

- Hierarquização de Strahler - Corresponde à organização dos cursos de água de acordo com o grau de ramificação ou bifurcação verificado ao longo de uma bacia hidrográfica. Segue dois critérios essenciais, sendo que o primeiro atribui a classificação de 1ª ordem aos cursos de água sem tributários (precedentes) e, o segundo constata que aquando do encontro de dois cursos de água com a mesma ordem, a ordem do curso resultante subirá um grau, caso isto não se verifique, deverá resultar na ordem de maior grau dos dois cursos.

- Razão de Bifurcação – Define a relação entre o número de canais de uma determinada ordem, N_i , e o número de canais da ordem consecutiva, N_{i+1} , assumindo um valor adimensional geralmente entre 2 e 4, Equação 27.

$$R_B = \frac{N_i}{N_{i+1}} \quad \text{Equação 27}$$

Por seu turno, é possível calcular a razão de bifurcação média de uma bacia, designando o valor médio das razões de bifurcação individuais, relacionando as várias ordens da classificação de Strahler para uma mesma bacia hidrográfica, Equação 28.

$$\overline{R_B} = \sqrt[i-1]{\prod_{i=1}^{i-1} \frac{N_i}{N_{i+1}}} = \sqrt[i-1]{N_1} \quad \text{Equação 28}$$

- Hierarquização de Shreve – A outra forma de organização dos cursos de água de uma bacia hidrográfica é a criada por Shreve, diferindo da sua congénere na forma como classifica as ordens, aqui denominadas de magnitudes. Ao contrário da hierarquização de Strahler, onde dois cursos de ordem igual originavam um de ordem imediatamente superior, segundo Shreve, dois cursos sejam eles de que ordem for, ao se intercetarem, originam um outro com magnitude igual à soma das magnitudes dos seus predecessores. Consequentemente, neste método não é obrigatória a existência de todas as magnitudes.
- Tempo de Concentração – Segundo Silveira (2005), o tempo de concentração, T_C , é um parâmetro hidrológico que decorre da hipótese de que uma bacia hidrográfica responde como um sistema linear. O autor atribui ainda ao termo o significado de tempo necessário para que toda a bacia tenha contribuído para o escoamento na secção de referência. Mc-Cuen (1984) indica que assumindo o tempo de concentração como um parâmetro hidrológico invariável, pode designar o tempo necessário para uma gota de água no ponto mais distante (em percurso hidráulico), chegar a secção de referência da bacia.

Camacho (2015), expõe as várias fórmulas empíricas que permitem calcular o tempo de concentração de uma determinada secção do curso de água em estudo.

- i. Témez – Testada em bacias hidrográficas em Espanha e na América, produziu resultados próximos da realidade sendo a par da de Giandotti as de utilização mais comum em Portugal. Segundo este autor, o cálculo do T_C pode ser efetuado através da Equação 29.

$$T_{C[Témez]} = \left(\frac{L}{i^{0,25}} \right)^{0,76} \quad \text{Equação 29}$$

Onde:

- L – Comprimento do curso de água principal (Km);
- i - Inclinação média do curso de água principal.

Para obter o T_C referente a uma qualquer secção de um canal, basta apenas multiplicar a Equação 29 por um coeficiente de 0,3. Para o cálculo do tempo de concentração em bacias urbanas, dispersas ou seja não concentradas, Témez propõe uma adaptação da Equação 29 resultando na Equação 30.

$$T'_{C[Témez(urbano)]} = \frac{T_C}{1 + 3 \times \sqrt{\mu \times (2 - \mu)}} \quad \text{Equação 30}$$

Sendo:

- μ - Parâmetro adimensional relativo ao grau de impermeabilização da bacia hidrográfica, que pode ser calculado pelo quociente entre a área impermeável da bacia e a área total, respetivamente $A_{Impermeável}$ e A_{Total} ambas em Km^2 , Equação 31. Este parâmetro é apenas considerado válido para

bacias de área inferior a 3000 Km² e a Tabela 15 expõe a classificação quanto ao grau de urbanização da bacia em função do parâmetro μ , de acordo com Pelaez (1978).

$$\mu = \frac{A_{\text{Impermeável}}}{A_T} \quad \text{Equação 31}$$

Tabela 15 - Classificação do grau de urbanização de uma bacia hidrográfica

Parâmetro μ	Grau de Urbanização
$\mu < 0,05$	Pequeno
$0,05 < \mu < 0,15$	Moderado
$0,15 < \mu < 0,30$	Grande
$\mu > 0,30$	Muito desenvolvido

Fonte: Pelaez, 1978 (adaptado)

- ii. Ven Te Chow – Expressão apenas válida para bacias com área total inferior a 3000 Km², o T_C é segundo o autor calculado pela Equação 32.

$$T_{C[\text{Ven Te Chow}]} = 0,8773 \times \left(\frac{L}{\sqrt{i}}\right)^{0,64} \quad \text{Equação 32}$$

- iii. Giandotti – Não se conhecem limitações à fórmula proposta por este autor, sendo o tempo de concentração calculado através da Equação 33.

$$T_{C[\text{Giandotti}]} = \frac{(4 + \sqrt{A_{\text{Total}}}) + (1,5 \times L)}{0,8 \times \sqrt{H}} \quad \text{Equação 33}$$

Com:

L - Comprimento da maior linha de água da bacia para um determinado ponto, em Km;
 \bar{H} - Altura média da bacia medida desde a cota da secção em estudo, em m.

- iv. Tempo de Concentração Médio – De forma a uniformizar o cálculo do tempo de concentração através das expressões proposta pelos diversos autores, é admissível o cálculo do tempo de concentração médio \bar{T}_C de uma bacia hidrográfica, podendo ser realizado através da média dos tempos de concentração expostos nas equações anteriores, Equação 34.

$$\bar{T}_C = \frac{\sum T_{C,i}}{n} \quad \text{Equação 34}$$

- Densidade de Drenagem – Constitui um parâmetro que relaciona o comprimento total dos cursos de água L_T em Km (independentemente da constância do escoamento dos mesmos) e a respetiva área de drenagem, A_D em Km², Equação 35. Calcular a densidade de drenagem é uma forma de quantificar a rede de drenagem de uma bacia ao longo de toda a sua extensão, fornecendo uma indicação da eficiência de drenagem natural do curso de água. O seu valor está geralmente balizado entre 0,5 Km/Km² para bacias mal drenadas e 3,5 ou superior para as muito bem drenadas. Se se tiver em conta a importância da infiltração como processo de mitigação de cheias, é possível deduzir que as bacias muito bem drenadas correspondem às que favorecem o escoamento superficial, sendo deste modo mais propícias à ocorrência do fenómeno de cheias.

$$D_D = \frac{L_T}{A_D} \quad \text{Equação 35}$$

- Densidade Hídrica – Designa um índice que relaciona o número total de cursos de água existentes em uma bacia hidrográfica N_T com a área total da mesma bacia A_{Total} , podendo ser calculado através da Equação 36.

$$D_H = \frac{N_T}{A_{\text{Total}}} \quad \text{Equação 36}$$

- Extensão média do escoamento superficial – Define-se como sendo a distância média que a água da chuva necessitaria percorrer ao nível da superfície, caso o escoamento da mesma se verificasse retilíneo, desde o ponto na bacia onde caiu até interseção com o curso de água mais próximo. Considerando que uma bacia com determinada área total A_T , pode ser representada através de uma área de drenagem com formato retangular, se admitirmos a existência de um curso de água de extensão total L_T que passe pelo seu centro, Figura 62, a extensão média do escoamento superficial é dada pela Equação 37.

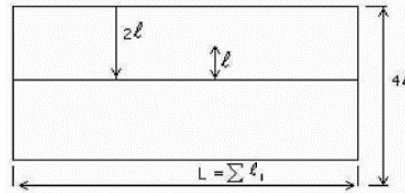


Figura 62 - Condições de fronteira para o cálculo da extensão média do escoamento superficial

Fonte: Villela, 1975 (adaptado)

$$\bar{L}_S = \frac{A_T}{4 \times L_T} \Leftrightarrow \bar{L}_S \approx \frac{1}{4 \times D_D} \quad \text{Equação 37}$$

- Sinuosidade – Define o parâmetro que relaciona o comprimento do curso de água principal de uma bacia L_T , com o comprimento da diretriz do mesmo L_D , sendo um dos parâmetros que condiciona a velocidade de um canal. No limite a sinuosidade de um canal atingirá o valor unitário, querendo isto dizer que o curso de água se afirma com formato retilíneo. O Cálculo da sinuosidade pode, deste modo, ser efetuado pela Equação 38.

$$S = \frac{L_T}{L_D} \quad \text{Equação 38}$$

3.1.2. Tipos e regimes de escoamento

3.1.2.1. Variação temporal

Quanto à sua variação no tempo um escoamento pode ser considerado permanente ou não permanente. A designação de permanente verifica-se no caso de as velocidades média \bar{U} e pontual U assim como a profundidade H , não variarem ao longo do tempo quer em termos de grandeza quer direção, sendo que o caudal permanece constante entre cada uma das secções de um curso de água e pode ser calculado pela Equação 39.

$$Q = \bar{U} \times A \quad \text{Equação 39}$$

Por outro lado, o escoamento pode adquirir a designação de não permanente, caso a profundidade ou as velocidades verificarem alteração ao longo do tempo, deixando assim o caudal de ser constante entre cada secção do canal em estudo.

3.1.2.2. Variação espacial

No que concerne à variação espacial, um escoamento pode ser classificado de uniforme ou não uniforme. O escoamento uniforme mantém invariáveis os parâmetros anteriormente referidos em cada uma das secções do curso de água, pelo que se verifica o paralelismo entre as linhas de fundo e da superfície livre.

Capítulo III

O escoamento não uniforme ou variado vê a profundidade bem como os restantes parâmetros sofrerem alterações entre secções ao longo do canal, podendo ser classificado temporalmente como permanente ou não permanente.

Existe ainda a subdivisão deste tipo de escoamento em duas classes sendo elas a de gradualmente variado para variações lentas dos parâmetros anteriormente referidos, ou rapidamente variado para o caso onde a profundidade e restantes parâmetros variam rapidamente entre secções, podendo ocasionalmente se verificar descontinuidades.

3.1.2.3. Número de Froude

O número de Froude F_R , designa um número adimensional que representa a razão entre as velocidades característica e de onda gravitacional ou, a razão entre as forças de inércia e gravidade (por unidade de volume, em uma determinada secção e num dado instante), podendo ser calculado através de Equação 40.

$$F_R = \frac{U}{\sqrt{g \times h}} \quad \text{Equação 40}$$

Sendo:

U – Velocidade característica, m/s;

g – Aceleração gravítica, em m/s²;

h – Profundidade hidráulica resultante da Equação 41.

$$h = \frac{A}{B} \quad \text{Equação 41}$$

Sendo:

A – Área da secção transversal, em m²;

B – Largura da superfície livre, em m.

Este número, classifica os tipos de regime de escoamento, consoante a respetiva relação com o nível crítico de água no curso de água, sendo obtida a classificação de escoamento fluvial ou lento se F_R for inferior à unidade, escoamento torrencial ou rápido se for superior à unidade, ou escoamento crítico caso seja de valor unitário.

3.1.2.4. Número de Reynolds

O número de Reynolds R_E , também chamado de coeficiente ou ainda módulo de Reynolds, traduz um número adimensional, utilizado para o cálculo do regime de escoamento de um fluído sobre uma superfície. Este coeficiente demonstra a importância da força de viscosidade na origem de um determinado fluxo, sendo que em um canal, pode ser obtido através da Equação 42.

$$R_E = \frac{U \times R_H}{\nu} \quad \text{Equação 42}$$

Sendo:

R_H - Raio hidráulico, em m, que pode ser calculado pela Equação 43;

ν - Viscosidade cinemática de um fluído, em m²/s.

$$R_H = \frac{A_M}{P_M} \quad \text{Equação 43}$$

Sendo:

A_M – Área da secção molhada, em m²;

P_M – Perímetro molhado, em m.

O R_E classifica o escoamento como laminar caso possua valor inferior a 500, de transição se o seu valor se verificar entre 500 e 2000, ou ainda de turbulento se superior a 2000. Em suma, combinando os valores de F_R e R_E é possível elaborar um quadro que efetue a caracterização do escoamento quanto respetivo tipo e regime, exemplificado na Tabela 16.

Tabela 16 - Síntese dos tipo e regime de escoamento

F_R	R_E	Tipo	Regime
< 1	< 500	Fluvial	Laminar
< 1] 500; 2000 [Fluvial	De transição
< 1	> 2000	Fluvial	Turbulento
> 1	< 500	Torrencial	Laminar
> 1] 500; 2000 [Torrencial	De transição
> 1	> 2000	Torrencial	Turbulento
1	< 500	Crítico	Laminar
1] 500; 2000 [Crítico	De transição
1	> 2000	Crítico	Turbulento

Fonte: Camacho, 2015 (adaptado)

3.1.3. Caudal de Ponta de Cheia

3.1.3.1. Aspetos Gerais

O caudal de ponta de cheia assume-se como um dado indispensável à avaliação preliminar do risco de cheias podendo ser calculado através de fórmulas empíricas, cinemáticas ou estatísticas.

A escolha do tipo de fórmulas a utilizar deve ter em conta a sua essência sendo que as empíricas têm por base a experiência acumulada e a área da bacia a ser analisada, as cinemáticas a noção de tempo de concentração e precipitação crítica, por outro lado as estatísticas baseiam-se na análise de um conjunto de valores referentes a uma determinada secção.

Seguidamente apresentam-se exemplos de fórmulas para o cálculo do caudal de ponta de cheia. Pela vasta gama de opções para o efeito, apenas serão consideradas as que se adaptem aos dois casos de estudo, quer pela limitação quanto à área das bacias consideradas, quer pelo tempo de concentração para as quais são produzidos melhores resultados.

3.1.3.2. Fórmulas de Caráter Empírico

Não sendo a abordagem mais aconselhada, possibilitam excepcionalmente a determinação o caudal de cheia quando não se possui informação suficiente. Seguidamente são apresentadas as fórmulas propostas por vários autores para o efeito, assim como as respetivas limitações.

- I. Forti – Fórmula limitada a bacias hidrográficas com área total A_T inferior a 1000 Km², Equação 44.

$$Q_{PC[Forti]} = A_T \times \left(b \times \frac{500}{A_T} \right) + C \quad \text{Equação 44}$$

Sendo:

b – Constante que assume valor entre 2,35 e 3,25, respetivamente para uma precipitação máxima diária inferior a 200 mm e entre 200 e 400 mm;

C - Constante que assume valor entre 0,50 e 1,00, respetivamente para uma precipitação máxima diária inferior a 200 mm e entre 200 e 400 mm.

- II. Iskowski – Fórmula limitada a bacias hidrográficas com área total A_T inferior a 1000 Km², tendo sido uma das primeiras a considerar a precipitação na área de estudo conduz a um caudal inferior ao real, Equação 45.

$$Q_{PC[Iskowski]} = K_{IS} \times m_I \times \bar{P} \times A_T \quad \text{Equação 45}$$

Sendo:

- m_I – Coeficiente que assume um valor variável em função da área total da bacia, Tabela 17;
- K_{IS} – Coeficiente que assume um valor variável entre 0,800 e 0,017, dependendo da categoria dos solos, da cobertura vegetal e do relevo da bacia em estudo, Tabela 18;
- \bar{P} – Precipitação média anual, em m.

Tabela 17 - Coeficiente m_I

A_T	1	10	40	70	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
m_I	10,0	9,0	8,23	7,6	7,4	6,87	6,55	6,22	5,9	5,6	5,35	5,12	4,9	4,7

Fonte: Lencastre & Franco, 1992 (adaptado)

Tabela 18 - Coeficiente K_{IS}

Orografia da bacia hidrográfica	Valores de K_{IS}			
	Categoria			
	I	II	III	IV
Zona baixa e pantanosa	0,017	0,030	-	-
Zona levemente ondulada	0,025	0,040	-	-
Zona em parte plana e em parte com colinas	0,030	0,055	0,100	-
Zona com colinas não muito íngremes	0,035	0,070	0,125	-
Zona de montes altos / pouco inclinados	0,060	0,160	0,360	0,600
Zona de montes altos / média inclinação	0,070	0,185	0,460	0,700
Zona de montes altos / muito inclinados	0,080	0,210	0,600	0,800

Nota:
 Categoria I - Terreno muito permeável com grande vegetação ou completamente cultivado;
 Categoria II - Terreno de colina ou montanha com vegetação normal, e os de planície levemente ondulada, mas pouco permeável;
 Categoria III - Terreno impermeável com vegetação normal em colina escarpada ou montanhosa;
 Categoria IV - Terreno impermeável com escassa ou nenhuma vegetação.

Fonte: Lencastre e Franco, 1992 (adaptado)

- III. Pagliaro - Fórmula limitada a bacias hidrográficas com área total A_T inferior a 1000 Km², Equação 46.

$$Q_{PC[Pagliaro]} = A_T \times \left(\frac{2900}{90 \times A_T} \right) \quad \text{Equação 46}$$

3.1.3.3. Fórmulas de Caráter Cinemático

- I. Racional – Traduz a fórmula mais utilizada a nível mundial com resultados aceitáveis e seguros, desde que se tenha em conta as suas limitações, que se adequem os parâmetros de base e que seja feita uma definição correta dos procedimentos da sua aplicação. Necessita do conhecimento prévio de parâmetros como a área e tipo de ocupação do solo da bacia em estudo, respetivo tempo de concentração e curva / linha de possibilidade udométrica (LPU) ou curvas IDF para um determinado período de retorno. Engloba dois tipos de limitações variando entre as de natureza hidrológica onde se deve admitir a precipitação como invariável no tempo e no espaço, transformando a relação precipitação-escoamento em uma reação linear traduzida por um coeficiente de escoamento constante; de natureza hidráulica ao considerar que apenas ocorre o caudal de ponta de cheia quando toda a bacia hidrográfica contribui para o escoamento que atinge a secção de referência. Fórmula limitada a bacias hidrográficas com área total A_T inferior a 25 Km², Equação 47.

$$Q_{PC[Racional]} = C \times I \times A_T$$

Equação 47

Sendo:

C – Coeficiente de escoamento que depende do tipo e da ocupação do solo da bacia hidrográfica,

Tabela 19;

I – Intensidade média da precipitação para uma determinada frequência de ocorrência, com duração igual ao tempo de concentração da bacia em estudo, em mm/h;

Tabela 19 - Coeficiente de escoamento para áreas urbanas, valores médios

Áreas Urbanas		
Tipo de ocupação do solo		Coeficiente de escoamento C
Zonas Verdes	Relvados em solos arenosos	0,05 – 0,20
	Relvados em solos pesados	0,15 – 0,35
	Parques e cemitérios	0,10 – 0,35
	Campos desportivos	0,20 – 0,35
Zonas comerciais	Centro da cidade	0,70 – 0,95
	Periferia	0,50 – 0,70
Zonas residenciais	Vivendas no centro da cidade	0,30 – 0,50
	Vivendas na periferia	0,25 – 0,40
	Prédios de apartamentos	0,50 – 0,70
Zonas industriais	Indústria dispersa	0,50 – 0,80
	Indústria concentrada	0,60 – 0,90
Vias férreas		0,20 – 0,40
Ruas e estradas	Asfaltadas	0,70 – 0,90
	De betão	0,80 – 0,95
	De Tijolo	0,70 – 0,85
Passeios		0,85 – 0,85
Telhados		0,75 – 0,95
Baldios		0,10 – 0,30

Fonte: Chow, 1964 (adaptado)

O objetivo do coeficiente C é o de transmitir os efeitos da retenção superficial, da infiltração e do armazenamento nos leitos, causados no caudal de ponta de cheia, não correspondendo na sua essência propriamente ao termo “coeficiente de escoamento”, que por sua vez designa a relação entre o volume de escoamento e a precipitação que origina o mesmo. O coeficiente C está então dependente do tipo hidrológico do solo, da sua ocupação e do período de retorno.

Os valores da Tabela 19 correspondem a um período de retorno entre 5 e 10 anos, sendo ainda possível adaptá-lo para precipitações com menor frequência, devendo corrigir o fator C através de um ajustamento por C_F proposto por Wright-McLaughlin (1969).

Tabela 20 - Relação entre o coeficiente de ajustamento e respetivo período de retorno

Período de retorno, em anos	Coeficiente de ajustamento, C_F
25	1,10
50	1,20
100	1,25

Fonte: Wright-McLaughlin, 1969 (adaptado)

A adaptação do coeficiente de escoamento por C_F não pode ultrapassar o valor unitário, resultando assim na Equação 48.

$$Q_{PC[Racional]} = C \times C_F \times I \times A_T$$

Equação 48

- II. Giandotti – Para bacias hidrográficas de área total A_T inferior a 300 Km² e entre 300 e 500 Km², o valor do coeficiente de escoamento assume um valor igual ou superior à unidade, não sendo isso válido ao se tratar de um coeficiente redutor (Quintela, 1982). Assim sendo, Lencastre e Franco (1992) expõe a visão de alguns autores, através da utilização de λ com o valor de 0,224, correspondendo a $C = 0,81$, Equação 49.

$$Q_{PC[Giandotti]} = \frac{\lambda \times A_T \times H_{max}}{T_C} \quad \text{Equação 49}$$

Sendo:

λ – Parâmetro que varia em função da área da bacia hidrográfica, Tabela 21;

H_{max} – Altura máxima de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração e um determinado período de retorno, em mm.

Tabela 21 - Parâmetro de Giandotti

A_T , em Km ²	λ	$C_{Equivalente}$
< 300	0,346	1,25
300 – 500	0,277	1,00
500 – 1000	0,197	0,71
1000 – 8000	0,100	0,36
8000 – 20000	0,076	0,27
20000 - 70000	0,055	0,20

Fonte: Lencastre e Franco, 1992 (adaptado)

- III. Mockus – Fórmula limitada a bacias hidrográficas com tempo de concentração T_C inferior a 4 horas. Segundo esta, é admitido que o valor máximo do caudal de ponta de cheia, para uma determinada frequência, corresponde a uma precipitação útil cuja duração pode ser calculada através da Equação 51.

$$Q_{PC[Mockus]} = \frac{2,08 \times A_T \times P_{\text{útil}}}{\sqrt{T_C} + 0,6 \times T_C} \quad \text{Equação 50}$$

Sendo:

$P_{\text{útil}}$ – Valor da precipitação útil, em cm.

$$T_R = 2 \times T_C^{\frac{1}{2}} \quad \text{Equação 51}$$

- IV. Témez

$$Q_{PC[Témez]} = \frac{C \times I \times A_T}{3} \quad \text{Equação 52}$$

Sendo:

C – Coeficiente de escoamento da fórmula de Témez, que pode ser obtido pela Equação 53.

$$C = \frac{(P_D - P_0) \times (P_D + 23 \times P_0)}{(P_D + 11 \times P_0)^2} \quad \text{Equação 53}$$

Sendo:

P_D – Precipitação máxima diária, em mm;

P_0 – Parâmetro relativo às perdas diárias de precipitação que ocorrem antes de se dar início ao escoamento superficial, em mm. Geralmente varia entre os 24 e os 35 mm podendo ser obtido através da Equação 54.

$$P_0 = \frac{5080}{CN} - 50,8 \quad \text{Equação 54}$$

O coeficiente CN por sua vez designa o número de curva ou de escoamento (derivado do inglês *Curve Number*), relaciona e descreve o comportamento hidrológico de cada tipo de solo e as respetivas utilização e condições de superfície. Varia entre 0 e 100, respetivamente solos com elevada

condutividade hidráulica ou impermeáveis, descrevendo deste modo a potencialidade de uma determinada bacia hidrográfica para originar escoamento superficial.

De acordo com Mata-Lima (2007), o *CN* depende das condições predecessoras de humidade no solo *AMC* (derivado do inglês *antecedent moisture condition*), podendo ser subdividido em três condições, Tabela 22.

Tabela 22 - Condições antecedentes de humidade no solo

Categoria	Condição de humidade	Precipitação nos últimos 5 dias
<i>AMC I</i>	Solo seco	Inferior a 15 mm
<i>AMC II</i>	Situação intermédia na época de cheias	Entre 15 e 40 mm
<i>AMC III</i>	Solo húmido	Superior a 40 mm

Fonte: Lencastre e Franco, 1992 (adaptado)

Por outro lado segundo Lencastre & Franco (2006), O *Soil Conservation Service*, classifica o tipo de solo em 4 categorias de acordo com o seu potencial de escoamento superficial, sendo posteriormente atribuído um valor de *CN* para cada uma das categorias de acordo com a utilização ou cobertura do solo em questão, Tabela 23 e Tabela 24

Tabela 23 - Relação tipo de solo - potencial de escoamento superficial

Tipo de solo	Potencial de escoamento superficial	Transmissividade	Capacidade de Infiltração
A	Baixo	Elevada	Elevada
B	Abaixo da média	Média	Moderada
C	Acima da média	Baixa	Baixa
D	Elevado	Muito Baixa	Muito Baixa

Fonte: Lencastre e Franco, 2006 (adaptado)

Tabela 24 - Número de escoamento *CN*, em bacias urbanas e suburbanas para as condições de humidade *AMC - II*

Utilização ou cobertura do solo		Tipo de solo				
		A	B	C	D	
Terras Lavradas	Não Cultivadas	72	81	88	91	
	Cultivadas	62	71	78	81	
Pastagens	Pobres	68	79	86	89	
	Boas	39	61	74	80	
Prados em boas condições		30	58	71	78	
Florestas	Pouco densas	45	66	77	83	
	Densas	25	55	70	77	
Espaços abertos, relvados, campos de golfe, cemitérios, etc.:	Boas condições: Cobertura com 75% ou mais de relva	39	61	74	80	
	Fracas condições: Cobertura com 50% a 75% de relva	49	69	79	84	
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)		89	92	94	95	
Zonas industriais (72% de impermeabilização)		81	88	91	93	
Zonas residenciais	Tamanho médio dos lotes (m ²)	Impermeabilização média (%)				
	500	77	85	90	92	
	1000	61	75	83	87	
	1300	57	72	81	86	
	2000	54	70	80	85	
Lotes de parques pavimentados, telhados, passeios, etc.	4000	51	68	79	84	
	Lotes de parques pavimentados, telhados, passeios, etc.		98	98	98	98
	Ruas, estradas:	Pavimentadas, com sarjetas e coletores	98	98	98	98
		Empedradas	76	85	89	91
Terra batida		72	82	87	89	

Fonte: Lencastre e Franco, 1992 (adaptado)

Segundo Lencastre & Franco (2006) e Methods & Durrans (2003), os valores de CN que constam na Tabela 24, correspondem à categoria $AMC II$, sendo que quando a condição de humidade de do solo em análise se aproxima dos limites inferior $AMC I$ e superior $AMC III$, o valor do número de escoamento deve ser corrigido através das Equação 55 e Equação 56, obtendo-se deste modo respetivamente CN_I e CN_{III} .

$$CN_I = \frac{4,2 \times CN_{II}}{10 - 0,058 \times CN_{II}} \quad \text{Equação 55}$$

$$CN_I = \frac{23 \times CN_{II}}{10 + 0,13 \times CN_{II}} \quad \text{Equação 56}$$

Para os casos onde se verifica heterogeneidade quanto à natureza do solo, bem como da cobertura da área total de uma bacia hidrográfica, o valor de CN a adotar deve resultar de uma média ponderada dos vários números de escoamento correspondentes a cada uma das áreas que subdividem a bacia em estudo, Equação 57.

$$CN = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i \times A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad \text{Equação 57}$$

Sendo:

CN – Número de escoamento da bacia hidrográfica em estudo, adimensional;

CN_i – Número de escoamento de cada sub-bacia considerada, adimensional;

A_i – Área de cada sub-bacia considerada para o cálculo de CN , em m^2 .

A fórmula apresentada anteriormente, encontra-se limitada a bacias hidrográficas com área total A_T inferior a 75 Km^2 , sendo que se deve considerar que a intensidade de precipitação útil é constante e que o caudal máximo da bacia ocorre quando a totalidade da bacia se encontra a contribuir.

3.1.4. Curvas de Regolfo (adaptação a canais prismáticos)

De acordo com Braga (2014), à curva descrita pela superfície de um líquido quanto se está perante um escoamento permanente, com caudal constante, no qual se verifica a variação da altura ao longo do canal, designamos por curva de regolfo. O tipo de curva de regolfo encontra-se dependente primeiramente do declive longitudinal do canal, tal como está exposto nas Tabela 25 e Tabela 26.

Tabela 25 - Classificação do declive das estruturas de desvio.

Declive	Modificação	Tipo	Regime
Positivo	O canal descai no sentido do escoamento	Forte	Uniforme rápido
		Crítico	Uniforme crítico
		Fraco	Uniforme lento
Nulo	O canal encontra-se nivelado (horizontal)		
Negativo	O canal ascende no sentido do escoamento		

Fonte: Manzanares, 1980 (adaptado)

Tabela 26 - Relação entre o regime de escoamento e a propagação das perturbações

Regime	Propagação das perturbações
Rápido	Orientadas para jusante, sendo a velocidade de propagação para montante inferior à velocidade de escoamento
Crítico	Ocorre com velocidade igual ao escoamento, sendo a velocidade de propagação a montante nula e a jusante o dobre da velocidade de escoamento
Lento	Orientadas quer para montante quer para jusante

Fonte: Quintela, 1981 (adaptado)

O cálculo das curvas implica a resolução de uma equação diferencial ordinária (EDO) de 1ª ordem, Equação 58, de cálculo exclusivamente numérico através de diversos métodos, estando esta sujeita a uma condição de fronteira.

$$\frac{dH}{ds} = \sin \theta - I \tag{Equação 58}$$

Sendo:

- dH - Altura líquida da secção
- ds - Coordenada da secção em que a altura ocorre

Segundo Manzanares (1980) esta equação tem na sua essência o teorema de Bernoulli, aplicado ao caso de escoamentos permanentes em superfície livre, cujo caudal se afirma como constante. No caso dos canais prismáticos, o mesmo autor refere ainda que é possível adaptar o seu cálculo através da Equação 59, podendo a mesma ser simplificada com a aproximação $\sin \theta = i$.

$$\frac{dH}{ds} = \frac{\sin \theta - I}{\lambda(1 - F_R^2)} \tag{Equação 59}$$

Uma vez que λ pode ser também igualado a $\cos \theta$, dado que θ assume um valor muito reduzido, a equação anterior fica deste modo aproximada à unidade. A Figura 63 expõe as diferentes curvas de regolfo obtidas através da equação anterior.

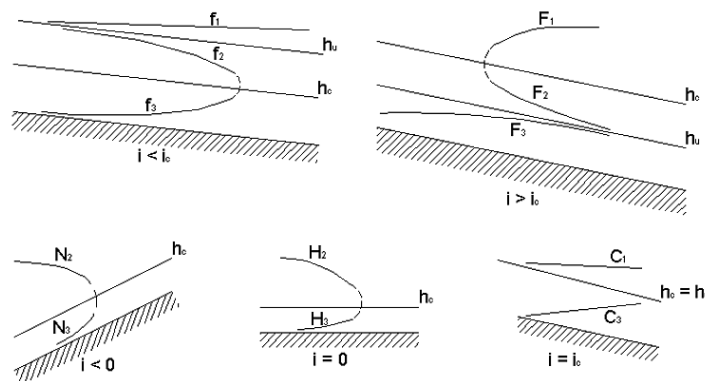


Figura 63 - Curvas de regolfo aplicadas a canais prismáticos
Fonte: Manzanares, 1980

Da análise da figura anterior, importa frisar que f_1, f_2 e f_3 resultam de um canal de declive fraco, que F_1, F_2 e F_3 resultam de um canal de declive forte, C_1 e C_2 com declive crítico, H_2 e H_3 declive nulo e, por fim N_2 e N_3 de um canal de declive negativo.

Outro aspeto a salientar é o de que se admite que a perda de carga unitária é função decrescente da altura pelo que a análise efetuada perderia validade no caso de o canal em análise possuir uma secção fechada, uma vez que poderia apresentar para um determinado caudal, duas soluções de altura uniforme, ou por outro lado apresentar secção composta, o que possibilitaria que na vizinhança da descontinuidade da secção, o mesmo caudal apresentasse duas soluções de altura crítica.

3.1.5. Modelo Experimental

A UMa (nomeadamente o Edifício da Penteadá), dispõe de um espaço físico situado no piso “03” com uma área total de aproximadamente 82 m², atualmente utilizado como laboratório da área de Engenharia Civil, subárea de Hidráulica, Ambiente e Recursos Hídricos, Figura 64.



Figura 64 - Enquadramento exterior do laboratório de Hidráulica

Fonte: Elaborada pelo autor.

No seu interior, o laboratório encontra-se provido de diversos equipamentos de medição, simuladores e equipamento de apoio, essenciais para as mais variadas demonstrações práticas que servem de apoio a trabalhos de investigação e aulas laboratoriais, Figura 65.



Figura 65 - Enquadramento exterior do laboratório de Hidráulica

Fonte: Elaborada pelo autor.

Do equipamento laboratorial destaca-se o canal multifunções, Figura 66, um instrumento que com propósito de investigação e trabalhos práticos que oferece uma panóplia de experiências relacionadas com diversas áreas, desde barragens, canais de água, oceanografia e engenharia marítima. Trata-se por isso de um instrumento adequado à simulação do escoamento em canais de água artificiais.



Figura 66 - Canal multifunções do laboratório de Hidráulica

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com as dimensões de 2.5 x 0.086 x 0.3 m (respetivamente comprimento, largura e profundidade), o canal multifunções possui um equipamento de regulação da inclinação (com uma amplitude entre os 0,5% e os +3% na direção longitudinal) com a finalidade de simular um gradiente natural ou igualar as perdas de energia, cujo ajuste é efetuado através do deslocamento vertical do apoio direito, Figura 67. A inclinação do canal multifunções deve ser ajustada antes do início da simulação, devendo permanecer inalterada até que o equipamento seja completamente desligado.



Figura 67 - Ajuste da inclinação do canal multifunções

Fonte: Elaboradas pelo autor.

As paredes laterais do canal são feitas em acrílico transparente, proporcionando uma visão praticamente translúcida da secção e do caudal a medir. O instrumento é alimentado por um tanque de GRP, com capacidade de 280 litros que uma vez cheio transforma todo o processo num circuito fechado com o canal completamente independente da fonte de abastecimento de água. A zona a montante do canal é alimentada pela água proveniente do tanque GRP de armazenamento através de uma grelha que permite a redução da agitação no escoamento (criando uma zona de amortecimento), sendo posteriormente devolvida ao tanque na secção a jusante.

3.1.5.1. Limitações e erros associados

Com as limitações inerentes ao equipamento e acessórios disponíveis, apenas pode ser lida a altura de água no canal derivada do escoamento simulado, verificando-se necessário recorrer a uma folha de cálculo para obter os restantes parâmetros (velocidade, área e perímetro molhado, etc.).

Além das limitações anteriormente mencionadas, é necessário ter em conta problemas ou desvios previstos entre o caso real e o do modelo experimental seguidamente expostos:

- I. Diferença entre o material constituinte das paredes de betão armado dos canais de água artificial em análise (nas zonas regularizadas junto à foz) e a do canal multifunções em acrílico e aço inoxidável, perspetivando-se diferenças ao nível da interação entre a água e as paredes ou fundo;
- II. Defeitos nas paredes e fundo do canal multifunções;
- III. Limitação a secções de estudo pequenas, tendo em conta a dimensão do canal multifunções (2,50 m), de forma a minimizar efeitos de redução geométrica;
- IV. Restrição da análise apenas a secções do canal de água artificial completamente regularizadas em betão ou com outros materiais;
- V. Diferença entre as ordens de grandeza entre o caudal debitado pela bomba e o real no canal de água artificial, sendo o primeiro da ordem das unidades e o segundo de milhões, obrigando a uma redução de escala significativa;
- VI. Embora o caudal máximo especificado pelo fabricante do canal multifunções ser de 10 m³/h, torna-se perceptível que para valores superiores a 9 m³/s o indicador não estabiliza, dificultando desta forma a leitura correta de caudal debitado. Assim sendo, adotou-se o valor de 9 m³/s como máximo;
- VII. São exetáveis ocorrência de erros sistemáticos de medição, quer por parte do observador quer do equipamento devido à calibração do mesmo, conduzido a leituras menos exatas;
- VIII. Erros associados ao ligeiro desnivelamento do piso do laboratório onde o canal multifunções se encontra instalado.

3.1.5.2. Procedimento experimental

A metodologia utilizada para a realização do procedimento experimental foi baseada na adotada por Camacho (2015) ou Gonçalves (2016) para a caraterização de bacias hidrográficas recorrendo ao modelo experimental.

Para a execução do ensaio no canal multifunções, torna-se necessário o enchimento do tanque GRP com água proveniente da rede de abastecimento, sendo que este nunca deve se encontrar completamente cheio, mas sim a $\frac{3}{4}$ da sua capacidade total. O procedimento experimental, tal como enunciado anteriormente, requer a verificação prévia das condições de segurança nomeadamente quanto às três válvulas dispostas a jusante, montante e no painel elétrico.

Pelas normas de segurança do equipamento, exige-se a verificação dos elementos de segurança antes de se dar início à simulação, sendo os estes constituídos por um sensor a montante, Figura 68, um a jusante, Figura 69 e uma válvula de segurança situada no quadro elétrico, Figura 70. Após serem verificadas as condições de segurança, a simulação do escoamento pode finalmente ser iniciada com a transmissão de energia elétrica ao quadro, Figura 71.



Figura 68 - Válvula de segurança a montante



Figura 69 - Válvula de segurança a jusante

Fonte: Elaboradas pelo autor.



Figura 70 - Válvula de segurança do quadro elétrico



Figura 71 - Transmissão de energia ao canal para início da simulação

Fonte: Elaboradas pelo autor.

Após a bomba ser ligada, deve abrir-se a válvula de controlo de caudal lentamente por motivos de estabilização do nível, evitando a criação de vórtices no seu interior e permitindo que a sua leitura seja feita de forma mais precisa.

Com o ensaio a decorrer, exige-se ainda uma verificação às zonas mais propícias à ocorrência de fugas de águas, principalmente nas zonas onde se efetua a ligação dos tubos que transportam a água do tanque até à secção a montante do canal (local e instância onde se inicia o escoamento), Figura 72 e Figura 73. Esta verificação visa principalmente garantir que não se dá perda de água durante todo o processo, mantendo-o em circuito fechado e evitando perturbações no escoamento e erros nas medições da altura de água.



Figura 72 - Verificação de fugas a montante



Figura 73 - Verificação de fugas a jusante

Fonte: Elaboradas pelo autor.

O canal multifunções possui ainda integrados no circuito de água elementos como uma bomba centrífuga, um medidor de caudal/vazão de área variável e uma válvula de controlo de caudal afluyente, sendo no limite possível escoar um caudal de 10 m³/h, Figura 74.

Com o caudal regulado para o valor de simulação pretendido, deve-se aguardar pela estabilização do escoamento para então efetuar a medição do nível de água através de um indicador de nível, acessório que pode ser instalado nas secções necessárias ao longo da extensão do canal, Figura 75. A medição do nível de água deve ser efetuada as vezes que se verificarem necessárias, sendo que quanto maior o número de medições, mais correta será a caracterização do escoamento no canal quanto à sua velocidade, perda de carga, raio hidráulico e números de Reynolds e Froude.

O indicador de nível é constituído conjuntamente por uma régua (com a unidade de medição em mm e capacidade de medir entre os 0,05 e os 260 mm), uma sonda metálica que deve ser alinhada pelo nível do escoamento, e uma peça de suporte que permite que o indicador seja fixado em qualquer secção do canal, Figura 76.

Devido às dimensões do indicador de nível com uma base com 9 cm, o comprimento efetivo do canal multifunções (sobre o qual se podem efetuar medições) encontra-se reduzido a 2,32 m, motivo pela qual se adotaram pontos pré-estabelecidos a 9, 41, 91, 141, 191 e 241 cm da entrada de água no canal de ensaio para a leitura da altura de água.



Figura 74 - Regulação do caudal escoado no canal

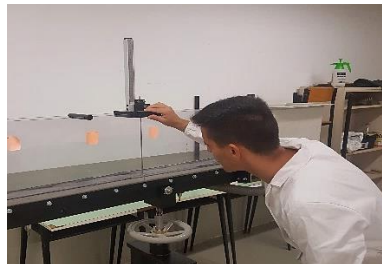


Figura 75 - Instalação do medidor de nível na secção pretendida

Fonte: Elaboradas pelo autor.

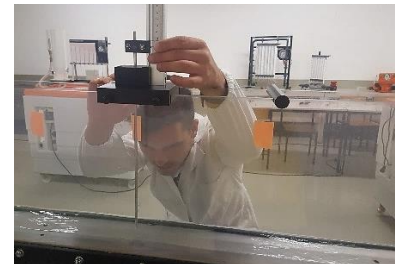


Figura 76 - Ajuste do medidor ao nível de água do canal

3.1.6. HEC-RAS

O sistema integrado de *software U.S. Army Corps of Engineers River Analysis System (HEC-RAS)* permite avaliar escoamentos unidimensionais de carácter uniforme ou não, em canais naturais ou artificiais, tendo ainda outras potencialidades como a avaliação de sedimentos ou a avaliação da qualidade da água.

Tabela 27 - Composição do sistema HEC-RAS

HEC-RAS
Interface gráfica do usuário (GUI)
Componentes de análise hidráulica
Armazenamento e gestão de dados
Elaboração de gráficos
Produção de relatórios

Fonte: elaborado pelo autor.

O programa funciona essencialmente através da caracterização do escoamento em sucessivas secções transversais do curso de água em estudo, nomeadamente quanto à sua posição, elevação, espaço disponível em ambas as margens, coeficiente de Manning e constantes identificativas do grau de contração e expansão do escoamento.

Por outro lado, o canal deve ser caracterizado por intermédio de parâmetros (como o número de Froude, perda de carga contínua, velocidade, etc.), sendo que nesse sentido efetuou-se a simulação do escoamento uniforme, ou seja, com caudal constante e altura crítica a montante, uma vez este se assume como rápido.

3.1.6.1. Folha de cálculo programada em *Microsoft Excel*

Para a determinação das curvas de regolfo verificou-se necessário recorrer a folhas de cálculo programadas, seguindo-se a metodologia de Camacho (2015) e de Lousada (2018). As operações executadas pelo programa resumem-se às expostas na Figura 77, traduzindo-se essencialmente num processo iterativo que utiliza o método das diferenças finitas com aproximações sucessivas, até ser atingida a tolerância aceitável.

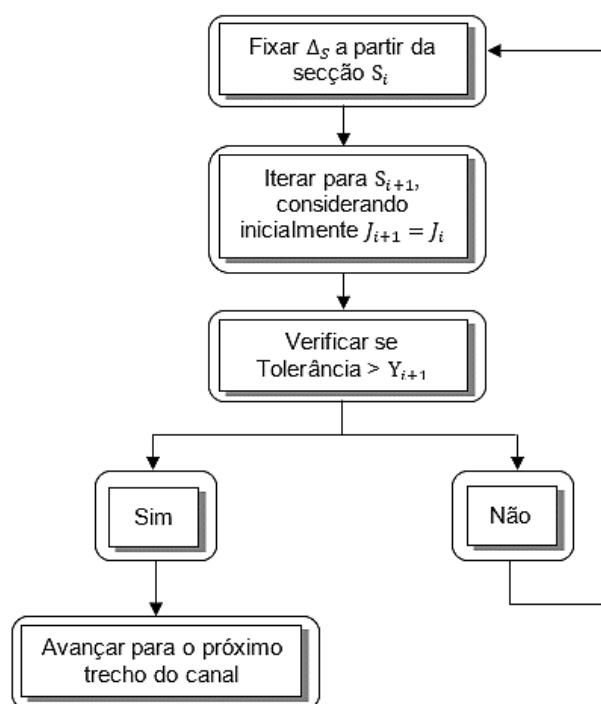


Figura 77 - Representação esquemática do processo iterativo
 Fonte: Camacho, 2015 (adaptado).

Numa segunda folha de cálculo, devem ser compilados os dados referentes às outras secções objeto de estudo, dando particular destaque ao cálculo de parâmetros como o coeficiente de Manning e os números de Froude e Reynolds.

O grau de rugosidade ou coeficiente de Manning do leito de um canal artificial, designa um parâmetro que assume especial relevância pela forma como afeta consideravelmente um escoamento. Para o estudo do regime uniforme em escoamentos com superfície livre, como é o caso de num canal de água artificial, deve ser utilizada a função de Manning, Equação 60:

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) \times A \times R_H^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i} \quad \text{Equação 60}$$

Sendo:

- Q – Caudal escoado, em m^3/s ;
- n – Coeficiente de Manning, em $m^{-1/3}s$;
- A - Área da secção transversal, em m^2 ;
- R_H – Raio hidráulico, em m ;

i – Inclinação da soleira do canal (para alturas de água reduzidas) ou perda de carga contínua (alturas de água significativas).

Por sua vez o raio hidráulico R pode ser obtido através de, Equação 61.

$$R_H = \frac{A}{P} = \frac{b \times h}{b + 2 \times h} \quad \text{Equação 61}$$

Onde:

P – Perímetro molhado da secção transversal, em m;

b – Largura da secção retangular, em m;

h - Altura da superfície livre relativamente à soleira do canal, em m.

O coeficiente de Manning n , relaciona-se diretamente com a natureza das paredes e fundo do canal, encontrando-se tabelado por diversos autores para diferentes materiais constituintes do canal considerado, Tabela 28. No caso dos canais em estudo na presente dissertação o valor adotado foi o de 0,013, considerando um que o estado de conservação das paredes e fundo do canal em betão, situa-se entre o muito bom e o bom.

Tabela 28 - Coeficientes de rugosidade de Manning

Natureza das paredes	Condições			
	Muito boa	Boa	Regular	Má
Canais com revestimento de concreto	0,012	0,014	0,016	0,018

Fonte: Porto (1998) e Cirilo *et al* (2001).

3.1.7. ArcMap

O *ArcGIS* é o sistema mais importante da empresa de investigação ambiental *ESRI (Environmental System Research Institute)*, possibilitando a interação entre o utilizador e um conjunto de dados espaciais criados ou recolhidos. Por seu turno, o *ArcMap* é o seu principal componente e possui uma infundável capacidade de criação, edição e análise de dados geoespaciais, neste caso será utilizado o potencial de análise hidrológica deste subprograma.

Com base na informação geográfica disponibilizada pela Secretaria Regional do Ambiente e Recursos Naturais (SRA) através da DROTA, sob a forma de ficheiros de modelo digital do terreno (MDT) e recorrendo ao *ArcMap* 10.2.1, tornou-se possível a análise hidrológica de forma simplificada e célere das bacias hidrográficas supramencionadas, com vista a obter os seus respetivos parâmetros característicos.

Para a obtenção dos parâmetros característicos, seguiu-se a metodologia patente nos livros de *Hidrologia, Recursos Hídricos e Ambiente - Aulas Práticas* e *Hidrologia, Recursos Hídricos e Ambiente - Aulas Teóricas* de Lousada (2018). Seguidamente, expressam-se os resultados obtidos durante a análise de cada uma das bacias hidrográficas.

Ao limite imposto pela água que escorre pelas vertentes, formando ou seguindo cursos de água de menor dimensão (afluentes), que acabam se juntando a outros idênticos e, por sua vez originando um de maior expressividade até ao mar, chamamos de bacia hidrográfica. O *ArcMap*, funciona por camadas ou “*Layers*”, pelo que para se obter a delimitação de cada uma das bacias hidrográficas em estudo, Figura 78, são necessários alguns passos prévios onde em cada um se gera um mapa com características e propriedades diferentes. Neste caso, são gerados mapas com a direção e acumulação de fluxos de água de modo a delimitar cada uma das bacias. Isto assenta no princípio de que cada gota de água que cai sobre uma determinada área, tende a seguir o caminho mais fácil até encontrar um curso de água.

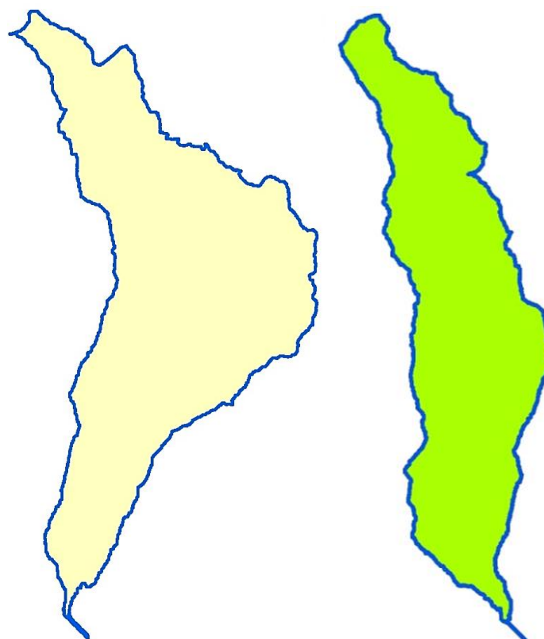


Figura 78 - Delimitação da bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes e Santa Luzia
 Fonte: Elaborado pelo autor.

A hipsometria designa a representação da elevação de um terreno através de um mapa onde a variação da altitude é apresentada com recurso a uma escala de cores. Torna-se então possível utilizar o *software* de modo a dar relevo ao mapa anteriormente apresentado, Figura 79.

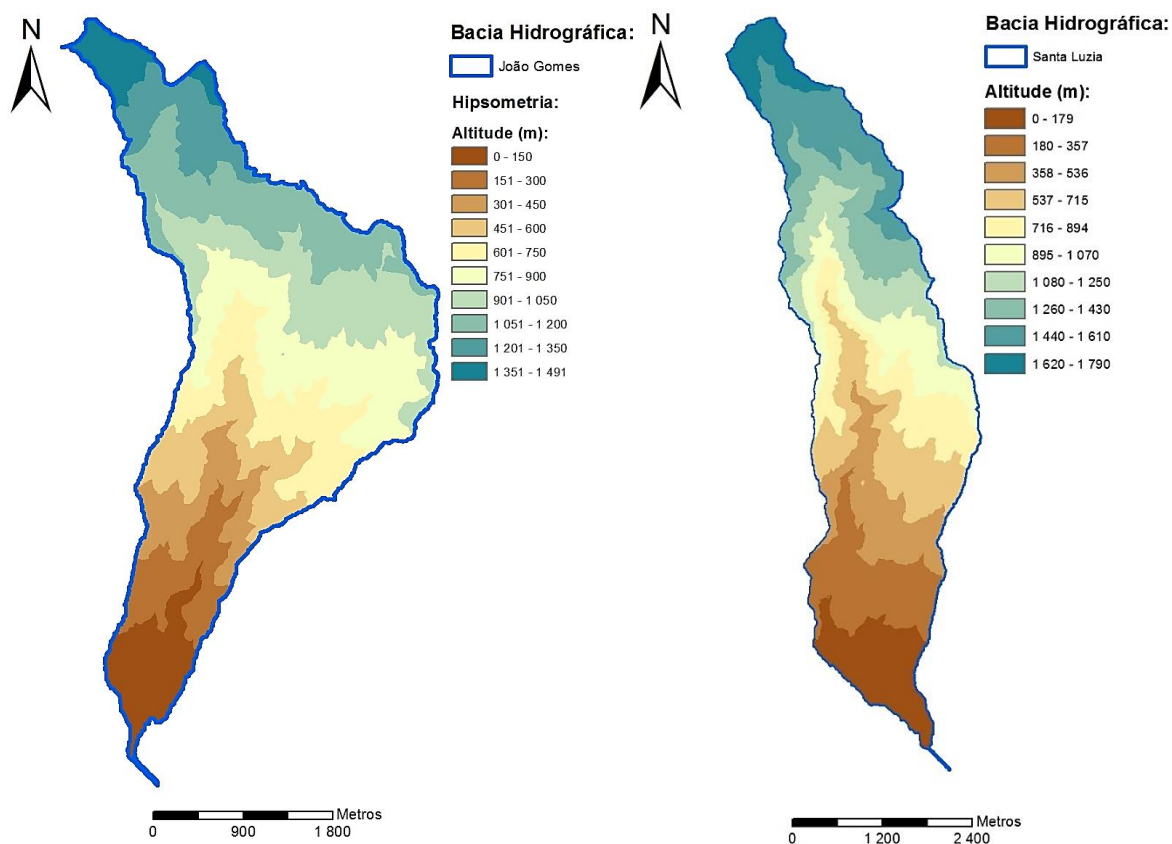


Figura 79 - Mapa hipsométrico das ribeiras de João Gomes e Santa Luzia
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Através do mapa hipsométrico consegue-se estabelecer uma relação entre cotas e a área da bacia que se situa acima das mesmas, obtendo-se desta forma a curva hipsométrica de cada uma das bacias, Figura 80 e Figura 81.

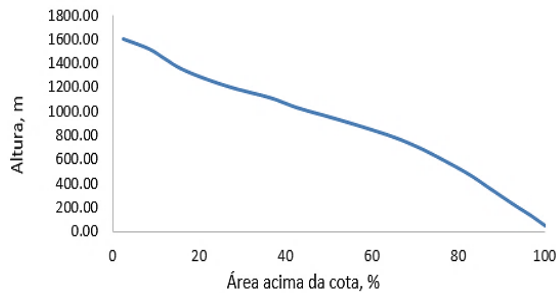


Figura 80 - Curva hipsométrica da ribeira de João Gomes

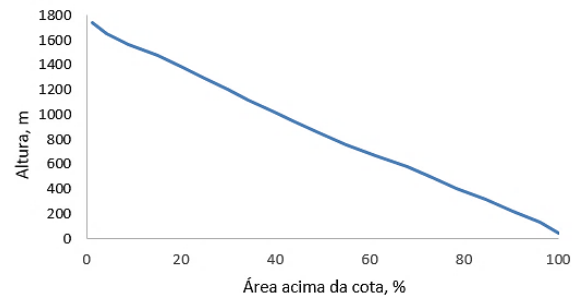


Figura 81 - Curva hipsométrica da ribeira de Santa Luzia

Fonte: Elaborado pelo autor.

Posteriormente, importa estabelecer a hierarquização da rede de drenagem das bacias hidrográficas, classificando o curso de água principal e seus afluentes através de dois tipos de classificação. O primeiro designa-se por Strahler onde os cursos são subdivididos em 5 ordens, Figura 82, isto é, dois afluentes com pouca expressão (de 1ª ordem portanto) juntam-se e originam um de 2ª ordem que por sua vez apenas ao intercalar um de igual categoria, origina um de 3ª ordem, e assim por diante. A 5ª ordem acaba deste modo correspondendo ao curso de água principal resultante da junção de todos os de ordem inferior. Por outro lado na classificação de Shreve dois cursos sejam eles de que magnitude forem, ao se intercalarem, originam um de magnitude igual à soma das magnitudes intercalantes, Figura 83.

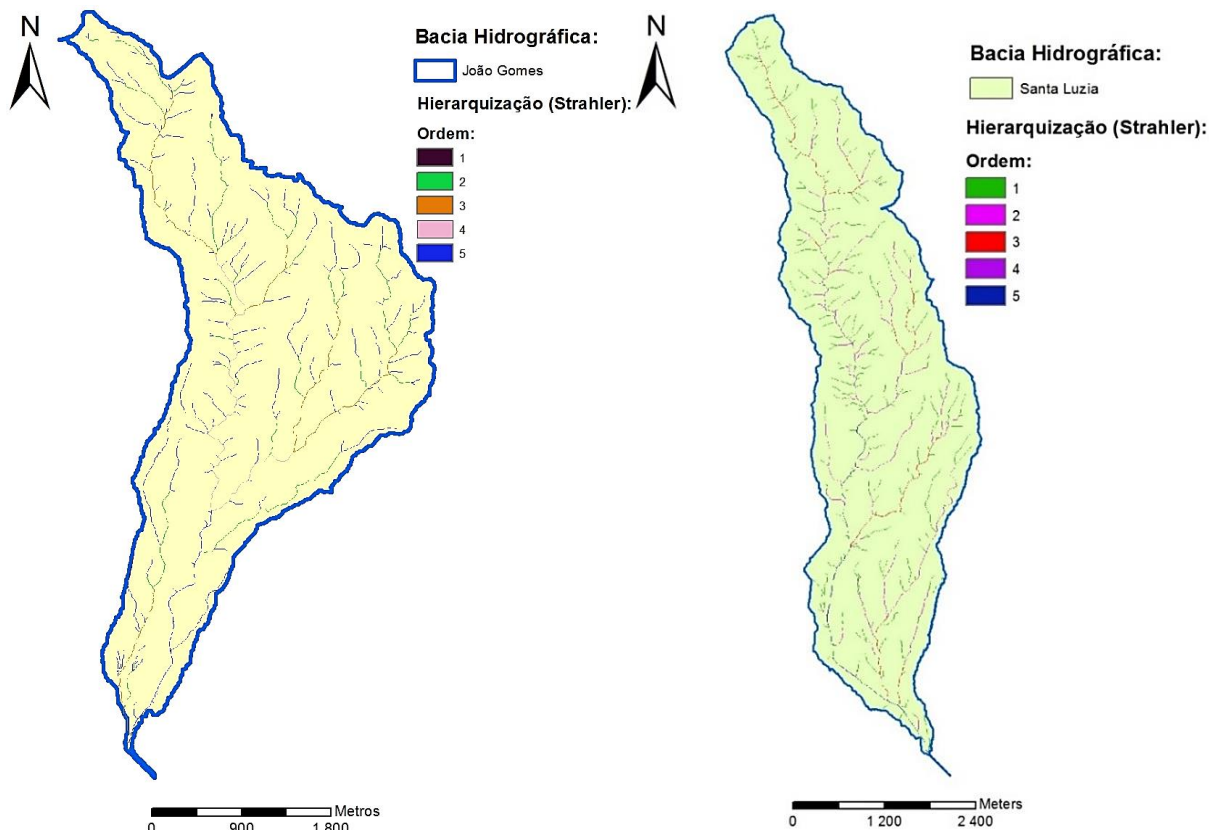


Figura 82 - Hierarquização de Strahler da ribeira de João Gomes e de Santa Luzia

Fonte: Elaborado pelo autor.

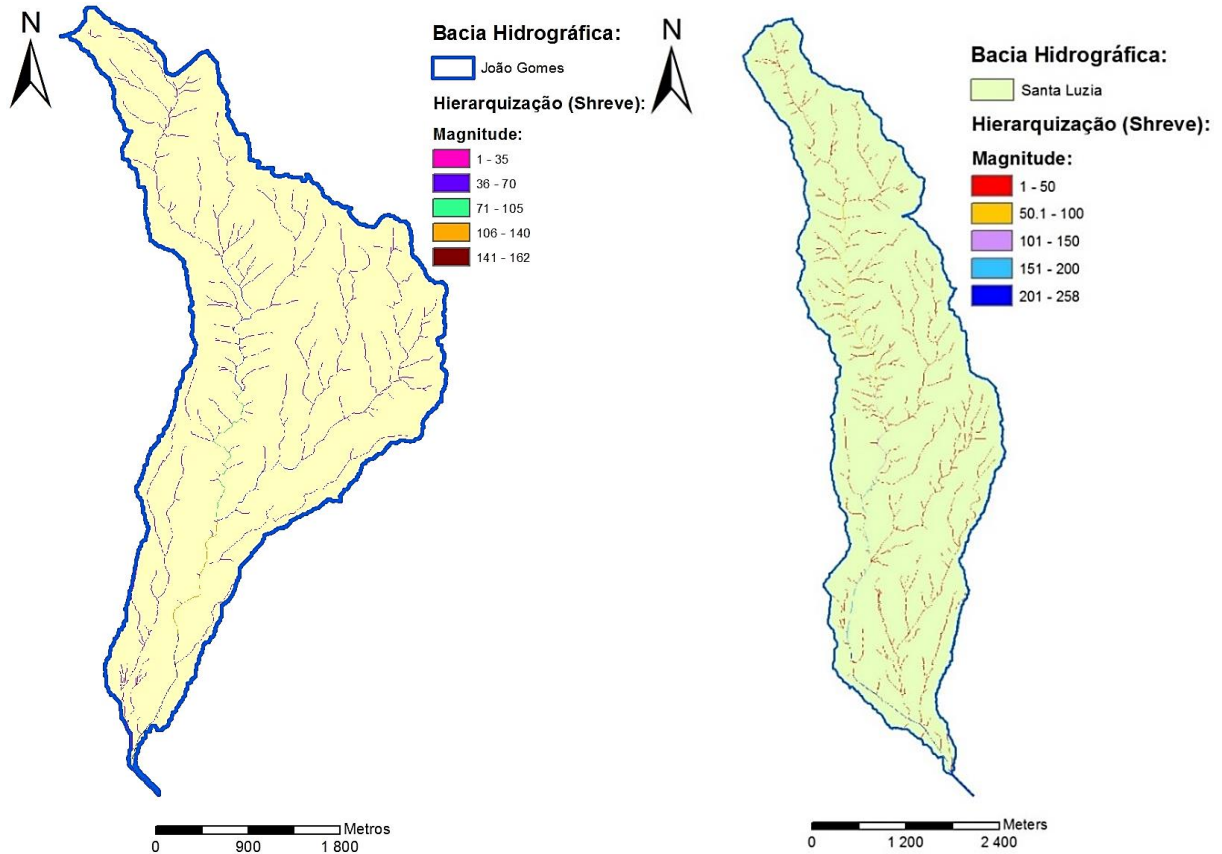


Figura 83 - Hierarquização de Shreve da ribeira de João Gomes e de Santa Luzia

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a predisposição dos cursos de água anteriormente enunciadas, estão reunidas as condições para a elaboração do perfil longitudinal do curso de água principal de cada uma das bacias hidrográficas, relacionando a altitude com a distância à foz dos mesmos, Figura 84 e Figura 85.

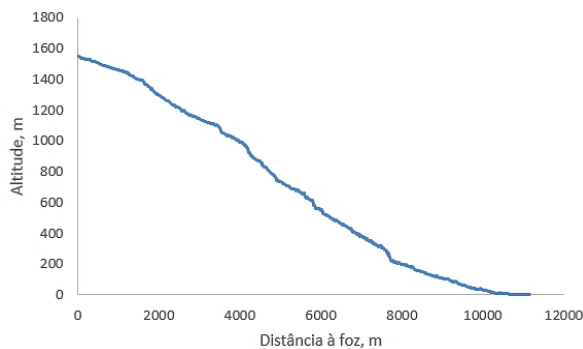


Figura 84 - Perfil Longitudinal do curso principal de água da ribeira de João Gomes

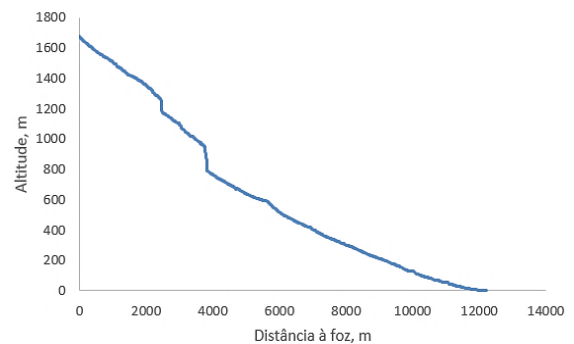


Figura 85 - Perfil Longitudinal do curso principal de água da ribeira de Santa Luzia

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, de forma a concluir a análise hidrológica com recurso ao *ArcMap* dos dois canais artificiais em estudo e das suas respetivas bacias hidrográficas, deve ser elaborado um mapa de declives ao longo das bacias, sendo o mesmo efetuado em graus e em percentagem, Figura 86 e Figura 87.

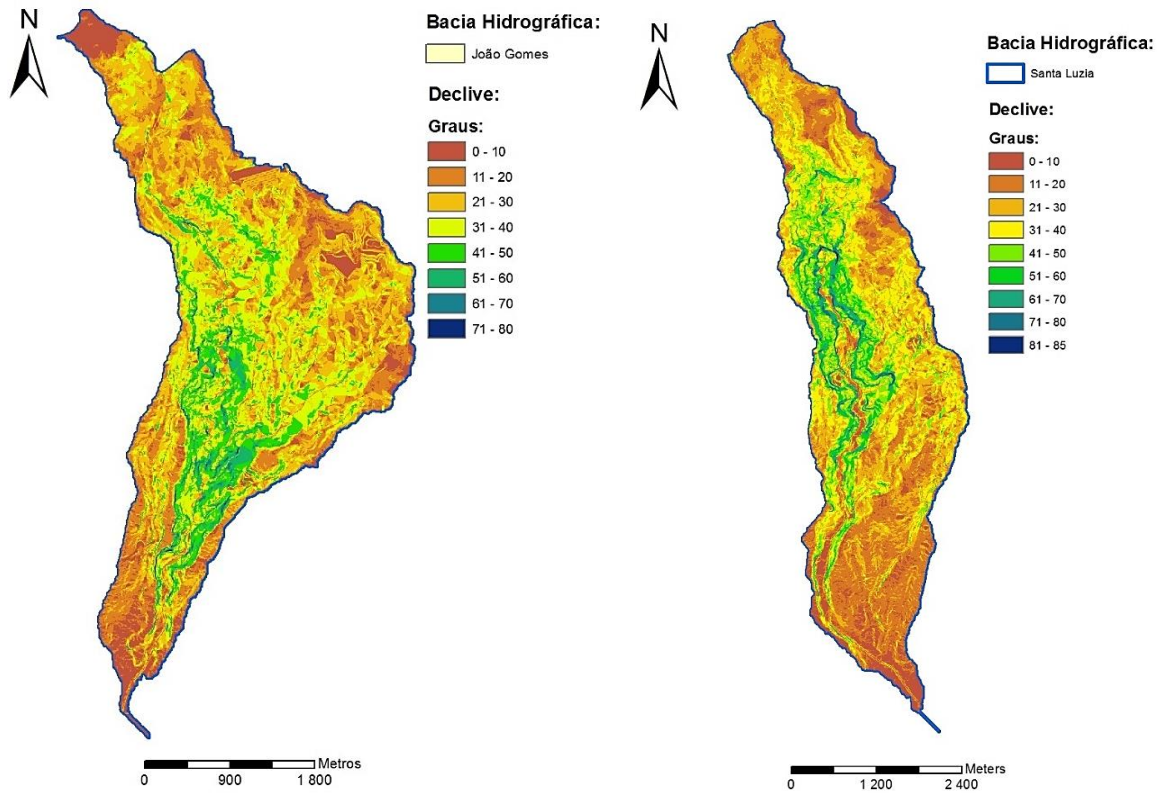


Figura 86 - Declive em graus das bacias hidrográficas das ribeiras de João Gomes e Santa Luzia
Fonte: Elaborado pelo autor.

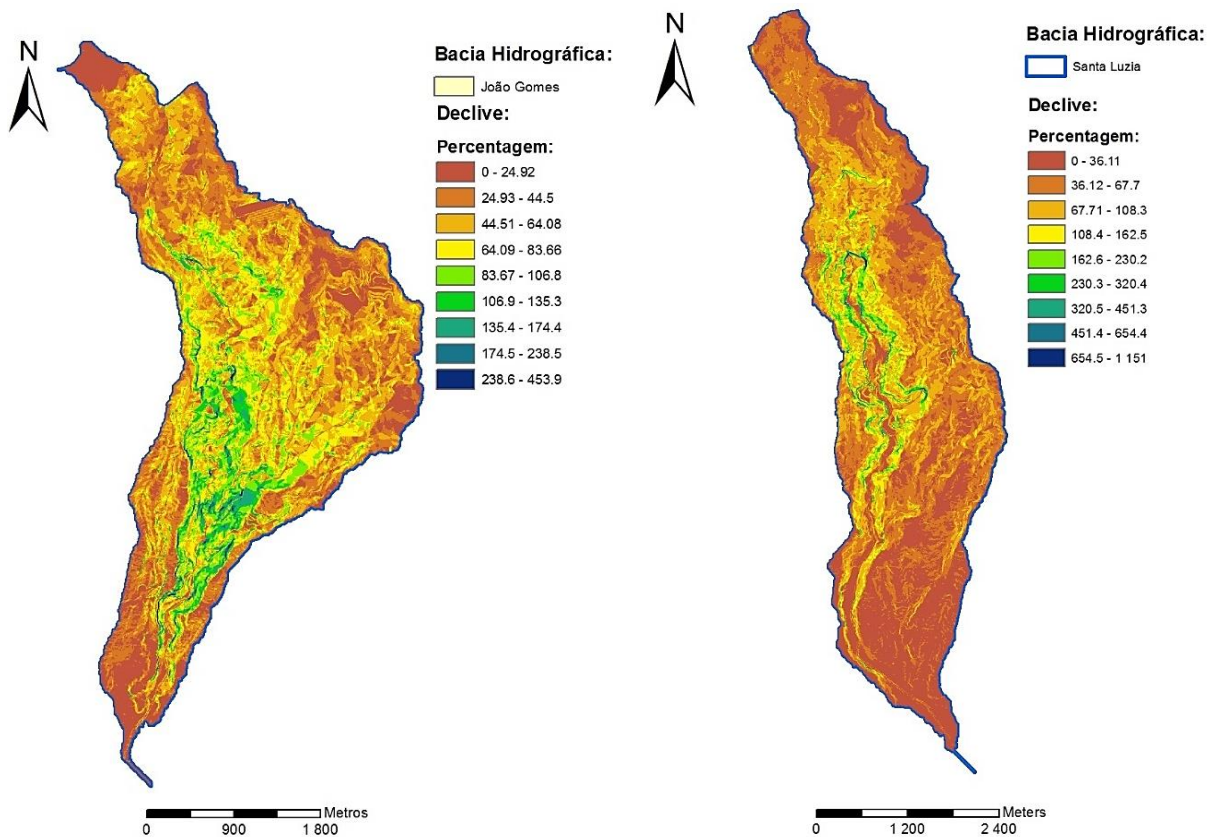


Figura 87 - Declive percentual das bacias hidrográficas das ribeiras de João Gomes e Santa Luzia
Fonte: Elaborado pelo autor

CAPÍTULO 4

ORGANIZAÇÃO / TRATAMENTO DE DADOS

ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISE ESPACIAL - ARCMAP

Com base nos dados recolhidos com recurso aos *softwares AutoCAD* e *ArcGis* complementados com o tratamento dos mesmos através de folhas de cálculo programadas no *Microsoft Excel*, foi possível obter uma tabela com os parâmetros necessários para efetuar a devida caracterização de cada uma das bacias hidrográficas em estudo, Tabela 29.

Importa ressaltar que os parâmetros calculados com recurso aos *softwares*, veem o seu valor ser afetado consoante o refinamento escolhido para o modelo. Contudo, definindo refinamentos iguais para duas avaliações de uma mesma bacia hidrográfica, é possível que se obtenham valores de parâmetros ligeiramente diferentes, uma vez que o programa funciona por camadas este vai sobrepondo informação sucessivamente, acumulando com isso erros no caso de o resultado esperado não ser atingido à primeira tentativa por parte do utilizador.

Tabela 29 - Resumo das características das bacias hidrográficas das ribeiras de Santa Luzia e João Gomes

Parâmetro	Ribeiras	
	Santa Luzia	João Gomes
Área (Km ²)	14.32	12.68
Perímetro (Km)	31.20	31.40
Índice de compacidade ou de Gravelius	2.326	2.487
Fator de alongamento	14.939	17.388
Fator de forma	0.144	0.162
Altitude média (m)	829.91	876.18
Altura média (m)	829.91	876.18
Comprimento do curso de água principal (Km)	12.22	11.16
Altitude máxima do curso de água principal (m)	1676.00	1491.000
Declive médio do curso de água principal	137.103	142.949
Altura equivalente do curso de água principal (m)	1279.99	1375.13
Declive equivalente do curso de água principal	10.475	0.123
Declive 10 - 85	0.153	0.166
Índice de relevo	0.180	0.180
Declive médio da bacia	Em graus	27.96
	Em percentagem	59.72
Hierarquização de Strahler	5 ^a Ordem	5 ^a Ordem
Número de cursos de água	264	188
Comprimento total dos cursos de água (Km)	40.30	34.70
Hierarquização de Shreve	258	188
Relação de bifurcação média	3.820	3.464
Tempo de concentração (H)	Témez	0.93
	Ven Te Chow	0.90
	Giandotti	1.45
	Médio	1.09
Tempo de resposta da bacia (H)	0.66	0.61
Densidade de drenagem	2.814	2.736
Percurso médio sobre o terreno (km)	0.05	0.05
Sinuosidade	1.279	1.323
Densidade hídrica	18.436	14.822
Altura máxima da bacia (m)	1790.000	1595.00
Comprimento da bacia (m)	9959.646	8841.970
Diretriz	9557.692	8435.858

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tendo em conta os resultados alcançados e a bibliografia disponível (como o *PGRI-RAM*), é possível deduzir que estes são aceitáveis e adequados à caracterização das bacias hidrográficas em estudo e consequentemente dos seus canais de água artificiais.

Através dos *Shapefiles* disponibilizados pela SRA (nomeadamente pela DROTA) relativamente ao risco de inundação e o seu impacto na rede viária disposta na área urbana em análise, foi possível elaborar mapas com projeções temporais a 20 e 100 anos.

As Figura 88 e Figura 89, demonstram a projeção do risco de cheias e da rede viária afetada a curto e longo prazo (respetivamente 20 e 100 anos), revelando desde logo uma evolução negativa e a necessidade de adequar as medidas preventivas e mitigadoras para a redução do risco de cheias, que integram os vários instrumentos de gestão territorial em vigor na região.

O risco de cheias revela-se maior na zona de junção das duas ribeiras (junto à foz), o que corrobora a premissa de que esta zona tem maior tendência à ocorrência deste fenómeno e que por outro lado exige cuidados redobrados no seu planeamento urbano e ordenamento territorial.

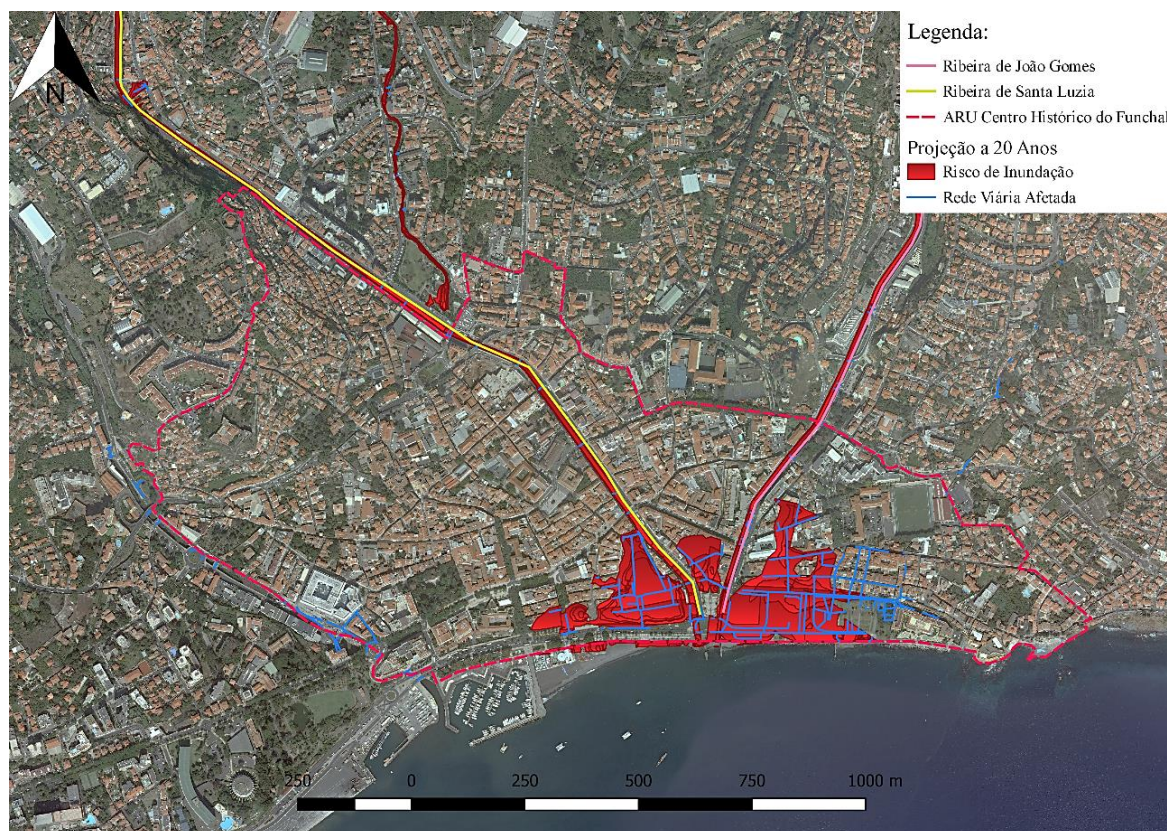


Figura 88 - Projeção a 20 anos do risco de cheias e respetiva rede viária afetada

Fonte: Elaborado pelo autor.

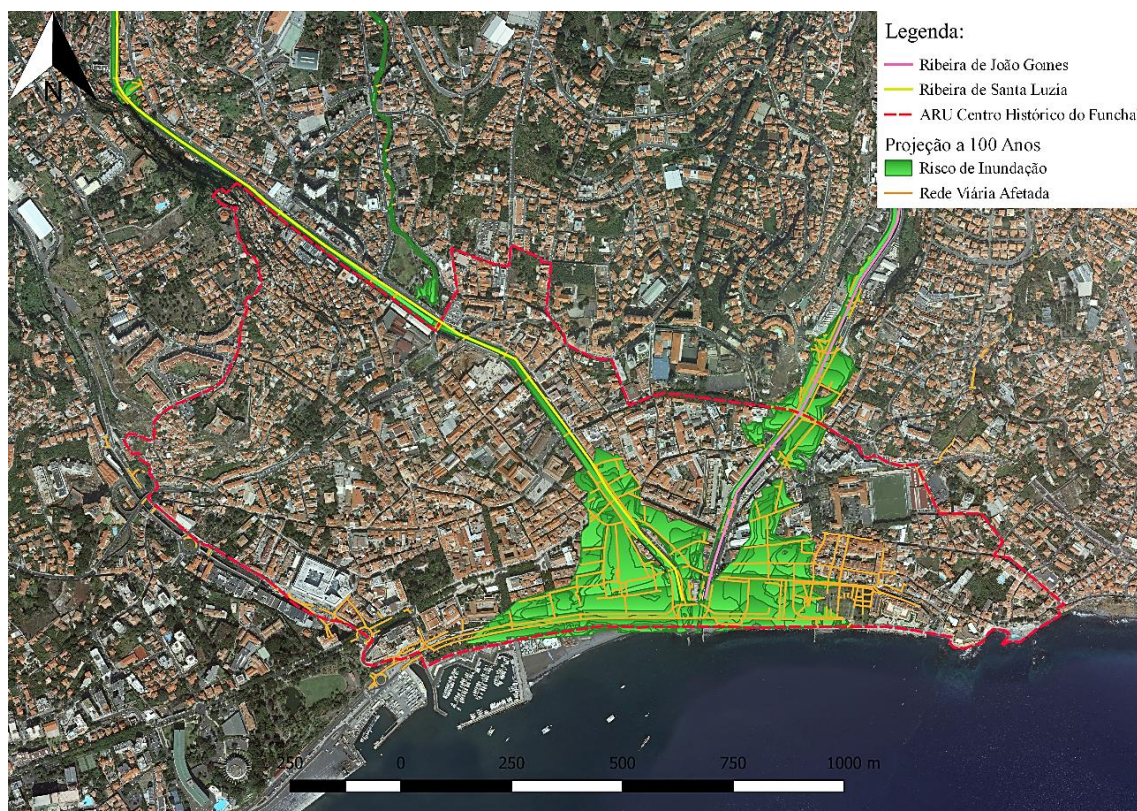


Figura 89 - Projeção a 100 anos do risco de cheias e respetiva rede viária afetada

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2. ANÁLISE HIDRÁULICA

4.2.1. Método Empírico

De forma a obter um valor de caudal que desconsidere as disparidades entre cada uma das fórmulas empíricas elaboradas por diversos autores, deve-se efetuar uma média de forma a que a simulação e modelação do escoamento de cada um dos canais artificiais, seja o mais aproximado da realidade. Os valores dos coeficientes adotados nas fórmulas, assim como o cálculo dos respetivos caudais, são seguidamente expressos nas Tabela 30 e Tabela 31:

Tabela 30 - Coeficientes adotados para o cálculo do caudal de ponta de cheia

Fórmula	Coefficiente	Valor Adotado	Condicionante
Forti	b	3.25	Para uma precipitação máxima diária entre os 200 e os 400 mm
	c	1.00	
Iskowski	K_{Is}	0.6	Para a categoria IV
	M_I	Interpolação entre os 10 e 40 Km ²	
Racional	C	0.5	Para zona residência – vivendas no centro da cidade
	C_f	1.25	Para um período de retorno de 100 anos
Giandotti	λ	0.346	Para bacias hidrográficas inferiores a 300 Km ²
Témez	C	0.926	
	P_0	5.644	
	CN_{II}	90	
	CN_{III}	95.392	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 31 - Cálculo do caudal de ponta de cheia

	Ribeiras		
	João Gomes	Santa Luzia	
Caudal (m ³ /s)	Fórmula		
	Forti	114.59	127.93
	Iskowski	169.36	190.30
	Pagliaro	358.23	398.08
	Racional	601.60	665.18
	Giandotti	329.66	336.93
	Mockus	306.68	327.93
	Témez	306.07	338.42
	Médio	312.31	340.68

Fonte: Elaborado pelo autor.

Atendendo aos valores de caudal de ponta de cheia obtidos, verificamos que são todos da mesma ordem de grandeza, o que torna os resultados deste método aceitáveis. Contudo, é possível verificar que as fórmulas de Forti, de Iskowski e Racional, diferem da generalidade dos outros resultados (nos dois primeiros casos para cerca de metade do valor médio e no último para praticamente o dobro) devendo-se essencialmente às suas limitações, nomeadamente quanto à área total da bacia hidrográfica aceitável para a aplicação das fórmulas correspondentes, que varia de autor para autor.

Posto isto, é ainda possível concluir que a ribeira de Santa Luzia (curso de água principal da bacia hidrográfica com o mesmo nome) consegue escoar um caudal cerca de 9% superior ao da sua congénere de João Gomes. Este valor salienta a necessidade de ter em conta nos processos de planeamento urbano e ordenamento territorial, nomeadamente quanto ao uso de solo, à disposição da rede viária e à pressão antropogénica que se possa verificar.

4.2.2. HEC-RAS

A utilização do *Software HEC-RAS* e de folhas de cálculo programadas com a informação daí decorrente (enunciada no subcapítulo 3.1.7.), possibilitou a análise do escoamento individual e conjunto dos canais de água artificiais em estudo, nomeadamente através da elaboração de gráficos como as curvas de regolho. As Figura 90, Figura 91 e Figura 92, expõem a análise ao escoamento quanto aos parâmetros E (linha de energia), Y (cota da superfície livre), Z (cota do fundo) e U (velocidade).

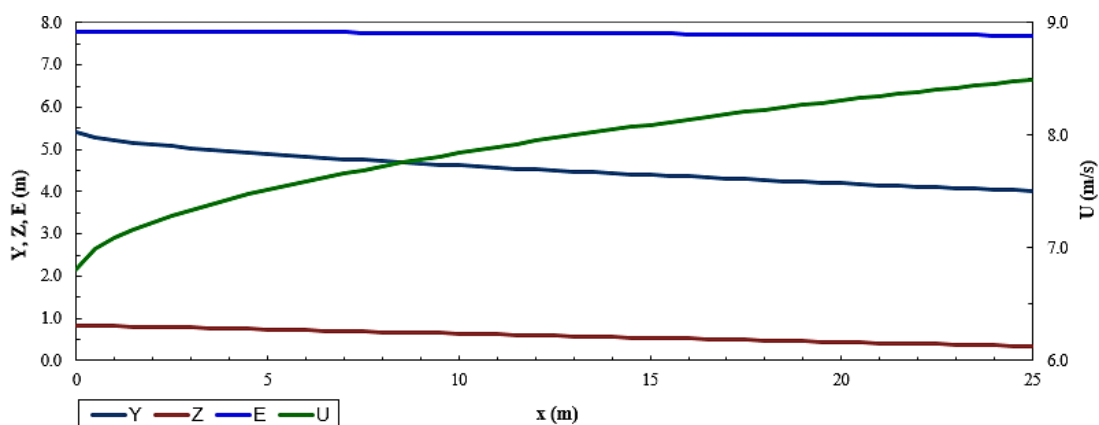


Figura 90 - Curva de regolho da ribeira de João Gomes

Fonte: Elaborado pelo autor.

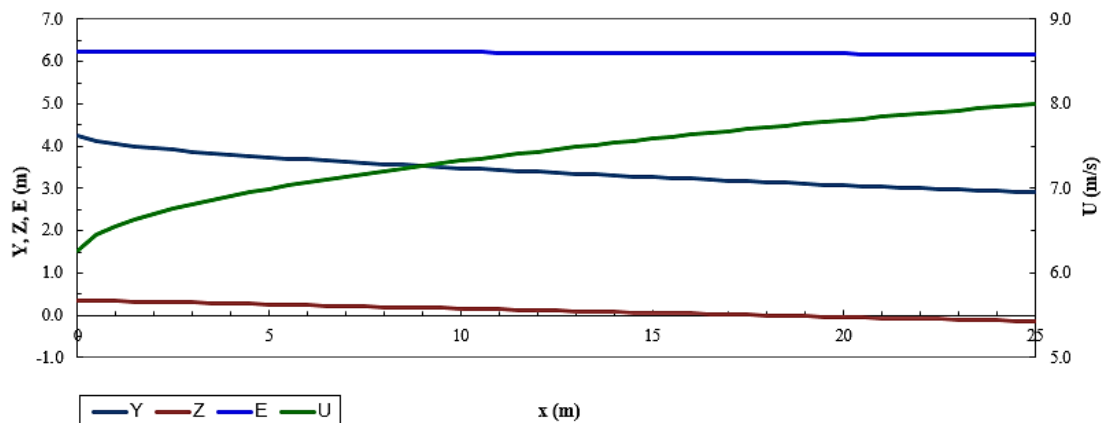


Figura 91 - Curva de regolfo da ribeira de Santa Luzia

Fonte: Elaborado pelo autor.

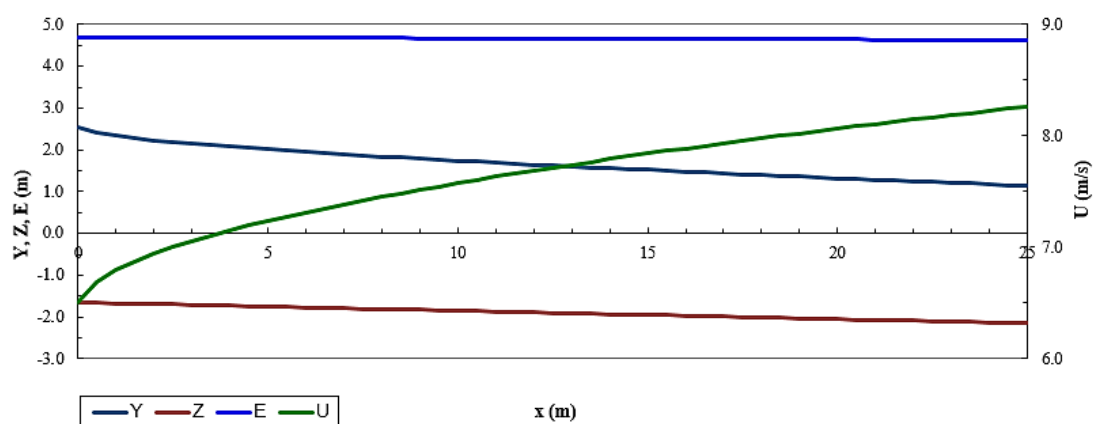


Figura 92 - Curva de regolfo para o trecho conjunto das 2 ribeiras

Fonte: Elaborado pelo autor.

Importa salientar, que os gráficos correspondentes às curvas de regolfo da ribeira de João Gomes, Figura 90, e de Santa Luzia, Figura 91, são efetuados para uma secção imediatamente anterior à junção das duas ribeiras, Figura 92, o que leva a que as cotas de superfície livre e principalmente do fundo sejam inferiores nesta última decorrente a inclinação natural do trecho. Salienta-se ainda, a evolução positiva da velocidade consoante o escoamento se aproxima da zona a jusante do canal de água artificial, aliás tal como seria de esperar.

4.2.3. Modelo Experimental

Através do procedimento experimental exposto no subcapítulo 3.1.6., efetuaram-se medições da altura de água na simulação do escoamento de cada uma das ribeiras de João Gomes e Santa Luzia. De forma a ter em conta as recentes obras de regularização de ambas as ribeiras através da união dos respetivos troços finais, optou-se por realizar ainda a simulação do escoamento conjunto dos canais de água artificiais, à semelhança do que foi feito no subcapítulo anterior.

A Tabela 32, enuncia os valores de altura de água medidos durante a simulação dos escoamentos sendo que para evitar disparidades advindas de erros sistemáticos e aleatórios, repetiu-se cada um dos ensaios três vezes, efetuando-se por fim a média dos valores de altura de água obtidos para posterior aplicação nas fórmulas de cálculo dos parâmetros do escoamento.

Tabela 32 - Alturas de água

Ensaio				
Id	Medição	Ribeiras		
		João Gomes	Santa Luzia	Conjunto
1	0	2.70	2.90	4.85
	1	2.15	2.40	3.85
	2	1.95	2.50	3.65
	3	1.90	2.05	3.45
	4	2.00	2.20	3.55
	5	2.05	2.20	3.50
2	0	2.75	2.90	4.85
	1	2.25	2.40	3.75
	2	2.00	2.10	3.60
	3	1.95	2.05	3.40
	4	2.05	2.15	3.50
	5	2.10	2.15	3.50
3	0	2.70	2.95	4.85
	1	2.25	2.45	3.80
	2	2.05	2.15	3.60
	3	2.00	2.05	3.35
	4	2.00	2.15	3.45
	5	2.00	2.10	3.40
Média	0	2.72	2.92	4.85
	1	2.22	2.42	3.80
	2	2.00	2.25	3.62
	3	1.95	2.05	3.40
	4	2.02	2.17	3.50
	5	2.05	2.15	3.47

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3.1. Redução Geométrica

O nome do modelo exposto neste subcapítulo deve-se ao mesmo traduzir uma redução geométrica do escoamento que efetivamente se verifica no canal de água artificial em estudo. Uma vez que o escoamento é essencialmente influenciado pelas forças de inércia e de gravidade, o modelo deve ser avaliado com base na Lei de Froude, para a qual são fundamentais os números de Froude e de Reynolds que estipulam a tipologia do escoamento.

De modo a caracterizar corretamente o escoamento das ribeiras de João Gomes e Santa Luzia por força da natural redução geométrica, verificou-se necessário adaptar os valores de alguns parâmetros ao escoamento no canal multifunções. A relação entre as várias grandezas reais e do modelo experimental, onde se verificou necessário proceder a uma adaptação encontra-se exposta na Tabela 33.

Tabela 33 - Relação entre o canal em estudo e o modelo experimental

Canal de água artificial	Relação					
	$\frac{Q_R}{Q_m}$	$\frac{b_R}{b_m}$	$\frac{L_R}{L_m}$	$\frac{h_R}{h_m}^{**}$	$\frac{U_R}{U_m}^{**}$	$\frac{J_R}{J_m}^{**}$
João Gomes	261197.70	116.279	10.776	166.154	12.915	0.302
Santa Luzia	261197.70	162.791	10.776	132.155	11.694	0.260
Trecho conjunto	261197.70	279.070	10.776	86.875	10.351	0.214

Fonte: Elaborado pelo autor.

** Relação efetuada através de uma média ponderada entre as reduções dos parâmetros perda de carga e velocidade, a montante e jusante do curso de água em estudo, em relação ao modelo experimental.

Onde:

- Q – Caudal;
- b – Largura do canal;
- L – Comprimento do canal;
- h – Altura de água;
- U – Velocidade;
- J – Perda de carga unitária.

À semelhança do subcapítulo anterior, também no modelo experimental foi possível proceder-se à elaboração de curvas de regolfo relacionando os parâmetros E (linha de energia), Y (cota da superfície livre), Z (cota do fundo) e U (velocidade) com a dimensão longitudinal das secções em estudo, Figura 93 Figura 94 e Figura 95.

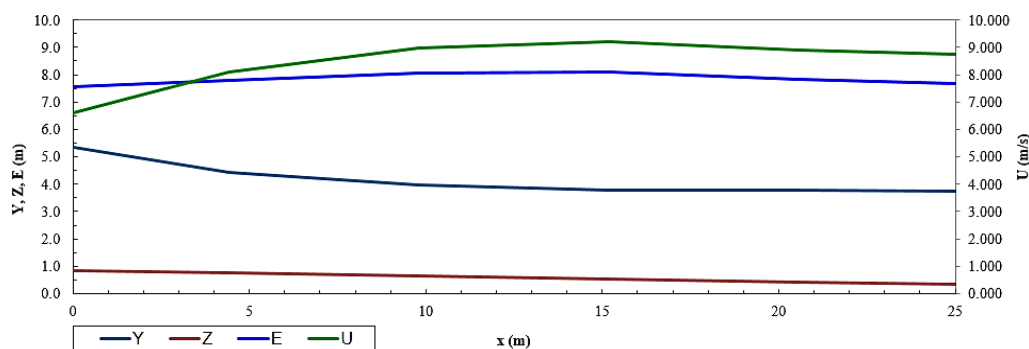


Figura 93 - Curva de regolfo do modelo experimental da ribeira de João Gomes

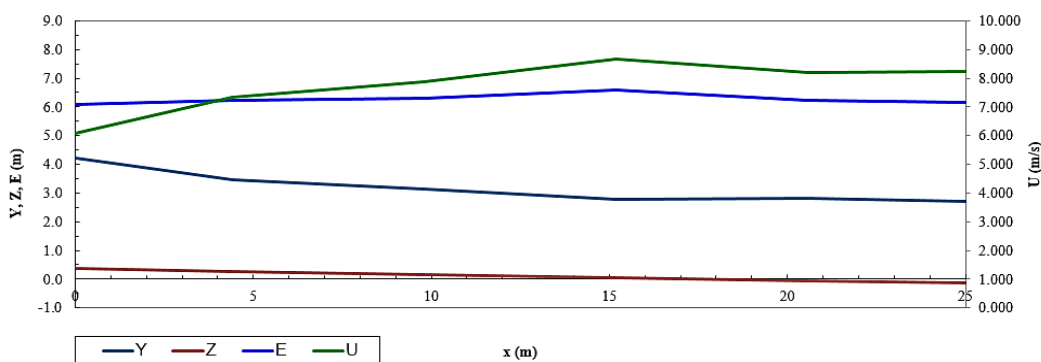


Figura 94 - Curva de regolfo do modelo experimental da ribeira de Santa Luzia

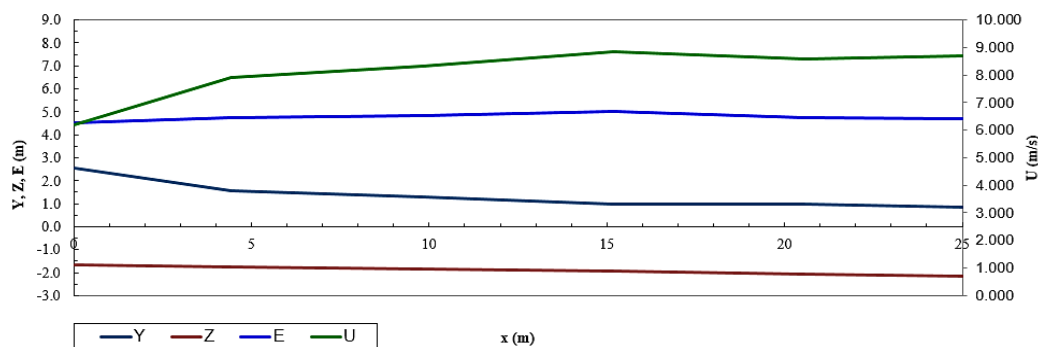


Figura 95 - Curva de regolfo do modelo experimental para o trecho conjunto das 2 ribeiras

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3.2. Análise Comparativa

Com a análise efetuada nos subcapítulos anteriores por três diferentes métodos ao escoamento das duas ribeiras, assim como ao trecho final conjunto das mesmas, tornou-se possível elaborar as Tabela 34 e Tabela 35 onde se expõe o cálculo de parâmetros como a altura de água (h), o caudal (Q), a velocidade (U), o coeficiente de Manning (n) e os números de Froude (Fr) e de Reynolds (Re).

Tabela 34 - Análise comparativa entre os 3 modelos à ribeira de João Gomes

Trecho final da ribeira de João Gomes									
Folha de cálculo programada									
Secção	L (m)	b (m)	h (m)	Q (m ³ /s)	U (m/s)	I (m/m)	n (m ^{-1/3} s)	Fr	Re
Montante	0	10	4.588	312.31	6.807	0.02	0.018	1.015	16125433.94
Jusante	25	10	3.675	312.31	8.498	0.02	0.016	1.416	17822137.06
HEC-RAS									
Montante	0	10	4.310	312.31	7.246	0.02	0.013	1.115	16606863.69
Jusante	25	10	3.560	312.31	8.773	0.02	0.013	1.485	18061904.32
Modelo Experimental									
Montante	0	0.086	0.027	4.30	0.512	0.02	0.018	0.992	8436.01
Jusante	2.32	0.086	0.021	4.30	0.678	0.02	0.012	1.513	9321.68
Modelo Experimental (Após transformação)									
Montante	0	10	4.514	312.31	6.610	0.02	0.021	0.994	15525066.89
Jusante	25	10	3.406	312.31	8.759	0.02	0.014	1.516	17570833.95

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 35 - Análise comparativa entre os 3 modelos à ribeira de Santa Luzia

Trecho final da ribeira de Santa Luzia									
Folha de cálculo programada									
Secção	L (m)	b (m)	h (m)	Q (m ³ /s)	U (m/s)	I (m/m)	n (m ^{-1/3} s)	Fr	Re
Montante	0	14	3.885	340.68	6.264	0.02	0.018	1.015	15494434.15
Jusante	25	14	3.042	340.68	8.000	0.02	0.016	1.465	16795294.16
HEC-RAS									
Montante	0	14	3.680	340.68	6.613	0.02	0.013	1.101	15791627.01
Jusante	25	14	2.970	340.68	8.193	0.02	0.013	1.519	16916206.26
Modelo Experimental									
Montante	0	0.086	0.02917	4.70	0.520	0.02	0.018	0.973	8947.30
Jusante	2.32	0.086	0.02150	4.70	0.705	0.02	0.012	1.537	10010.81
Modelo Experimental (Após transformação)									
Montante	0	14	3.855	340.68	6.081	0.02	0.022	0.989	14965168.89
Jusante	25	14	2.701	340.68	8.249	0.02	0.014	1.563	16505872.23

Fonte: Elaborado pelo autor.

De forma a efetuar uma comparação das duas tabelas anteriores, importa primeiramente referir que a ordem de grandeza de todos os parâmetros avaliados é idêntica quer relativamente à ribeira de João Gomes quer de Santa Luzia, o que desde logo enuncia que os resultados são aceitáveis e por isso adequados à caracterização de ambos os escoamentos.

Na sua generalidade, os parâmetros adquirem valores com uma dimensão espetável face à diferente secção transversal das duas ribeiras. Com a largura a ser maior na ribeira de Santa Luzia do que em João Gomes, verifica-se um decréscimo da altura de água e da velocidade no canal e, por outro lado um aumento do caudal. Por outro lado, parâmetros como o coeficiente de Manning e os números de Froude e de Reynolds, assumem valores praticamente idênticos em qualquer dos casos de estudo uma vez que são função da velocidade do escoamento e esta apesar de decrescer de um caso para o outro, tal como já foi referido, acontece em pequena escala (da ordem dos 0.5 m/s).

Para complementar a análise individual de cada uma das ribeiras, efetuou-se o mesmo procedimento para o trecho final, onde após as obras de reconversão e regularização da foz dos dois canais de água artificiais, o escoamento passou a ser feito em conjunto, Tabela 36.

Tabela 36 - Análise comparativa entre os 3 modelos ao trecho conjunto das 2 ribeiras

Trecho final conjunto									
Folha de cálculo programada									
Secção	L (m)	b (m)	h (m)	Q (m ³ /s)	U (m/s)	I (m/m)	n (m ^{-1/3} s)	Fr	Re
Montante	0	24	4.185	653.00	6.501	0.02	0.018	1.015	19973133.21
Jusante	25	24	3.292	653.00	8.264	0.02	0.016	1.455	21138796.18
HEC-RAS									
Montante	0	24	3.950	653.00	6.888	0.02	0.013	1.107	20267365.36
Jusante	25	24	3.2	653.00	8.503	0.02	0.013	1.518	21267399.83
Modelo Experimental									
Montante	0	0.086	0.049	9.00	0.023	0.02	0.019	0.869	13525.94
Jusante	2.32	0.086	0.035	9.00	0.019	0.02	0.012	1.439	15935.07
Modelo Experimental (Após transformação)									
Montante	0	24	4.213	653.00	6.204	0.02	0.023	0.965	19155729.57
Jusante	25	24	3.012	653.00	8.680	0.02	0.014	1.598	20689263.63

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme se verificou na análise aos três modelos utilizados, os efeitos de redução assumidos na Tabela 33 não produzem efeitos consideráveis, desde que se assumam caudais relevantes. Segundo (Camacho 2015), para larguras de secção transversal e profundidades superiores a 8 cm e 2 cm respetivamente, os efeitos de escala são pouco relevantes, o que efetivamente se confirma.

Corroborando os resultados expostos nas tabelas anteriores, também a análise comparativa ao trecho conjunto das duas ribeiras revela ordem de grandeza idêntica quanto aos parâmetros avaliados, sendo que estes possuem variação semelhante entre modelos (embora se deva ter em conta que aqui o caudal a ser escoado é maior face às duas individualidades, acatando com isso necessárias alterações à secção transversal com consequências ao nível da altura de água e velocidade do escoamento).

Por outro lado, para escoamentos turbulentos em ambos os casos do escoamento real e do modelo experimental, ou seja, no caso de os respetivos números de Reynolds se verificarem superiores à zona de transição de escoamento laminar para turbulento, a redução também não produz efeitos indesejados. Da tabela anterior resulta a dedução que os números de Froude e Reynolds aumentaram (sempre) de montante para jusante, tornando o escoamento sucessivamente mais rápido e turbulento, cenário favorável para uma situação de cheia.

4.2.4. Interligação Hidráulico-Espacial

As análises hidráulica e espacial permitiram caracterizar especificamente as bacias hidrográficas das ribeiras de Santa Luzia e João Gomes, assim como, os seus cursos de água principais. Contudo considera-se adequado relacionar a estrutura hidráulica com a disposição espacial, nomeadamente quanto à rede viária mais relevante de cada uma das bacias hidrográficas, Figura 96 e Figura 97.

As figuras Figura 96 e Figura 97 apresentam a disposição da rede viária mais relevante ao longo das bacias hidrográficas, demonstrando que é feita de forma a reduzir efeitos de pressão antropogénica sobre os seus cursos de água principais. Denota-se uma maior concentração de estradas no último terço das bacias que se intensifica na zona fronteiriça, nomeadamente através de estradas de primeira (a chamada “Cota 40”, a ligação entre a “Estrada Comandante Camacho de Freitas” e a “Estrada dos Marmeleiros” ou ainda o troço da via rápida compreendido entre os Km 10 e 13) e ramais de ligação.

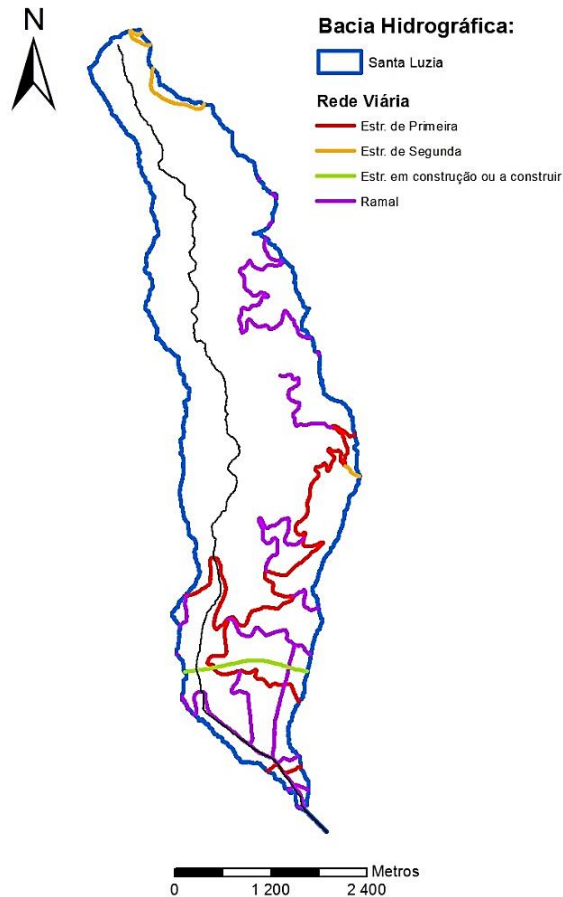


Figura 96 - Rede viária na bacia hidrográfica da ribeira de Santa Luzia

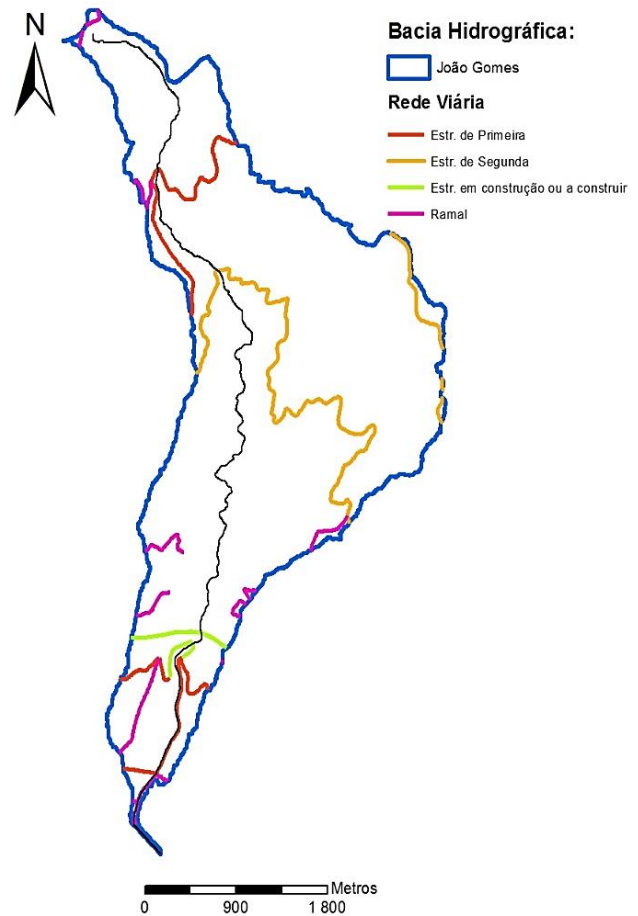


Figura 97 - Rede viária na bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes

Fonte: Elaborado pelo autor.

Das três vias com a designação de estrada principal anteriormente enunciadas, apenas a ligação entre a “Estrada Comandante Camacho de Freitas” e a “Estrada dos Marmeleiros” é efetuada sobranceiramente ao curso de água principal através de uma ponte. Nas restantes apesar de a travessia das ribeiras ser obviamente efetuada com recurso a uma ponte, houve o cuidado de ser efetuada a uma cota superior, ora para não coincidir com as vias que ladeiam os dois cursos de água, ora pela orografia a ser ultrapassada. Deste modo, evitou-se o estreitamento da secção transversal das duas ribeiras que já de si é demasiado confinado por via de toda uma estrutura urbana que foi crescendo ao longo do tempo.

CAPÍTULO 5
DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

5.1. DISCUSSÃO

O propósito do presente trabalho de final do ciclo relativo ao mestrado em Engenharia Civil, relacionou-se com a análise da influência de canais de água artificiais em processos de planeamento urbano e ordenamento territorial.

Da análise bibliográfica adquiriram-se conhecimentos ao nível do tipo de cheias, nomeadamente de cheias pluviais ao qual se associa o evento regional de 20 de fevereiro de 2010, objeto de estudo nesta dissertação. Posteriormente, constatou-se que a evolução do crescimento demográfico urbano se assume como um dos vários parâmetros de pressão antropogénica, originários do evento anteriormente mencionado.

Seguidamente, registou-se os tipos de medidas mitigadoras de cheias e inundações já levadas a cabo na ilha da Madeira, subdividindo-as quanto às suas origens propósitos e enunciando respetivos exemplos. De seguida, efetuou-se uma síntese de ocorrências aluvionares na ilha da Madeira, definindo critérios de seleção e identificação de zonas críticas e, por outro lado, mecanismos de prevenção de riscos sejam eles ao nível da proteção civil ou de instrumentos de gestão territorial.

Num segundo ponto, ficaram esclarecidos os processos de ordenamento do território e planeamento urbano, designando os seus princípios, objetivos e fases, expondo o panorama nacional, regional e municipal dos sistemas de gestão e planeamento territoriais.

Subsequentemente, analisou-se a evolução e ocupação do uso de solo na RAM, tornando-se perceptível o aumento do tecido urbano contínuo em detrimento do descontínuo, das áreas ardidas em detrimento da floresta folhosa e o decréscimo dos corpos de água em função de políticas territoriais expansionistas insustentáveis. Relacionou-se ainda a disposição de canais de água artificiais de menor expressividade como é o caso das levadas da Madeira, com o uso agrícola do solo e expôs-se a importância do coberto vegetal a montante da bacia hidrográfica, como medida mitigadora de cheias.

Para finalizar o segundo capítulo, efetuou-se um estudo a cinco ocorrências à escala global além do caso madeirense, relacionando-se através do enquadramento geográfico, fatores climáticos e de pressão antropogénica associada aos fenómenos de cheias em áreas urbanas. Dos cinco casos mencionados, os de Povoação (São Miguel, Açores) e de Atenas (Grécia) são os que mais se aproximam do madeirense quer quanto ao seu clima, geomorfologia e pressão antropogénica verificada através da artificialização da secção transversal dos cursos de água principal, da impermeabilização da área adjacente a estes com fins construtivos e da redução do coberto vegetal a montante das bacias hidrográficas.

Ficaram ainda elucidadas várias medidas tomadas nos trechos com um maior risco de cheias, nomeadamente nas curvas mais fechadas do traçado das ribeiras, através da elevação dos muros de contenção que as confinam, a jusante com a junção do trecho final de ambas as ribeiras aumentando a sua secção transversal, ou ainda dos vários mecanismos de retenção de inertes e de dissipação de energia como é o caso dos açudes construídos a montante do curso de água e da utilização de um modelo em escada para o fundo dos canais.

O terceiro capítulo permitiu efetuar um enquadramento justificativo da área de estudo do caso prático (ribeiras de João Gomes e Santa Luzia) e, descrever sucintamente a metodologia adotada para efetuar a correta caracterização morfométrica das respetivas bacias hidrográficas quanto ao risco de cheia e inundação. Esta caracterização distribuiu-se inicialmente em três níveis, nomeadamente quanto à geometria, ao relevo e ao sistema de drenagem das bacias, sendo ainda considerados o tipo e regime de escoamento e o caudal de ponta de cheia.

Posteriormente, enunciaram-se as metodologias adotadas para as diferentes simulações do escoamento das ribeiras em estudo através de diferentes modelos – *i.e.* modelo experimental, *Softwares HEC-RAS* e folhas de cálculo programadas do *Microsoft Excel* e, *ArcMap*.

A organização e tratamento de dados, bem como, respetiva análise de resultados do quarto capítulo permitiu encerrar a análise prática da dissertação da qual é possível extrair diversas conclusões. De acordo com a análise do *software ArcMap* as bacias hidrográficas em estudo, assumem um formato alongado, em concordância com o índice de Gravelius e o fator de forma calculados, possuindo ainda uma boa densidade de drenagem (>0.5), pelo que se consideram bacias pouco propícias à ocorrência de cheias e inundações. Deste modo torna-se então possível inferir que ocorrências como a de 20 de fevereiro de 2010 se devem maioritariamente a más decisões de planeamento e ordenamento do território.

Através das curvas de regolfo produzidas através do *software HEC-RAS* e folhas de cálculo programadas em *Microsoft Excel*, assim como, pelas resultantes do modelo experimental, corrobora-se a tipologia rápida e turbulenta associada ao escoamento pelo método empírico, através do aumento da velocidade e dos números de Froude e Reynolds de montante para jusante, demonstrando sempre valores superiores a 1 e 5000 respetivamente. Estes dados permitem concluir uma vez mais que o escoamento nas ribeiras é efetuado de forma adequada devendo possíveis eventos de cheias estar associados apenas à má gestão da rede hidrográfica e ao incorreto planeamento e ordenamento do território.

5.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em consideração a grande abrangência da temática desta dissertação e a morosidade associada à mesma, foi possível atingir os objetivos previamente enunciados de forma satisfatória, complementando o conhecimento adquirido ao longo de todo o curso com informação científica e análise experimental. Uma vez mais se expõem os objetivos fundamentais da tese, dando resposta a cada um:

1. Analisar e caraterizar fenómenos de cheias em áreas urbanas à escala global, identificando caraterísticas idênticas e diferenciadoras do caso de estudo local, ao mesmo tempo avaliando os fatores e respetivo impacto da pressão antropogénica;

Na sua generalidade, a seleção destes casos de estudo com condições climáticas e orográficas semelhantes às da ilha da Madeira permitiu caraterizar os eventos de cheias em canais de água artificiais de áreas urbanas, originados por fenómenos intensos de precipitação com curta duração. A importância da perceção e capacidade de resposta da proteção civil e posteriormente da população face a estes eventos continua a necessitar ser alvo de um estudo aprofundado, de maneira a enfatizar a necessidade de constante adaptação e inovação de medidas preventivas e mitigadoras do risco de cheia.

Tornou-se ainda possível identificar medidas mitigadoras de cheias já postas em prática na RAM e outras a ter em consideração no futuro cuja eficiência já está comprovada, como são os casos da construção e utilização de barragens, bacias de detenção ou ainda a construção de diques laterais, dos quais se podem inclusivamente tirar proveitos de carácter energético. A proteção do coberto vegetal a montante, um investimento na informação e prevenção da população e a instauração de políticas de planeamento urbano e ordenamento territorial que aliviem a pressão antropogénica, constituem outras ilações a retirar dos casos de estudo analisados.

2. Aplicar um modelo à escala de simulação hidrodinâmica, considerando os escoamentos variáveis em superfície livre afetos à ocorrência de cheias, na simulação entre as condições variáveis das afluências, das condições hidromorfológicas do canal e da instalação e operação dos sistemas e regulação dos escoamentos;

A utilização de ferramentas como folhas de cálculo programadas para a determinação de parâmetros de escoamento e das curvas de regolfo, baseadas em outras já existentes da unidade curricular de Obras Marítimas e Fluviais, encontra-se limitada a trechos retos de canais com secção transversal retangular ou trapezoidal, não beneficiando do enorme potencial do *software HEC-RAS* que permite considerar uma vasta panóplia de parâmetros caracterizadores da bacia hidrográfica e respetivo escoamento.

Ao nível da utilização do canal multifunções para o modelo experimental, salienta-se a capacidade de simular o escoamento consoante a inclinação, características de rugosidade e vegetação presentes no caso real e, a possibilidade de acompanhar em tempo real (visualmente) o comportamento do escoamento ao longo de todo o canal, ficando por outro lado sujeito aos erros sistemáticos e aleatórios.

Atendendo aos resultados produzidos em todos os modelos e comparando com os resultados expectáveis para os parâmetros calculados, considera-se que a caracterização do escoamento foi um sucesso, considerando variáveis associadas ao escoamento, as condições hidromorfológicas do canal em estudo e a instalação e operação de sistemas de regulação.

3. Avaliar a adequabilidade da predisposição espacial dos canais artificiais em estudo, relacionando-o com instrumentos de gestão em vigor afetos ao planeamento urbano e ordenamento territorial;

A predisposição espacial dos canais de água artificiais condiciona inegavelmente a gestão do território por via dos riscos hidrológicos associados, assim como, das possíveis consequências ambientais e infraestruturais do tipo de uso e ocupação de solo. Ao nível das levadas, a preocupação acaba por ser minorada devido a não apresentação de riscos imediatos para com as vidas humanas, ficando a sua disposição associada à cultura agrícola e transporte de água entre municípios.

Por outro lado, a disposição das ribeiras acaba por se relacionar com a necessidade de drenar maiores volumes de água e, por isso mesmo deve ser efetuada recorrendo aos vários instrumentos de gestão territorial, impedindo o acréscimo de pressões antropogénicas e ao mesmo tempo agindo de forma preventiva protegendo infraestruturas existentes e mitigando o risco de cheias particularmente incisivos no trecho mais a jusante de um curso de água. Atendendo a tudo isto, considera-se aceitável a predisposição atual de ambas as ribeiras, tendo, porém, a certeza de que haverá sempre maneiras de otimizar todo o processo.

4. Analisar a viabilidade da aplicação de modelos de gestão territorial, nomeadamente das bacias hidrográficas, bem como, de medidas mitigadoras do risco de cheias em canais artificiais, verificados em outras ocorrências a nível global.

A gestão do território e a sua relação com as bacias hidrográficas, deve ser efetuada de forma a mitigar o risco de cheias. Através da análise a outras ocorrências a nível global, tornou-se possível identificar modelos de gestão territorial assim como, medidas preventivas e mitigadoras do risco de cheias, sendo disso exemplo: a elevação da cota de estradas com maior risco de cheias em Manila (Filipinas); a delimitação de um plano de intervenção para a minimização dos riscos de cheia através de obras de correção torrencial e da gestão do uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas na Ribeira Brava (São Nicolau, Cabo Verde); a utilização de descarregadores hidráulicos para dissipação de energia nos escoamentos, construção de açudes a montante dos canais de água artificiais e de pequenas barragens ou bacias de retenção em Povoação (Açores, Portugal).

Ao nível da região continuam a faltar pôr em prática estratégias de ordenamento territorial, algumas delas já aprovadas em assembleia municipal, sendo disso exemplo o caso do Plano de Ação para a Mobilidade Urbana Sustentável (PAMUS) cujo objetivo seria a interdição ou no mínimo a restrição de veículos a circular no centro histórico do Funchal, fomentando desta forma a utilização de transportes públicos em detrimento de veículos pessoais. A ser colocado em prática, o PAMUS permitiria a título

de exemplo o aumento da secção transversal das ribeiras e conseqüentemente do caudal escoado, uma vez que com a redução da quantidade de veículos a circular na zona histórica, deixaria de ser necessária a utilização de duas faixas de rodagem com quatro vias de trânsito, passando a circulação a ser efetuada por apenas duas vias de trânsito.

Estendendo a pesquisa a outros casos de estudo que não os constantes nesta dissertação (nomeadamente a nível nacional), torna-se possível verificar a existência de outras medidas mitigadoras do risco de cheias e inundações estruturais e não estruturais passíveis de serem implementadas na região, sendo seguidamente enunciados alguns exemplos:

Medidas Estruturais:

Desassoreamento: Medida de remoção dos sedimentos acumulados no fundo da ribeira

Relocalização de edificado - O edificado que se encontre dentro dos limites do Domínio Público Hídrico, das zonas adjacentes, sobre as margens ou sobre o leito das ribeiras e seus afluentes, deve ser alvo de reflexão. Mediante as características e grau de ameaça que representa, este edificado deve ser alvo de proposta de realocação.

Criação de sistema de alerta Maré-Precipitação - O sistema proposto deve relacionar, de modo informático, em tempo real, os valores de precipitação com as marés. Assim, sempre que se verifique um valor de precipitação elevado (igual ou superior aos valores que desencadearam as últimas cheias de 2010), combinado com o período de preia-mar, deverá ser emitido um alerta aos meios de Proteção Civil.

Aproximação dos sistemas de alerta à população - O sistema proposto tem em conta a emissão de alertas e comunicados à população através dos dispositivos de comunicação móvel. Assim, deve ser disponibilizada, de forma gratuita, uma aplicação para os sistemas *iPhone* e *Android*, que emita alertas e comunicados, em tempo real, a todos os utilizadores da mesma.

Medidas Não Estruturais:

Seguros de cheia - Estratégia que determina a obrigatoriedade de realização de seguros de cheia, por parte de todos os proprietários que possuam bens dentro das áreas delimitadas como zonas adjacentes às ribeiras e do domínio hídrico público.

Permuta de terrenos - A permuta de terrenos entre o município e os seus proprietários (entidades públicas ou particulares), deve ser realizada e promovida, sempre que necessário, em prol dos objetivos da mitigação de cheias.

Monitorização regular dos elementos patrimoniais e sítios - Os elementos patrimoniais e sítios arqueológicos devem ser alvos de monitorização regular, e avaliação específica após trabalhos ou episódios de cheia, a fim de estabelecer uma proposta para os elementos afetados sempre que se justifique.

5.3. TRABALHOS A REALIZAR

Na impossibilidade de explorar por completo a temática apresentada nesta dissertação e de prolongar o conhecimento adquirido a outras diretamente vinculadas, o presente subcapítulo expõe sugestões para trabalhos futuros inerentes à problemática do fenómeno de cheias, do planeamento e ordenamento do território e da caracterização de bacias hidrográficas, nomeadamente dos seus principais canais de água artificiais.

Capítulo V

- I. Análise da influência do nível da maré no escoamento em canais de água artificiais, relação direta com o risco de cheias a jusante;
- II. Análise da influência da vegetação e tipo de solo no escoamento em canais artificiais;
- III. Caracterizar a influência de canais de água artificiais em processos de planejamento e ordenamento do território. Adaptação a bacias hidrográficas rurais;
- IV. Otimização das potencialidades do programa *HEC-RAS*, de folhas de cálculo programadas e da utilização de *Softwares SIG* na análise de escoamentos em bacias hidrográficas.
- V. Análise da velocidade de escoamentos e respetiva influência nos processos de assoreamento e desassoreamento de canais de água artificiais;
- VI. Influência na degradação dos canais de água artificiais em função da qualidade da água descarregada pelos seus afluentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referências Bibliográficas

Bibliografia

- Araújo, I. M. G. (2013). *Estratégias de mitigação do risco de cheia aplicadas ao estudo de caso da ribeira da Laje no concelho de Oeiras*. Relatório de Estágio em Arquitetura Paisagista. Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto. 86 pp.
- Bartholomé, E. e Belward, A. S. (2007). GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data. *International Journal of Remote Sensing*. 26: 1959-1977. doi 10.1080/01431160412331291297
- Caldeira, J. (2008). As Grandes Opções da LBOTU e a Agenda necessária à constituição e consolidação do Sistema de Gestão Territorial. *Actas do Seminário Os Dez Anos da Lei de Bases da Política de Ordenamento do Território e Urbanismo -Génese e evolução do sistema de gestão territorial, 1998-2008*. AdUrbem, Lisboa.
- CMF – Câmara Municipal do Funchal. (2014). *Plano Municipal de Emergência e Proteção Civil*. Departamento de Proteção Civil e Bombeiros, Funchal.
- Camacho, R. (2015). *Caracterização, Simulação (à escala) e Modelação do Escoamento em Canais Artificiais. Aplicação a Caso de Estudo*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia - Universidade da Madeira, Madeira. 132 pp.
- Camacho, R., Lousada, S. e Castanho, R. (2018). *Caracterização do escoamento em canais artificiais em áreas urbanas em situação de cheia*. Poster apresentado no I Congresso Internacional de Desenvolvimento Sustentável e Ordenamento do Território. Universidade da Madeira, Funchal, Madeira.
- Camacho, R., Lousada, S. e Castanho, R. (2018). *Escoamento em Canais Artificiais. Áreas Urbanas em Situação de Cheia, Aplicação à Zona Baixa do Funchal*. 1ª Edição, Novas Edições Académicas, Maurícias.
- Camacho, R., Lousada, S. e Castanho, R. (2018). *Flood Events in Urban Territories and the Modelling Process. A Practical Approach: The Urban Area of Funchal*. Livro de Resumos do I Congresso Internacional de Desenvolvimento Sustentável e Ordenamento do Território. Universidade da Madeira, Funchal, Madeira. 1ª Edição. p.199
- Camacho, R., Lousada, S. e Castanho, R. (2018). *Hydraulic studies and their influence for regional urban planning: a practical approach to Funchal's rivers*. Paper presented at the 25th APDR Congress, Lisbon, Portugal
- Camacho, R., Lousada, S. e Castanho, R. (2018). *1001 modelling torrential rain flows in urban territories: floods. The case study of madeira island*. Paper presented at the 25th APDR Congress, Lisbon, Portugal.
- Carvalho, J. e Oliveira, F. P. (2003). *Perequação, Taxas e Cedências. Administração Urbanística Portuguesa*. Coimbra, Almedina.
- Castanho, R., Lousada, S., Loures, L., Gómez, J., Cabezas, J., Pozo, L., Aliseda, J. e Escórcio, P. (2018). *A Multi-Variated Analysis of Sustainability Indicators on Peripheral Territories. A Case Study Approach: Madeira Island*. Livro de Resumos do I Congresso Internacional de Desenvolvimento Sustentável e Ordenamento do Território. Universidade da Madeira, Funchal, Madeira. 1ª Edição. p.187.

- Castanho, R., Lousada, S., Gómez, J. M.N., Escorcio, P., Cabezas, J., Pozo-Fernández, L. e Loures, L. (2019). Dynamics of the Land Use Changes and the Associated Barriers and Opportunities for Sustainable Development on Peripheral and Insular Territories: The Madeira Island (Portugal). *Intechopen*. doi: 10.5772/intechopen.80827.
- Castro, J. (2011). *Caraterização hidráulica, hidrológica e de transporte sólido do evento de 20 de fevereiro de 2010 na Ribeira de João Gomes, Ilha da Madeira*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia - Universidade da Madeira, Funchal.
- Coelho, A. C., Valente, S. M., Pinho, L. D., Carvalho, T. M., Ferreira, A. D. e Figueiredo, E. M. (s.d.). *A Perceção Social das Alterações Climáticas e do Risco de Cheia*. 7º Congresso da Água. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- Caetano, C. (2014). *Avaliação do risco de aluviões das ribeiras da ilha da Madeira*. Dissertação de mestrado em Engenharia do Ambiente. Instituto Técnico de Lisboa, Lisboa.
- Correia, F. A. (2008). *Manual de Direito do Urbanismo*. Coimbra, Almedina.
- Diakakis, M., Deligiannakis, G., Pallikarakis, A. e Skordoulis, M. (2016). Factors controlling the spatial distribution of flash flooding in the complex environment of a metropolitan urban area. The case of Athens 2013 flash flood event. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. p.174.
- Diakakis, M., Priskos, G. e Skordoulis, M. (2018). Public perception of flood risk in flash flood prone areas of Eastern Mediterranean: The case of Attica Region in Greece. *International Journal of Disaster Risk Reduction*: 28, 404-413.
- DROTA – Direção Regional do Ordenamento do Território e Ambiente. (2016). *Memória Descritiva dos estudos de elaboração para as zonas críticas das cartas de zonas inundáveis e das cartas de risco de inundações, Volume I – Memória Descritiva*, elaborado por Municipia para a Secretaria Regional do Ambiente e dos Recursos Naturais, Funchal.
- Fadigas, L. (2015). *Urbanismo e Território: As Políticas Públicas*. Lisboa: Edições Silabo. ISBN: 9789726187974
- Fadigas, L. (2017). *Território e Poder: O uso, as políticas e ordenamento*. Lisboa: Manuel Robalo.
- Fidelis, T. (2001). *Planeamento territorial e Ambiente*. 1ª edição, Principia editora. Lisboa.
- Gaspar, T. C. F. (2013). *Modelos de apoio à decisão para gestão de riscos de cheias em bacias hidrográficas urbanizadas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Instituto Técnico de Lisboa, Lisboa. 106 pp.
- Góis, L. (2014). *As inundações no Funchal: contributos para o Ordenamento do Território*. Dissertação de mestrado em Geografia e Planeamento Regional. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Gonçalves, J. A. V. (2016). *Caracterização do Coeficiente de Rugosidade e seu Efeito no Escoamento em Canais Naturais Simulação e modelação (à escala) no laboratório de hidráulica Aplicação às ribeiras do Funchal*. Dissertação de Mestrado e Engenharia Civil. Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia - Universidade da Madeira, Funchal. 168 pp.

Referências Bibliográficas

- HR Wallingford., Flood Hazard Research Centre e Risk & Policy Analysts. (2006). *Flood Risks to People Phase 2, The Flood Risk to People Methodology*. Environment Agency/Defra R&D Technical Report FD2321/TR1, March 2006 - Department for Environment, Food and Rural Affairs. London.
- Isidro, M. (2014). *Assessment of geological risk in the Canary Islands: the GeoMEP project*. nº1. Geological and Mining Institute of Spain.
- Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. (2011). Parecer - *Intempérie de 20 de Fevereiro /2010. Intervenção no Porto do Funchal a Leste do Cais da Cidade. Intervenções nos troços terminais das Ribeiras de Santa Luzia e João Gomes – Projecto de Intervenção nas Ribeiras de Santa Luzia e de João Gomes*. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa.
- Instituto de Meteorologia de Portugal. (1971-200). *Atlas Climático dos Arquipélagos das Canárias, da Madeira e dos Açores*. NIPO: 281-12-006-X
- Julião, R.P., Nery, F., Ribeiro, J. L., Branco, M.C. e 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 Proteção Civil. Lisboa. ISBN: 978-989-96121-4-3
- Lagmay, A. M., Mendonza, J., Cipriano, F., Delmendo, P. A., Lacsamana, M. N., Moises, M. A., Pellejera, N., Punay, K. N., Sabio, G., Santos, L., Serrano, J., Taniza, H. J. e Tingin, N. E. (2017). Street floods in Metro Manila and possible solutions. *Journal of environmental sciences*. p.40.
- Lencastre, A. e Franco, F. M. (1992). *Lições de Hidrologia*. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Lencastre, A. e Franco, F. M. (2006). *Lições de Hidrologia*. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Lima, I. P. (2012). *Inundações Urbanas: Desafios ao Ordenamento do Território. Caso da cidade da Praia (Cabo Verde)*. Tese de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território. Instituto de Geografia e de Ordenamento do Território - Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Lopes, R. (2001). *Competitividade, Inovação e Territórios*. CELTA Editora. Oeiras.
- Lousada, S., Miranda, D. e Camacho, R. (2018). *Escoamento em Canais Artificiais - Ribeiras do Funchal. Caracterização do Coeficiente de Rugosidade, Aplicação às Ribeiras do Funchal*. 1ª Edição, Novas Edições Académicas, Maurícias.
- Martins, F. J. P. (2000). *Dimensionamento hidrológico e hidráulico de passagens inferiores rodoviárias para águas pluviais*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Especialidade de Hidráulica e Recursos Hídricos. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade de Coimbra, Coimbra. 310 pp.
- Marques, J. M. B. (2014). *Caracterização hidráulica, hidrológica e do transporte sólido das principais linhas de água (ribeiras) do concelho de Câmara de Lobos - Ilha da Madeira*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil na Área de Especialização de Hidráulica. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa. 126 pp.
- Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. (2006). *Relatório: Programa Nacional de Políticas de Ordenamento do Território*. Lisboa.

- Miranda, D. e Lousada, S. (2018). *Characterization of the Roughness Coefficient and their Effects on the Flow in Artificial Channels. Simulation and Modeling at the University of Madeira - Hydraulic Laboratory. A Practical Approach: Funchal's Streams*. Livro de Resumos do I Congresso Internacional de Desenvolvimento Sustentável e Ordenamento do Território. Universidade da Madeira, Funchal, Madeira. 1ª Edição. p.193.
- Monteiro, S. e Freire, G. S. S. (2017). Perceção dos Riscos de cheias e inundações na Cidade da Praia (Cabo Verde). (Versão Eletrónica). *Revista Rede*. 11: 117-129.
- Moreira, P. R. C. (2016). *Medidas de Reabilitação Urbana em áreas de risco de cheia caso de Estudo de Tomar*. Projeto de mestrado em Reabilitação Urbana. Instituto Politécnico de Tomar - Escola Superior de Tecnologias de Tomar, Santarém. 145 pp.
- Moura, A., Lousada, S e Castanho, R. (2018). *Canais artificiais e a sua influência em processos de Ordenamento do Território e Planeamento Urbano*. Uma breve análise. Resumo para II Congresso Luso-Extremadurense de Ciências e Tecnologia, Badajoz.
- Moura, A., Lousada, S e Castanho, R. (2019). *Influência do escoamento em canais artificiais nos processos de Planeamento Urbano e Ordenamento Territorial*. Resumo para o congresso 26th APDR CONGRESS 2019, Aveiro.
- Neves, M. J. (2017). *Prevenção e Gestão de Riscos - O exemplo do risco de aluviões na Ilha da Madeira*. Evento Anual 2017. Coimbra.
- Néry, F. (2007). *Nomenclatura CORINE Land Cover: versão portuguesa comentada*. Instituto Geográfico Português. Lisboa.
- Oliveira, P. (2010). “O sistema de gestão territorial”, in *Atas do Encontro Anual da AD URBEM*. 12 de dezembro de 2008, Lisboa, p. 73-81.
- 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 em Riscos, Cidades e Ordenamento do Território. Faculdade de Letras - Universidade do Porto, Porto.
- Pereira, M. (1997). *Os planos de Ordenamento do território: complementaridades e conflitos, Sociedade e Território*. Porto. 24: 73-78.
- Policarpo, N. (2012). *Suscetibilidade aos Movimentos de Vertente e Vulnerabilidade no Concelho do Funchal*. Relatório Final de Estágio de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território - Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Portelas, N., Domingues, A. e Cabral J. (2011). *Políticas Urbanas II. Transformações, Regulamentação e Projetos*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian.
- Portela, M. M., Silva, A. T. e Melim, C. P. (2000). Efeito da ocupação urbana nos canais de ponta de cheias naturais em pequenas bacias hidrográficas. *5º Congresso da Água - A água e o desenvolvimento sustentável: Desafios para o novo século*. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- Quintal, R. (1999). Aluviões da Madeira. Século XIX e XX. *Territorium* 6. 31-48.

Referências Bibliográficas

- Rebello, F. e Raposo, A. (1988). *As inundações de 2 de setembro de 1986 na Povoação e no Faial da Terra (S. Miguel, Açores) – Cadernos de Geografia*. Instituto de Estudos Geográficos, Coimbra.
- Rebello, F. (2003). *Riscos naturais e ação antrópica: estudos e reflexões*. (2ª ed.). Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Reis, J. J. S. (2015). *Estruturas de Correção Torrencial nas Ribeiras do Funchal – Açudes. Inventariação e análise comparativa*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia - Universidade da Madeira, Funchal. 234 pp.
- Reis, J. e Lousada, S. (2018). *Torrential Correction Structures in the Streams of Funchal - Dams. Inventory and Comparative Analysis*. Livro de Resumos do I Congresso Internacional de Desenvolvimento Sustentável e Ordenamento do Território. Universidade da Madeira, Funchal, Madeira. 1ª Edição. p.22.
- Rocha, J. S. (s.d.). *O risco das inundações e a sua gestão. Uma visão nacional e uma visão europeia*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- Rodrigues, S. P. C. (2017). *Aplicação de Metodologias SIG à Avaliação da Perigosidade de Inundação Fluvial*. Relatório de Estágio - Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Planeamento e Gestão do Território. Escola Superior de Tecnologia de Tomar e Escola Superior Agrária de Castelo Branco - Instituto Politécnico de Tomar, Santarém. 156 pp.
- SRA/DROTA (2017). *Plano Regional de Gestão dos Riscos de Inundações da Região Autónoma da Madeira*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Saraiva, M. e Carvalho, L. (2009). *Rios e Cidades: Oportunidades para a sustentabilidade urbana. Risco de Inundação. Metodologia para a formulação do indicador*, Riprocity nº4. Workshop e Conferência Final. Lisboa.
- Shahidian, S., Serralheiro, R. P., Serrano, J. e Sousa, A. (2014). *Cabo Verde - Agronomia e Recursos Naturais: O desafio dos recursos hídricos em Cabo Verde*. ISA- PRESS, pp. 217 - 236.
- Sato, T. e Nakasu, T. (2009). *2009 Typhoon Ondoy Flood Disasters in Metro Manila*, nº45 p.63
- Sá, L. e Vicêncio, H. (2011). Risco de Inundações - Uma Metodologia para a sua Cartografia. *Territorium 18*. 227-230.
- Sá, L. e Vicêncio, H. (2019). Risco de inundações: uma metodologia para a cartografia. *Territorium 18*. Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança. doi: 10.14195/1647-7723_18_20
- Silva, F. (1940). *Elucidário Madeirense*, Secretaria Regional da Educação e Cultura (SREC), 2ª Edição. Funchal.
- Sepúlveda, S. (2011). *Avaliação da precipitação extrema na Ilha da Madeira*. Dissertação em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Teixeira, H. M. M. (2010). *Caracterização Hidráulica, Hidrológica e de Transporte Sólido do Evento de 20 de Fevereiro de 2010 na Ribeira de São João – Ilha da Madeira*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia - Universidade da Madeira, Funchal. 175 pp.
- Yin, R. (1994). Case study research e Design and methods. *Sage Publications*, London.

Documentos eletrônicos

- Ackoff, R. (1973). Science in the Systems Age: Beyond IE, OR, and MS. *Operations Research*, 21(3), 661-671. Acedido em: 23 de novembro de 2018, em: <http://www.jstor.org/stable/169376>
- Associação Humanitária de Bombeiros Voluntários Madeirenses. (n.d.). *Aluviões na História*. Acedido em: 28 de novembro de 2018, em: http://www.ahbvm.pt/aluvioes_na_historia.htm
- Anónimo. (2009, 18 de setembro). São Nicolau: Trombas d'água matam três e deixam prejuízos por calcular. *Sapo Notícias*. Acedido em: 11 de dezembro de 2018, em: <https://noticias.sapo.cv/inforpress-30-anos/artigos/sao-nicolau-trombas-dagua-matam-tres-e-deixam-prejuizos-por-calcular>
- Anónimo. (2010, 3 de fevereiro). British holidaymakers are washed out as downpours and flooding hit Canary Islands. *Mail Online*. Acedido em: 10 de dezembro de 2018, em: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-1247920/Tenerife-floods-Canary-Islands-hit-downpours.html>
- Anónimo. (2019, 19 de fevereiro). Nós, cidadãos! Propõe memorial pelo 20 de fevereiro de 2010. *JM Madeira*. Acedido em: 2 de dezembro de 2018, em: https://www.jm-madeira.pt/regiao/ver/54619/NOS_Cidadaos_propoe_Memorial_pelo_20_de_fevereiro_de_2010
- Anónimo. (2012, 20 de fevereiro). Nível do rio Acre continua subindo e aumenta o número de desabrigados. *G1Brasil*. Disponível em: <http://g1.globo.com/brasil/noticia/2012/02/nivel-do-rio-acre-continua-subindo-e-aumenta-o-numero-de-desabrigados.html>
- Álvarez, D. G e Olmedo, M. T. C. (2017). Changes in the methodology used in the production of the Spanish CORINE: Uncertainty analysis of the new maps. *International journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 63: 55-67 Acedido em: 5 de junho de 2019, em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030324341730140X>
- Balula, L. (2011). *Planeamento urbano, espaço público e criatividade. Estudos de caso: Lisboa, Barcelona, São Paulo*. vol. 13, n. 25, pp. 93-122. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/312234741_Planeamento_urbano_espacopublico_e_criatividade_Estudos_de_caso_Lisboa_Barcelona_Sao_Paulo
- Castanho, R. A., Cabezas, J., Loures, L., e Fernandez, L., (2017). *Evolution of urban planning process in the iberian peninsula and his footprints in cityscape. Future challenges*. vol. VIII, n. 2. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/321371532_evolution_of_urban_planning_process_in_the_iberian_peninsula_and_his_footprints_in_cityscape_future_challenges
- Castanho, R. A., Gómez, J. M. N., e Pysz, J. K. (2019). *Assessing Land Use Changes in Polish Territories: Patterns, Directions and Socioeconomic Impacts on Territorial Management*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/331522594_Assessing_Land_Use_Changes_in_Polish_Territories_Patterns_Directions_and_Socioeconomic_Impacts_on_Territorial_Management
- Correia, N. (2012, 25 de janeiro). As Torrentes. *Ciências da Vida e da Terra*. (mensagem de blog). Acedido em: 14 de dezembro de 2018, em: <http://cienciasdavidadaterra25.blogspot.com/2012/01/as-torrentes.html>

Referências Bibliográficas

- Correia, T. P. e Kristensen, L. (2013). Landscape and Urban Planning: Linking research to practice: The landscape as the basis for integrating social and ecological perspectives of the rural. *ScienceDirect*. 120: 248-256. Acedido em: 13 de junho de 2019, em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204613001333>
- Davies, R. (2014, 20 de outubro). Deadly Flash Floods in Tenerife. *FloodList*. Acedido em: 10 de dezembro de 2018, em: <http://floodlist.com/europe/deadly-flash-floods-tenerife>
- Eumetsat. (2014). *Violent, torrential rainfall caused severe flash flooding in Tenerife in mid-October*. Acedido em: 4 de janeiro de 2019, em: https://www.eumetsat.int/website/home/Images/ImageLibrary/DAT_2358925.html?fbclid=IwAR149VIFvsDuybqLp3YanggXl_oeyYozYUWRBIBBE9qj4ONkUO1MIUfS2M
- Fénix do Atlântico. (2013, 28 de junho). Património Cultural da "Madeira nova". Disponível em: <http://fenixdoatlantico.blogspot.com/2013/06/patrimonio-cultural-da-madeira-novak-01.html>
- Freitas, R. (2018, 13 de novembro). Tecnovia ganha obra de regularização da Ribeira de Santa Luzia no valor de 11,4 milhões de euros. *Diário de Notícias*. Disponível: <https://www.dnoticias.pt/madeira/tecnovia-ganha-obra-de-regularizacao-da-ribeira-de-santa-luzia-no-valor-de-11-4-milhoes-de-euros-XL3962743>
- Gallego, J. A. G., Aliseda, J. M. e Jaraíz-Cabaniillas, F. (2009). *Definición de las aglomeraciones urbanas de la Península Ibérica a partir de potenciales de población en 30 minutos*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/259998081_Definicion_de_las_aglomeraciones_urbanas_de_la_Peninsula_Iberica_a_partir_de_potenciales_de_poblacion_en_30_minutos
- Governo dos Açores. (s.d.). *Povoação*. Acedido em: 15 de dezembro de 2018, em: <http://www.azores.gov.pt/Gra/srrncets/conteudos/livres/Povoa%C3%A7%C3%A3o.htm>
- Lima, W. P. (s.d.). *Análise Física da Bacia Hidrográfica*. Acedido em: 13 de maio de 2019, em: http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula%201/Caracteristicas%20fisicas%20da%20bacia_foto%20Piracicamirim.pdf
- Lousada, S. e Camacho R. (2018). *Hidrologia, Recursos Hídricos e Ambiente - Aulas Teóricas*. Acedido em 20 de Março de 2019, no Web site do repositório científico digital da Universidade da Madeira: <https://digituma.uma.pt/handle/10400.13/2132>
- Lousada, S. e Camacho R. (2018). *Hidrologia, Recursos Hídricos e Ambiente - Aulas Práticas*. Acedido em 20 de Março de 2019, no Web site do repositório científico digital da Universidade da Madeira: <https://digituma.uma.pt/handle/10400.13/2131>
- Lousada, S., Gouveia, J. e Castanho, R. (2019). *Economic analysis of floods: a brief approach. The case study of madeira island*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/334591693_economic_analysis_of_floods_a_brief_approach_the_case_study_of_madeira_island
- Nações Unidas, Departamento de Assuntos Sociais e Económicos, Divisão Populacional (2018). *Indicadores de Urbanização Mundiais: A revisão de 2018*, Edição online. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Download/>
- Minga, F. (2009, 22 de setembro). *Chuva em sao nicolau*. (Arquivo de vídeo). Acedido em: 11 de dezembro de 2018, em: <https://www.youtube.com/watch?v=nysEtKdNC1c>
- Miranda, D., Camacho, R., Lousada, S. e Castanho, R. (2018). *Hydraulic studies and their influence for regional urban planning: a practical approach to Fynchal's rivers*. *Revista Brasileira de*

- Planejamento e Desenvolvimento*. Curitiba, v. 7, n. 1, p. 145-164, jan./abr. 2018. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd>.
- Monteiro, S. e Cunha, L. (2011). *Cheias rápidas em Cabo Verde. Um breve apontamento acerca das tempestades de Setembro de 2009 na Ilha de S. Nicolau*. Acedido em: 7 de janeiro de 2019, no Web site da: Universidade de Coimbra, Departamento de Geografia e Turismo: <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/20526?mode=full>
- Oliveira, R., Almeida, A. B., Sousa, J., Pereira, M. J., Portela, M. M., Coutinho, M. A., Ferreira, R. e Lopes, S. (2011). *A avaliação do risco de aluviões na ilha da madeira*, p. 6-9. Acedido em: 23 de novembro de 2018, em: <https://poseur.portugal2020.pt/media/4020/estudo-de-risco-de-aluvi%C3%B5es-da-madeira.pdf>
- Oliveira, V. (2018). *Planeamento urbano: investigação, ensino e prática profissional*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/330666832_Planeamento_urbano_investigacao_ensino_e_pratica_profissional
- Prada, S. (2015, 26 de março). Universidade da Madeira: *IV. EVAPOTRANSPIRAÇÃO*. Acedido em: 14 de janeiro de 2019, em: http://www3.uma.pt/sprada/documentos/aulas/Hidrologia_Recursos_Hidricos/teorica/HRH_T4_Evp.pdf
- Pro, K. (2015, 5 de maio). *Chuvas 2009 - São Nicolau, Ribeira Brava*. (Arquivo de vídeo). Acedido em: 11 de dezembro de 2018, em: <https://www.youtube.com/watch?v=NRiMXmX0s3I>
- Rodas, J. M. C., Castanho, R. A., Cabezas, J. e Gómez, J. M. N. (2018). *Análisis de la influencia del desarrollo del planeamiento urbanístico en la valoración sostenible del suelo*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/328066818_analisis_de_la_influencia_deldesarrollo_de_l_planeamiento_urbanistico_en_la_valoracion_sostenible_del_suelo
- Ricardo, J. (2017, 2 de fevereiro). O mar voltou a chegar à marginal poveira. *Onda Viva*. Disponível em: <https://radioondaviva.com/noticias/10858-o-mar-voltou-a-chegar-a-marginal>
- Rascão, P. (2018, 20 de fevereiro). Recuperação da Madeira após temporal de 2010 custou 700 milhões. *Sapo24*. Acedido em: 12 de dezembro de 2018, em: <https://24.sapo.pt/atualidade/artigos/recuperacao-da-madeira-apos-temporal-de-2010-custou-700-milhoes>
- Räisänen, O. (2008, 19 de maio). Mapa topográfico de Cabo Verde. *Wikipédia, Enciclopédia livre*. Acedido em: 23 de dezembro de 2018, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Cabo_Verde#/media/File:Topographic_map_of_Cape_Verde-en.svg
- Rey, B. (2009, 27 de setembro). Fortes cheias nas Filipinas fazem 75 mortos e 280 mil desalojados. *Jornal de Notícias*. Acedido em: 11 de dezembro de 2018, em: <https://www.jn.pt/mundo/interior/fortes-cheias-nas-filipinas-fazem-75-mortos-e-280-mil-desalojados-1373989.html>
- Santos, A., Galvincio, J. e Moura, M. S. B. (2013). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Intituto de Geografía: Mudanças climáticas e o escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Goiana - Pernambuco - Brasil*, 81, 51-55. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0188461113727687#bib0105> .

Referências Bibliográficas

- Santos, A. M. dos., Galvêncio, J. D. e Moura, M. S. B. (2010). *Os recursos hídricos e as mudanças climáticas: discursos, impactos e conflitos*. 51(1), 59-68. Recuperado de: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/24490/1/Magna-2010.pdf>
- Serviço Regional de Proteção Civil, IP-RAM. (s.d.). *Plano Regional de Emergência de Proteção Civil da Região Autónoma da Madeira*. Disponível em: <https://www.procivmadeira.pt/pt/planeamento-emergencia/plano-regional-de-emergencia-prepcram.html>
- Silva, J. M. (2010, 8 de março). A Aluvião de 20 de Fevereiro de 2010: algumas reflexões. *Madeira Gentes e Lugares*. (Web log post). Acedido em: 2 de dezembro de 2018, em: <http://madeira-gentes-lugares.blogspot.com/2011/02/aluviao-de-20-de-fevereiro-de-2010.html>
- Silva, R. (2016, 18 de setembro). 20 fotografias das obras nas ribeiras do Funchal. *Diário de Notícias*. Acedido em 23 de novembro de 2018, em: [https://www.dnoticias.pt/multimedia/fotografias/611547-20-fotografias-das-obras-nas-ribeiras-do-funchal-HNDN611547#ribeira do funchal](https://www.dnoticias.pt/multimedia/fotografias/611547-20-fotografias-das-obras-nas-ribeiras-do-funchal-HNDN611547#ribeira%20do%20funchal)
- Universidade dos Açores - Departamento de Biologia. (2003). *Relatório do Estado do Ordenamento do Território Açores 2003*. Acedido em: 12 de fevereiro de 2019, em: http://ot.azores.gov.pt/store/inc/docs_pota/58/REOTA_2003.pdf
- Weather Spark. (s.d.). *Condições meteorológicas médias de Tarrafal de São Nicolau*. Acedido em: 22 de dezembro de 2018, em: <https://pt.weatherspark.com/y/31473/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Tarrafal-de-S%C3%A3o-Nicolau-Cabo-Verde-durante-o-ano>
- Weather Spark. (s.d.). *Condições meteorológicas médias de Atenas, Grécia*. Acedido em: 22 de dezembro de 2018, em: <https://pt.weatherspark.com/y/89228/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Atenas-Gr%C3%A9cia-durante-o-ano>
- Weather Spark. (s.d.). *Condições meteorológicas médias de Santa Cruz de Tenerife, Espanha*. Acedido em: 22 de dezembro de 2018, em: <https://pt.weatherspark.com/y/31604/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Santa-Cruz-de-Tenerife-Espanha-durante-o-ano>
- Weather Spark. (s.d.). *Condições meteorológicas médias de Manila, Filipinas*. Acedido em: 22 de dezembro de 2018, em: <https://pt.weatherspark.com/y/134588/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Manila-Filipinas-durante-o-ano>
- Weather Spark. (s.d.). *Condições meteorológicas médias de Cabo Verde, Ribeira Brava*. Acedido em: 22 de dezembro de 2018, em: <https://pt.weatherspark.com/y/31472/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Vila-da-Ribeira-Brava-Cabo-Verde-durante-o-ano>
- Wikimedia Commons. (2007). *Madeira On Earth*. Acedido em: 20 de novembro de 2018, em: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1809769>
- Wikimedia Commons. (2010). *2010 Madeira flooding street*. Acedido em: 22 de novembro de 2018, em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:2010_Maderia_flooding_street_1.jpg

Legislação

- Decreto-Lei n.º 380/99**, de 22 de setembro de 1999. *Diário da República*. 1.ª Série - N.º 222. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 46/2009**, de 20 de fevereiro. *Diário da República*. 1ª Série - N.º 36. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 307/2009**, de 23 de outubro de 2009. *Diário da República*. 1ª Série - N.º 206. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 115/2010**, de 22 de outubro de 2010. *Diário da República*. 1ª Série - N.º 206. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 130/2012**, de 22 de junho de 2012. *Diário da República*. 1ª Série - N.º 120. Lisboa.
- Decreto Legislativo Regional n.º 38/2008/M**, de 20 de agosto. *Diário da República*. 1ª Série - N.º 160. Região Autónoma da Madeira
- Decreto Legislativo Regional n.º 18/2017/M**, de 23 de dezembro de 2017. *Diário da República*. 1ª Série - N.º 122. Região Autónoma da Madeira - Assembleia Legislativa.
- Lei n.º 11/1987**, de 7 de Abril de 1987. *Diário da República*. 1ª Série - N.º 81. Lisboa.
- Lei n.º 13/91**, de 5 de Junho de 1991. *Diário da República*. Série I-A. N.º 128. Lisboa.
- Lei n.º 48/98**, de 11 de Agosto de 1998. *Diário da República*. 1ª Série - N.º 184. Lisboa.
- Lei n.º 130/99**, de 21 de Agosto de 1999. *Diário da República*. Série I-A. N.º 195. Lisboa.
- Lei n.º 12/2000**, de 21 de Junho de 2000. *Diário da República*. Série I-A. N.º 142. Lisboa.
- Lei n.º 27/2006**, de 3 de Junho de 2006. *Diário da República*. 1.ª Série - 126. Lisboa.
- Lei n.º 58/2007**, de 4 de Setembro de 2007. *Diário da República*. 1.ª Série - N.º 170. Lisboa.
- Lei n.º 31/2014**, de 30 de Maio de 2014. *Diário da República*. 1ª Série - N.º 104. Lisboa
- Resolução n.º 805**, de 27 de Outubro de 2007. *JORAM- Jornal Oficial*. 1ª Série - N.º 187. Região Autónoma da Madeira.

ANEXOS

ArcMap

Metodologia para a análise hidrológica das bacias hidrográficas

A partir dos ficheiros de MDT em formato “.asc”, fornecidos pela DROTA tornou-se possível analisar hidrológicamente as bacias hidrográficas das ribeiras de João Gomes e Santa Luzia. O processo inicia-se ao seleccionar e arrastar para a “Table of Contents” os ficheiros anteriormente referidos, definindo em “Layers” – “Properties” – “Coordinate System” – “Projected Coordinate System” na categoria “UTM – Oceans” o sistema de coordenadas a ser utilizadas no projeto, tendo neste caso sido seleccionado o “Madeira_1936_UTM_Zone_28N”.

O segundo passo traduz-se na fusão dos ficheiros “.asc” num único denominado genericamente por “Mosaico” através de “Windows” – “Image Analysis” – e no separador “Processing” clicar no botão em frente a “Blend”. De vido à fusão apresentar valores de altitude desconhecidos, insurge-se como necessário o preenchimento destes vazios através do processo “Fill”, o qual pode ser executado ao clicar no botão “Arctool Box” e seguidamente em “Spatial Analyst Tools” – “Hidrology” – “Fill”, carregando no primeiro campo o ficheiro do “Mosaico”.

Segue-se a criação do ficheiro “Flow Direction” que permite identificar todos os cursos de água da bacia hidrográfica clicando em “Arctool Box” – “Spatial Analyst Tools” – “Hidrology” – “Flow Direction”, carregando no primeiro campo o ficheiro “Fill” criado. Por fim executam-se os procedimentos para identificar os cursos de água principais da bacia hidrográfica clicando em “Arctool Box” – “Spatial Analyst Tools” – “Hidrology” – “Flow Accumulation” e carregando o ficheiro “Flow Direction”.

A delimitação de uma bacia hidrográfica é possível através da identificação da respetiva secção de referência. Este processo pode ser executado ao clicar no botão “Catalog” e em seguida com o botão direito do rato em “Home” – “Documents/ArcGis” seleccionar “New” – “Shapefile”, atribuindo um nome ao mesmo. Posteriormente, em “Feature Type” seleccionar “Point” e clicar no botão “Edit” – “Projected Coordinate System” – “UTM – OCEANS – Madeira_1936_UTM_Zone_28N”. Com a criação do ponto, clicar o botão “Editor” – “Start Editing” e seleccionar a denominação do mesmo, clicando em seguida no botão “Create Features” ao utilizar a *layer* criada do “Flow Accumulation” e colocando o ponto criado no ponto final do curso de água principal. Por fim clicar em “Save” e “Stop Editing” de forma a gravar o procedimento efetuado.

Por fim clicar novamente em “Arctool Box” – “Spatial Analyst Tools” – “Hidrology” – “Snap Pour Point” e inserir nos campos os ficheiros do ponto criado anteriormente e o “Flow Accumulation”. O processo finda ao clicar em “Arctool Box” – “Spatial Analyst Tools” – “Hidrology” – “Watershed”, inserindo nos campos o ficheiro “Snap Pour Point” e o “Flow Direction”.

Cálculo da Área e Perímetro da Bacia Hidrográfica

O cálculo das áreas e perímetros das bacias hidrográficas em estudo pode ser facilmente calculados clicando em “Arctool Box” – “Conversion Tools” – “From Raster” – “Raster to Polygon” – “Watershed” e retirando o visto da opção “Simplify Poligons” definida genericamente. De forma a ter acesso aos dados numa tabela deve-se clicar com o botão direito do rato no ficheiro criado e seleccionar “Attribute Table”.

Determinação da Curva Hipsométrica

A primeira etapa consiste na criação de um *raster* que classifique as alturas da bacia hidrográfica em estudo, sendo executado ao clicar em “Arctool Box” – “Spatial Analyst Tools” – “Extraction” – “Extract By Mask”, inserindo nos campos requeridos os ficheiros “Watershed” e “Mosaico” (com as alturas).

Numa segunda fase, exige-se a reclassificação do ficheiro criado anteriormente, agrupando as alturas por classes ou intervalos (mapas hipsométricos das bacias hidrográficas). Para tal, deve-se clicar em “Arctool Box” – “Spatial Analyst Tools” – “Reclass” – “Reclassify”, selecionando em seguida o resultado desta operação com o botão direito do rato e em “Properties” clicar em “Classification Method” – “Equal Interval” definindo o número de “Classes” pretendido, neste caso 10.

Por fim, de forma a poder tratar os dados obtidos, é possível obter a curva hipsométrica em dados do *Microsoft Excel* clicando em “Arctool Box” – “Spatial Analyst Tools” – “Zonal” – “Zonal Statistics as Table”, inserindo nos campos os ficheiros resultantes das primeira e segunda fases.

Traçado e Análise do Perfil Longitudinal do Curso de Água Principal

O *ArcMap* possibilita o traçado e análise do perfil longitudinal do curso de água principal recorrendo à seguinte metodologia: ativar a barra de ferramentas “3D Analyst” e clicar no botão “Interpolate Line” traçando em seguida uma linha sobre o terreno (neste caso sobre o curso de água principal), obtendo um gráfico que relaciona a altura com o comprimento. De forma a obter o gráfico do perfil longitudinal e uma tabela de dados no *Microsoft Excel* deve-se selecionar o botão “Profile Graph”, clicar com o botão direito do rato sobre o ser resultado e clicar em “Export”.

Classificação Hierárquica dos Cursos de Água

Para se proceder à classificação de todos os cursos de água das bacias hidrográficas deve-se utilizar o “Raster Calculator”, introduzindo uma expressão de álgebra de mapas (neste caso – “Con(“FlowAcc_Flow1” > 500 , 1) que permite individualizar e extrair a rede de drenagem da bacia em análise, correspondendo aos cursos de água existentes.

De seguida procede-se à interpolação da rede de drenagem através da definição de um valor de referência que definirá o número de células do terreno necessárias para originar células de drenagem, traduzindo-se nas linhas de água. O valor utilizado dependerá sempre da sensibilidade do utilizador sendo que se se afigurar como muito pequeno, gerará uma rede demasiado densa e irrealista e por outro lado se for muito grande simplificará a rede em demasia não incluindo escoamentos de menor dimensão. O valor adotado foi de 500 seguindo a metodologia adotada por Lousada (2018).

Num segundo passo, a individualização de cada um dos trechos da rede de drenagem pode ser efetuada clicando em “ArcTool Box” – “Spatial Analyst Tools” – “Hydrology” – “Stream Link”, inserindo nos campos requeridos os ficheiros “Rastercalc” e “Watershed” obtidos anteriormente.

Por fim, classifica-se a rede de drenagem obtida nos passos anteriores de acordo com uma das duas opções, Shreve ou Strahler. Para isso clica-se em “ArcTool Box” – “Spatial Analyst Tools” – “Stream Order”, e insere-se os ficheiros do segundo passo e “Flow Direction” selecionando a opção de hierarquização pretendida.

Comprimento da Bacia Hidrográfica

De modo a efetuar a medição do comprimento da bacia hidrográfica deve-se recorrer à ferramenta “Measure”, medindo a distância entre a foz e o ponto da bacia mais distante à sua secção de referência.

Obtenção do Declive Médio da Bacia

Por forma a obter a declividade média da bacia, seja ela em graus ou percentagem, deve-se clicar em “Arctool Box” – “Spatial Analyst Tools” – “Surface” – “Slope”, inserir o ficheiro com as alturas da bacia hidrográfica e escolher qual a opção de declividade desejada, “Degree” ou “Percent Rise”.

HEC-RAS

Para se proceder à análise do escoamento de bacias hidrográficas é necessário compilar previamente numa folha do *Microsoft Excel*, informações relativas às secções do canal de água em estudo nomeadamente quanto às cotas, comprimentos e distâncias entre secções. Posto isto, o processo inicia-se ao clicar em “New Project” – “Options” – “Unit System”, devendo ser selecionada a opção de sistema SI.

De forma a caracterizar as várias secções objeto de estudo, deve-se clicar no barra “Editors” selecionando a opção “Edit/Enter Geometric Data” – “Cross Section”. Na nova janela clicar em “Options” e selecionar “Add a New Cross Section” identificando qual o número da secção correspondente. O programa ordena as secções de acordo com a identificação atribuída, de forma ascendente e a ter início na foz. Na opção “Description” deve ser atribuído ainda um nome identificativo da respetiva secção (neste caso, a opção recaiu sobre a correspondente quilometragem) e clicando em “Cross Section Coordinates” introduzir os pares de valores associados à posição em “Station” e a respetiva cota em “Elevation”.

Segue-se a identificação de outros parâmetros nomeadamente a distância das margens entre a secção atual e a anterior em “Downstream Reach Lengths”, o coeficiente de Manning aplicado a cada uma das margens (tendo neste caso sido utilizado o valor de $0,013 \text{ m}^{-1/3}$ s para as paredes e fundo regularizadas em betão num estado de conservação entre o muito bom e o bom) em “Manning’s n Values”, a margem de ambos os lados confinante do canal (coincidente ou não com os pontos mais afastados do seu centro) em “Main Channel Bank Stations” e as constantes referentes ao grau de contração e expansão (identificados no canal em estudo) em “Con/Exp Coefficient (Steady Flow)”. Com a concretização dos passos anteriores deve-se clicar em “Apply Data” e surgirá a secção desenhada, devendo repetir o procedimento as vezes que forem precisas ao longo do trecho a analisar.

Uma vez que é necessário caracterizar o canal por intermédio de parâmetros como os números de Froude e Reynolds, a perda de carga contínua ou a velocidade, efetuou-se uma simulação de escoamento uniforme, com caudal constante ao longo de todo o trecho em análise e altura crítica a montante (uma vez que o escoamento é de tipologia rápida). Para isso, configurou-se a simulação clicando no botão “Edit/Enter Steady Flow Data” introduzindo na janela o número de perfis e definindo as condições de fronteira em “Reach Boundary Conditions” – “Upstream” – “Critical Depth” e deixando vazia a célula “Downstream”. Para finalizar, clica-se em “Perform a Steady Flow Simulation” selecionando a opção de análise de escoamento “Supercritical”.

Anexos

Lista de publicações submetidas durante a elaboração da dissertação

Canais artificiais e a sua influência em processos de ordenamento do território e planeamento urbano. Uma breve análise.

André Moura, FCEE, Universidade da Madeira, andrediogo92@gmail.com

Sérgio Lousada, FCEE, Universidade da Madeira, slousada@staff.uma.pt

Rui Castanho, Universidade de Dąbrowa Górnicza, acastanho@wsb.edu.pl

Resumo

Os fenómenos de cheia decorrentes de intempéries têm ao longo do tempo assolado o arquipélago da Madeira, particularmente a ilha da Madeira a qual se diferencia, entre outras, pelo seu relevo acentuado. Estas características, associadas aos fenómenos de cheia, conduzem a dezenas de vítimas mortais, centenas de afetados direta ou indiretamente e milhares de milhões em custos monetários associados. Insurge-se deste modo, como prioritária a necessidade de simular com o maior rigor possível, o escoamento das linhas de água com maior relevância neste tipo de catástrofes, de modo a procurar minimizar os seus riscos e consequências, bem como articular os princípios de planeamento urbano em vigor na região.

As linhas de água que atravessam áreas urbanas podem ser classificadas como canais artificiais. Relativamente ao canal natural, as artificiais, introduzem diversas características diferentes tais como: largura, profundidade e rugosidade. A temática em análise, considera a necessidade de efetuar uma modelação numérica das linhas de água – isto é, a simulação das condições de escoamento nas ribeiras da Região Autónoma da Madeira (RAM) para que se possa levar a cabo um ordenamento do território e planeamento urbano mais apropriados, garantindo assim a segurança da população bem como a preservação de bens materiais.

A análise do escoamento verificado nas ribeiras da RAM assume-se como fundamental, tendo em vista a redução de riscos em fenómenos de cheia bem como das respetivas áreas de inundação, sendo para isso particularmente relevante a análise de sensibilidade de diversos parâmetros tais como: fórmulas de transporte sólido, coeficientes de Manning-Strickler, condições de fronteira a montante, distribuição granulométrica nas diversas secções transversais consideradas e caudais afluentes.

A importância das linhas de água no ordenamento/planeamento urbano

Os canais artificiais, deveriam condicionar a predisposição do tecido urbano de qualquer cidade, região ou país uma vez que em casos extremos de precipitação, eles são os principais responsáveis pelo correto escoamento minimizando qualquer tipologia de risco associado a cheias. Contudo o que é década após década é uma contínua ocupação urbana na proximidade das principais linhas de água, tendo a agravante de esta se intensificar mais a jusante o que obviamente promove um acréscimo à sua perigosidade – uma vez que, estas zonas são as mais propícias a serem afetadas por enxurradas e/ou cheias através do galgamento dos leitos das ribeiras.

Considerando que a ilha da Madeira é periodicamente afetada por chuvas de alta intensidade, associadas à sua urografia, assume-se como fundamental que os vários instrumentos de gestão territorial contemplem, como mínimo uma carta de risco municipal utilizando ferramentas como os SIG, bem como condicionando a forma como se desenvolve o planeamento e respetivo ordenamento do territorial.

Por outro lado, começam a ser postos em prática os mecanismos anteriormente descritos nos concelhos onde as enxurradas/cheias/aluviões têm protagonizado um maior impacto negativo, nomeadamente quanto à criação (e inclusão no respetivo PDM) da carta de risco de cheias e inundações da Ribeira Brava, a inclusão das áreas em risco ou ameaçadas por cheias na planta de ordenamento II do PDM do Funchal e, ainda da publicação no JORAM da criação dos Planos de Gestão dos Riscos de Inundações da RAM (PGRI-RAM).

No caso concreto dos concelhos do Funchal e Ribeira Brava, efetuaram-se obras nas margens e no leito das principais linhas de água, entenda-se, as que apresentavam um maior risco de cheia, aumentando a profundidade e largura do canal artificial, assim como alterando a sua rugosidade. Procedeu-se ainda à colocação de estruturas de contenção de material sólido (açudes) a montante, impedindo a sua acumulação a jusante, o que por sua vez reduziria a secção de vazão da bacia hidrográfica em questão e aumentaria o risco de cheia. Os caudais das ribeiras por sua vez, encontram-se sob monitorização em tempo real através de um sistema de telemetria e vigilância automática, permitindo o estudo do comportamento das linhas de água por parte do LREC, e constituindo um complemento preventivo do risco de aluviões.

Conclusões/Recomendações

O breve estudo apresentado, focando-se no tratamento das linhas de água consideradas de maior relevância no que respeita ao risco de cheias e respetiva articulação com os princípios do planeamento urbano vigentes na região, foi possível concluir que começa a ser efetuada uma análise mais pormenorizada da monitorização dos cursos de água considerados atuando como elemento preventivo. Também, que as condições de escoamento foram melhoradas com vista a minimizar cenários de cheias, que a importância nos vários instrumentos de gestão territorial do risco de cheias, vai paulatinamente, ocupando um lugar devidamente de maior importância.

Por outro lado, é perceptível que nem toda a ilha está a acompanhar a importância dada às problemáticas associadas ao risco de cheias, sendo expectável que os concelhos que se encontram no processo de revisão dos respetivos Planos Diretores Municipais (PDMs) introduzam as devidas alterações preventivas e de planeamento/ordenamento do seu território. No mesmo sentido, é esperado que com brevidade sejam implementados em toda a ilha, nos principais cursos de água assinalados com o fator de risco elevado no que toca a cheias os sistemas de monitorização de caudais que ainda se encontram a título experimental em apenas 3 ribeiras.

Palavras-chave: Linhas de Água; Planeamento Urbano; Escoamento; Instrumentos de Gestão Territorial; Região Autónoma da Madeira.

Referências:

Antunes, S., Pereira, P., Paulino, I., Rodrigues, E., Tomaz, E., Oliveira, P. (2018). *Plano Diretor Funchal*, (2018). Disponível em: http://revisaopdm.cm-funchal.pt/images/PDF_SITE/versao_final/Rel_ambiental_mar2018_vf.pdf

Camacho, R., Lousada, S., Castanho, R. (2018). *Escoamento em canais artificiais: Áreas urbanas em situação de cheia. Aplicação à zona baixa do Funchal*. Funchal: Novas edições Académicas.

Castanho, R. (2018). Ordenamento Territorial e a Sua Relação com o Turismo Regional. O Caso de Estudo da Região Autónoma da Madeira (RAM). *CIDADES, Comunidades e Territórios*, 36, 42-55.



II CONGRESSO LUSO-EXTREMADURENSE

Canais artificiais e a sua influência em processos de ordenamento do território e planeamento urbano. Uma breve análise.

André Moura, FCEE, Universidade da Madeira, andrediogo92@gmail.com
Sérgio Lousada, FCEE, Universidade da Madeira, slousada@staff.uma.pt
Rui Castanho, Universidade de Dąbrowa Górnicza, acastanho@wsb.edu.pl



Resumo

Os fenómenos de cheia decorrentes de intempéries têm ao longo do tempo assolado o arquipélago da Madeira, particularmente a ilha da Madeira a qual se diferencia, entre outras, pelo seu relevo acentuado. Estas características, associadas aos fenómenos de cheia, conduzem a dezenas de vítimas mortais, centenas de afetados direta ou indiretamente e milhares de milhões em custos monetários associados. Insurge-se deste modo, como prioritária a necessidade de simular com o maior rigor possível, o escoamento das linhas de água com maior relevância neste tipo de catástrofes, de modo a procurar minimizar os seus riscos e consequências, bem como articular os princípios de planeamento urbano em vigor na região.

As linhas de água que atravessam áreas urbanas podem ser classificadas como canais artificiais. Relativamente ao canal natural, as artificiais, introduzem diversas características diferentes tais como: largura, profundidade e rugosidade. A temática em análise, considera a necessidade de efetuar uma modelação numérica das linhas de água – isto é, a simulação das condições de escoamento nas ribeiras da Região Autónoma da Madeira (RAM) para que se possa levar a cabo um ordenamento do território e planeamento urbano mais apropriados, garantindo assim a segurança da população bem como a preservação de bens materiais.

A análise do escoamento verificado nas ribeiras da RAM assume-se como fundamental, tendo em vista a redução de riscos em fenómenos de cheia bem como das respetivas áreas de inundação, sendo para isso particularmente relevante a análise de sensibilidade de diversos parâmetros tais como: fórmulas de transporte sólido, coeficientes de Manning-Strickler, condições de fronteira a montante, distribuição granulométrica nas diversas secções transversais consideradas e caudais afluentes.



A importância das linhas de água no Ordenamento/Planeamento Urbano

Os canais artificiais, deveriam condicionar a predisposição do tecido urbano de qualquer cidade, região ou país uma vez que em casos extremos de precipitação, eles são os principais responsáveis pelo correto escoamento minimizando qualquer tipologia de risco associado a cheias. Contudo o que é década após década é uma contínua ocupação urbana na proximidade das principais linhas de água, tendo a agravante de esta se intensificar mais a jusante o que obviamente promove um acréscimo à sua perigosidade – uma vez que, estas zonas são as mais propícias a serem afetadas por enxurradas e/ou cheias através do galgamento dos leitos das ribeiras. Considerando que a ilha da Madeira é periodicamente afetada por chuvas de alta intensidade, associadas à sua urografia, assume-se como fundamental que os vários instrumentos de gestão territorial contemplem, como mínimo uma carta de risco municipal utilizando ferramentas como os SIG, bem como condicionando a forma como se desenvolve o planeamento e respetivo ordenamento do territorial. Por outro lado, começam a ser postos em prática os mecanismos anteriormente descritos nos concelhos onde as enxurradas/cheias/aluviões têm protagonizado um maior impacto negativo, nomeadamente quanto à criação (e inclusão no respetivo PDM) da carta de risco de cheias e inundações da Ribeira Brava, a inclusão das áreas em risco ou ameaçadas por cheias na planta de ordenamento II do PDM do Funchal e, ainda da publicação no JORAM da criação dos Planos de Gestão dos Riscos de Inundações da RAM (PGRI-RAM).

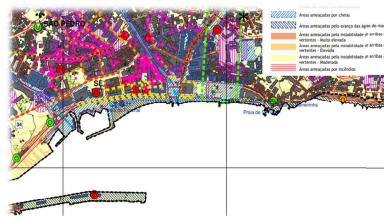
No caso concreto dos concelhos do Funchal e Ribeira Brava, efetuaram-se obras nas margens e no leito das principais linhas de água, entenda-se, as que apresentavam um maior risco de cheia, aumentando a profundidade e largura do canal artificial, assim como alterando a sua rugosidade. Procedeu-se ainda à colocação de estruturas de contenção de material sólido (açudes) a montante, impedindo a sua acumulação a jusante, o que por sua vez reduziria a secção de vazão da bacia hidrográfica em questão e aumentaria o risco de cheia. Os caudais das ribeiras por sua vez, encontram-se sob monitorização em tempo real através de um sistema de telemetria e vigilância automática, permitindo o estudo do comportamento das linhas de água por parte do LREC, e constituindo um complemento preventivo do risco de aluviões.



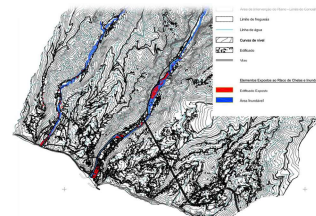
Reabilitação e regularização da ribeira



Estruturas de Contenção (Açudes)



Planta de Ordenamento II (Funchal) - Áreas em Risco de Cheias



Carta de Riscos (Ribeira Brava)



Cursos de Água com Risco Hidrológico

Conclusões/Recomendações

Com o breve estudo ao tratamento dado às linhas de água consideradas de maior importância no que toca ao risco de cheias e respetiva articulação com os princípios do planeamento urbano vigentes na região, foi possível concluir que começa a ser efetuada uma mais pormenorizada monitorização dos cursos de água considerados atuando como elemento preventivo, que as condições de escoamento foram melhoradas com vista a diminuir cenários de cheias, que a importância nos vários instrumentos de gestão territorial do risco de cheias começa a ter um lugar devidamente preponderante.

Por outro lado, é perceptível que nem toda a ilha está ainda a acompanhar esta importância dada ao risco de cheias, sendo expectável que os concelhos que se encontram no processo de revisão dos respetivos Planos Diretores Municipais introduzam as devidas alterações preventivas e de planeamento/ordenamento do seu território. Espera-se ainda, que com a maior celeridade sejam implementados em toda a ilha, nos principais cursos de água assinalados com o fator de risco elevado no que toca a cheias os sistemas de monitorização de caudais que ainda se encontram a título experimental em apenas 3 ribeiras.

Palavras-chave:

Linhas de Água; Planeamento e Ordenamento Urbano; Escoamento; Instrumentos de Gestão Territorial; Região Autónoma da Madeira.

Referências

Antunes, S., Pereira, P., Paulino, I., Rodrigues, E., Tomaz, E., Oliveira, P. (2018). *Plano Diretor Funchal*, (2018). Disponível em: http://revisaopdm.cm-funchal.pt/images/PDF_SITE/versao_final/Rel_ambiental_mar2018_vf.pdf

Camacho, R., Lousada, S., Castanho, R. (2018). *Escoamento em canais artificiais: Áreas urbanas em situação de cheia. Aplicação à zona baixa do Funchal*. Funchal: Novas edições Académicas.

Castanho, R. (2018). *Ordenamento Territorial e a Sua Relação com o Turismo Regional. O Caso de Estudo da Região Autónoma da Madeira (RAM)*. CIDADES, Comunidades e Territórios, 36, 42-55.



The International Congress on Sustainable Development, Public Management and Territorial Governance

WSB University, Faculty of Applied Sciences
28-31 May 2019, Dąbrowa Górnicza, Poland

Title (paper)	Canais artificiais e a sua influência em processos de ordenamento do território e planeamento urbano.
Abstract (summarize the problem and objective of your paper and refer the method, results, conclusions, future research directions, etc.; length: 200 - 250 words)	<p>O presente estudo pretende efetuar uma análise a fenómenos de cheia em áreas urbanas, estabelecendo uma comparação das casuísticas quanto à sua localização, fatores climáticos e principais parâmetros de pressão antrópica verificados.</p> <p>Os fenómenos de cheia decorrentes de intempéries têm ao longo do tempo assolado o arquipélago da Madeira, particularmente a ilha da Madeira a qual se diferencia, entre outras, pelo seu relevo acentuado. Estas características, associadas aos fenómenos de cheia, conduzem a dezenas de vítimas mortais, centenas de afetados direta ou indiretamente e milhares de milhões em custos monetários associados.</p> <p>Os canais artificiais, deveriam condicionar a predisposição do tecido urbano de qualquer cidade, região ou país uma vez que em casos extremos de precipitação, eles são os principais responsáveis pelo correto escoamento, minimizando qualquer tipologia de risco associado a cheias. Contudo, o que é verificado década após década é uma contínua ocupação urbana na proximidade das principais linhas de água, com a agravante de se intensificar mais a jusante o que obviamente promove um acréscimo à sua perigosidade – uma vez que, estas zonas são as mais propícias a serem afetadas por enxurradas e/ou cheias através do galgamento dos leitos das ribeiras.</p> <p>Insurge-se deste modo como prioritária a necessidade de simular com o maior rigor possível, o escoamento das linhas de água com maior relevância neste tipo de catástrofes, de modo a procurar minimizar os seus riscos e consequências, bem como articular os princípios de planeamento urbano em vigor na região.</p>
Key-words (4 - 5 words)	Escoamento; Instrumentos de Gestão Territorial; Linhas de Água; Planeamento Urbano; Região Autónoma da Madeira

Author(s) name (name - surname)	André Diogo Sousa Moura ⁽¹⁾ ; Sérgio António Neves Lousada ^(1,2,4,7) ; Rui Alexandre Castanho ^(2,3,4,5,6,7) .
If the paper is co-authored, indicate the author or authors that will be present (physical presence requires registration)	Sérgio António Neves Lousada; Rui Alexandre Castanho.
Institutional affiliation (department, university, research centres or similar)	(1). Faculty of Exact Sciences and Engineering (FCEE), Department of Civil Engineering and Geology (DECG). University of Madeira (UMa), Funchal, Portugal; (2). CITUR - Madeira - Centre for Tourism Research, Development and Innovation, Madeira, Portugal; (3). Faculty of Applied Sciences, University of Dąbrowa Górnicza, Poland; (4). VALORIZA - Research Centre for Endogenous Resource Valorization, Portalegre, Portugal; (5). Environmental Resources Analysis Research Group (ARAM), University of Extremadura, 06071 Badajoz, Spain; (6). ICAAM—Institute for Agrarian and Environmental Sciences, Évora, Portugal; (7). Institute of Research on Territorial Governance and Inter-Organizational Cooperation, Dąbrowa Górnicza, Poland.
Position (Prof., Dr., Post doc, PhD Student, etc.)	1. B.Eng; 2. Ph.D; 3. Ph.D.
Postal address (postal address of your institution)	(1). Campus Universitário da Penteada 9020-105 Funchal - Portugal.
Electronic address (e-mail address)	1. andrediogo92@gmail.com; 2. slousada@staff.uma.pt; 3. acastanho@wsb.edu.pl;

Influência do Escoamento em Canais Artificiais nos Processos de Planeamento Urbano e Ordenamento Territorial

André Moura, FCEE, Universidade da Madeira, Portugal, andrediogo92@gmail.com

Sérgio Lousada, FCEE, Universidade da Madeira, Portugal, slousada@staff.uma.pt

Rui Castanho, Universidade da Dąbrowa Górnicza, Polónia, acastanho@wsb.edu.pl

RESUMO

Os fenómenos de cheia decorrentes de intempéries têm ao longo do tempo assolado o arquipélago da Madeira, particularmente a ilha da Madeira a qual se diferencia, entre outras, pelo seu relevo acentuado. Insurge-se deste modo, como prioritária a necessidade de simular com o maior rigor possível, o escoamento das linhas de água com maior relevância neste tipo de catástrofes.

Os canais artificiais, deveriam condicionar a predisposição do tecido urbano de qualquer cidade, região ou país uma vez que em casos extremos de precipitação, eles são os principais responsáveis pelo correto escoamento minimizando qualquer tipologia de risco associado a cheias. Contudo o que é perceptível, década após década, é uma contínua ocupação urbana na proximidade das principais linhas de água, tendo a agravante de esta se intensificar mais a jusante o que obviamente promove um acréscimo à sua perigosidade.

Considerando que a ilha da Madeira é periodicamente afetada por chuvas de alta intensidade, associadas à sua urografia, assume-se como fundamental que os vários instrumentos de gestão territorial contemplem, como mínimo uma carta de risco municipal utilizando ferramentas como os SIG, bem como condicionando a forma como se desenvolve o planeamento e respetivo ordenamento do territorial.

O papel ativo da proteção civil, representa uma extrema importância em matéria de prevenção de riscos bem como da adoção de medidas autoprotetoras, considerando-se uma vantagem na sua correta caracterização ao oferecer uma oportunidade para: proporcionar um melhor conhecimento do risco, promover a tomada de decisão sobre o risco e afetação de recursos, reduzir os graus de risco para a população, bens ou ambiente e ao enfatizar as atividades de prevenção e mitigação do risco.

Palavras-chave: Linhas de Água; Planeamento Urbano; Instrumentos de Gestão Territorial; Proteção Civil; Região Autónoma da Madeira.

Referências:

Camacho, R., Lousada, S., Castanho, R. (2018). *Escoamento em canais artificiais: Áreas urbanas em situação de cheia. Aplicação à zona baixa do Funchal*. Funchal: Novas edições Académicas.

Julião, R.P. et al. (2009). *Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de Base Municipal*. Lisboa, Autoridade Nacional de Proteção Civil.

Naciones Unidas (2009). *Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres*. Washington, UNSIDR.