

DM

**Análise Teórico-prática do Risco de Cheias  
no Arquipélago da Madeira**

O caso de estudo dos concelhos do Funchal,  
Machico, Ribeira Brava e São Vicente

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Leonardo Bazilio Gonçalves**

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL



UNIVERSIDADE da MADEIRA

*A Nossa Universidade*

[www.uma.pt](http://www.uma.pt)

junho | 2020



# **Análise Teórico-prática do Risco de Cheias no Arquipélago da Madeira**

O caso de estudo dos concelhos do Funchal,  
Machico, Ribeira Brava e São Vicente

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Leonardo Bazilio Gonçalves**

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

ORIENTAÇÃO

Sérgio António Neves Lousada

CO-ORIENTAÇÃO

Rui Alexandre Castanho





Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia

**Análise Teórico-prática do Risco de Cheias no  
Arquipélago da Madeira – O caso de estudo dos concelhos  
do Funchal, Machico, Ribeira Brava e São Vicente**

Bacharel em Engenharia Civil

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

por

**Leonardo Bazilio Gonçalves**

Orientador

Prof. Doutor Sérgio António Neves Lousada

*(Universidade da Madeira)*

Coorientador

Prof. Doutor Rui Alexandre Castanho

*(Universidade WSB, Dabrowa Górnicza - Polónia)*

**junho de 2020**

Título: Análise Teórico-prática do Risco de Cheias no Arquipélago da Madeira – O Caso de estudo dos concelhos do Funchal, Machico, Ribeira Brava e São Vicente.

Palavras-Chave: Escoamento superficial; Gestão ambiental; Hidrologia; Inundações; Planeamento urbano.

Keywords: Surface runoff; Environmental management; Hydrology; Floods; Urban planning.

Autor: Leonardo Bazilio Gonçalves

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](mailto:secretariadocentros@uma.pt)

Funchal, Madeira

## **AGRADECIMENTOS**

Esta dissertação apresenta-se como a concretização de mais uma etapa da minha vida, como um dos passos mais importantes no âmbito académico e pessoal. Apesar de nascido em um país distante, a adaptação cultural tornou-se mais fácil e rápida devido à excelente receção que tive desde o início dessa jornada. Portanto, agradeço:

Primeiramente a Deus, pela possibilidade de continuar os meus estudos apesar de todas intempéries vividas nos últimos anos;

Aos meus pais, cujo trabalho e esforço foram fundamentais para minha formação ética e moral, além de serem aqueles que propiciaram a realização de mais esta etapa;

Aos meus irmãos e irmã, os quais sempre incentivaram o prosseguimento dos meus estudos e também contribuíram de forma fulcral para esta conquista;

Aos familiares, os quais diretamente ou indiretamente contribuíram e me deram forças para continuar;

À minha namorada, a qual esteve comigo durante todo este ciclo, não apenas por ser o meu suporte emocional, mas também contribuir com todo o seu conhecimento académico adquirido com muito esforço e determinação;

Aos orientadores, Professor Doutor Sérgio António Neves Lousada e Professor Doutor Rui Alexandre Castanho, não apenas por dispor do vosso tempo para orientar-me durante todo este estudo, mas principalmente pela amizade e pela forma com que me receberam desde o início.

Aos professores da Universidade da Madeira, pelo vasto conhecimento apresentado a cada aula e também pela amizade;

Aos professores, Professor Doutor Daniel Henrique Breda Binoti e Professor Mestre Herbert Torres, por todo conhecimento e incentivo durante o bacharelato no Brasil e por contribuírem fundamentalmente para minha iniciação no âmbito da pesquisa científica;

Ao LREC (Laboratório Regional de Engenharia Civil), pela disponibilização dos ficheiros MDT essenciais para o estudo efetuado;

E por fim, e não menos importante, aos amigos feitos na Universidade da Madeira que estiveram comigo durante todo este processo, tanto nas unidades curriculares quanto na elaboração da presente dissertação.



## RESUMO

Com base no histórico recente de cheias na Ilha da Madeira, evidencia-se que fenómenos anteriormente considerados raros tornaram-se cada vez mais frequentes, impulsionados pelas mudanças climáticas globais. Além do aspeto cíclico da variação climática atuante no planeta, as ações antrópicas contribuíram consideravelmente para o agravamento desta problemática, principalmente no que se refere às cheias. Este fenómeno ocorre pelo crescimento desordenado das cidades que tem ocasionado um aumento do índice de impermeabilização do solo, sendo este, o principal responsável pelo escoamento superficial e as consequentes inundações dos centros urbanos.

Os cursos de água de uma bacia hidrográfica são os responsáveis por canalizar todo volume de água precipitado para um ponto em comum: a foz. Neste sentido, torna-se primordial a verificação das características intrínsecas destes canais – *i.e.* tipo de canal (natural ou artificial), coeficiente de rugosidade, altura, largura, declividade e principalmente a capacidade de escoamento. Uma vez que todo o escoamento superficial será direcionado para a foz, é essencial que a sua capacidade de escoamento seja maior que o caudal presente, pois de acordo com a Lei da Continuidade Hidráulica conjugada à Equação de Manning-Strickler, com a redução da velocidade da água (principalmente pelo coeficiente de rugosidade do leito) a manutenção do caudal dependerá do aumento do nível da água, possibilitando o transbordo da ribeira e todos os transtornos supracitados.

Referente à Ilha da Madeira, os cursos de água principais possuem trechos naturais e artificiais. As partes artificiais fazem-se pela necessidade de aumentar a secção de escoamento e a redução da perda de velocidade por atrito com o leito, utilizando o betão como revestimento. Porém, nota-se que atualmente estas ribeiras possuem demasiada sedimentação e também a presença de vegetação, retornando às características parciais de um canal natural. Para uma análise mais precisa da capacidade de vazão destes trechos é imprescindível considerar estas problemáticas, já que a deposição de sedimentos além de reduzir a velocidade da água, ocasionará a redução da secção de escoamento.

Com base em uma extensa revisão bibliográfica, foram reunidas diversas metodologias e parâmetros necessários para a caracterização das bacias hidrográficas mais problemáticas com maior precisão. Além disso, verificou-se as diretrizes estabelecidas pelas instituições regionais no que se refere ao Planeamento Urbano, como forma de efetuar um estudo que siga a legislação vigente.

Portanto, o presente estudo pretende efetuar uma análise comparativa entre os diversos parâmetros indicativos de suscetibilidade às cheias – *i.e.* densidade de drenagem; tempo de concentração; dimensões; fator de forma; índice de compacidade e etc. – das bacias hidrográficas de quatro concelhos da Ilha da Madeira, nomeadamente: Funchal, Machico, Ribeira Brava e São Vicente. Após a determinação dos parâmetros supracitados, proceder-se-á também à análise da capacidade de escoamento a jusante, de forma a verificar a propensão ao transbordo de acordo com o caudal de ponta de cheia expectável para as respetivas bacias hidrográficas. Para este estudo será utilizado o *software ArcGIS*, elaborado pela *ESRI*, o qual permite obter valores mais precisos e confiáveis em comparação com a metodologia cartográfica clássica. Verificada a incapacidade de escoar o caudal precipitado estimado para um tempo de retorno de 100 anos, será dimensionada uma Bacia de Detenção para a regularização e controlo do escoamento, de forma a permitir que a foz funcione dentro de sua capacidade.

Por fim, pretende-se também abordar a importância de um planeamento urbano que vise reduzir os impactos ambientais e mitigar os efeitos destrutivos dos fenómenos climáticos extremos, de forma a diminuir as perdas materiais, humanas e sociais na região.

**Palavras-chave:** Escoamento superficial; Gestão ambiental; Hidrologia; Inundações; Planeamento urbano.



## ABSTRACT

Based on the recent history of flooding in Madeira, it is evident that phenomena previously considered rare have become increasingly frequent, driven by global climate change. In addition to the cyclical aspect of climatic variation operating on the planet, anthropic actions have contributed considerably to the aggravation of this problem, especially regarding to floods. This phenomenon occurs due to the disordered growth of cities that has caused an increase in the impermeabilization index of soil, which is the main responsible for surface runoff and the consequent flooding of urban centers.

The water courses of a hydrographic basin are responsible for channeling all the precipitated water volume to a common point: the stream mouth. In this sense, it is essential to check the intrinsic characteristics of these channels - *i.e.* type of channel (natural or artificial), roughness coefficient, height, width, slope and mainly the flow capacity. Since all the surface flow will be directed to the stream mouth, it is essential that its flow capacity is greater than the present flow, because according to the Law of Hydraulic Continuity combined with the Manning-Strickler Equation, with the reduction of speed of the water (mainly due to the channel's roughness coefficient) the maintenance of the flow will depend on the increase of the water level, allowing the overflow of the stream and all the aforementioned disorders.

Regarding to Madeira Island, the main water courses have natural and artificial stretches. The artificial parts are made by the need to increase the flow section and reduce the loss of speed by friction with the channel, using concrete as a coating. However, it is noted that currently these streams have too much sedimentation and also the presence of vegetation, returning to the partial characteristics of a natural channel. For a more accurate analysis of the flow capacity of these stretches it is essential to consider these elements, since the deposition of sediments, in addition to reducing the speed of the water, will cause the reduction of the flow section.

Based on an extensive bibliographic review, several methodologies and parameters necessary to characterize the most problematic hydrographic basins with greater precision were gathered. In addition, the guidelines established by the regional institutions with regard to Urban Planning were verified, as a way of carrying out a study that follows the current legislation.

Therefore, the present study intends to carry out a comparative analysis between the various parameters indicative of susceptibility to floods - *i.e.* drainage density; concentration time; dimensions; form factor; compactness index and etc. - the hydrographic basins of four cities on the Madeira island, namely: Funchal, Machico, Ribeira Brava and São Vicente. After determining the aforementioned parameters, an analysis of the downstream flow capacity will also be carried out, in order to verify the propensity to overflow according to the expected peak flow rate for the respective hydrographic basins. For this study, the *ArcGIS software*, developed by *ESRI*, will be used, which allows to obtain more accurate and reliable values in comparison with the classic cartographic methodology. Having verified the inability to drain the estimated precipitous flow for a return time of 100 years, a Detention Basin will be designed to regulate and control the flow, in order to allow the stream mouth to function within its capacity.

Finally, it is also intended to address the importance of urban planning that aims to reduce environmental impacts and mitigate the destructive effects of extreme climatic phenomena, in order to reduce material, human and social losses in the region.

**Keywords:** Surface runoff; Environmental management; Hydrology; Floods; Urban planning.



## ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUÇÃO.....	1
1.1. JUSTIFICATIVA.....	2
1.2. METODOLOGIA .....	5
1.3. ESTRUTURA .....	7
CAPÍTULO 2 .....	9
ENQUADRAMENTO DA REGIÃO EM ESTUDO.....	9
2.1. ENQUADRAMENTO LOCAL.....	10
2.1.1. Localização e População .....	10
2.1.2. Economia Local.....	11
2.1.3. Formação Geomorfológica.....	13
2.1.4. Climatologia.....	16
2.1.4.1. Precipitação .....	17
2.1.4.2. Pluviometria .....	19
2.1.4.3. Infiltração .....	22
2.1.4.4. Uso e Ocupação do Solo .....	23
2.1.4.5. Aluviões e Cheias.....	24
2.1.5. Panorama Climatológico da Ilha da Madeira .....	26
2.1.5.1. Precipitação .....	27
2.1.5.2. Pluviometria .....	28
2.1.5.3. Infiltração e Ocupação do Solo .....	29
2.1.5.4. Histórico de Aluviões e Cheias na Ilha da Madeira .....	30
2.2. MEDIDAS DE PREVENÇÃO E MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS .....	32
2.2.1. Proteção Civil.....	32
2.2.2. Mitigação dos Impactos das Cheias .....	33
2.3. ORDENAMENTO TERRITORIAL.....	36
2.3.1. Objetivos .....	37
2.3.2. Sistema de Gestão e Planeamento do Território Português.....	39
2.3.3. Instrumentos de Gestão Territorial.....	39
2.3.3.1. Escala Nacional .....	40
2.3.3.2. Escala Regional.....	43
2.3.3.3. Escala Municipal.....	44
CAPÍTULO 3 .....	47

METODOLOGIA TEÓRICA .....	47
3.1. CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	48
3.1.1. Características geomorfológicas e fisiográficas da bacia hidrográfica .....	49
3.1.1.1. Caracterização geométrica .....	49
3.1.1.2. Caracterização dos canais de drenagem .....	52
3.1.1.3. Caracterização do relevo .....	63
3.1.2. Características hidrológicas da bacia hidrográfica .....	68
3.1.3. Medida de mitigação das cheias .....	74
CAPÍTULO 4 .....	79
OBTENÇÃO DE DADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS .....	79
4.1. OBTENÇÃO DOS DADOS .....	80
4.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	87
CAPÍTULO 5 .....	97
DISCUSSÃO E CONCLUSÃO .....	97
5.1. DISCUSSÃO.....	98
5.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	99
5.3. FUTURAS LINHAS DE INVESTIGAÇÃO .....	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	101
ANEXOS .....	113



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Mudanças previstas para os volumes de precipitação médios anuais nas bacias hidrográficas europeias em 2070, em comparação com 2000 – Análise pelo modelo ECHAM4 e HadCM3. (Fonte: Lehner et al., 2006). .....	2
Figura 2 - Incidência de cheias por ano das bacias hidrográficas entre 1998 e 2002. (Fonte: EEA, 2005). .....	3
Figura 3 - Inundação na Ilha da Madeira, 2010. (Fonte: BBC News, 2010).....	4
Figura 4 - Síntese da dissertação. (Fonte: Autor, 2020).....	6
Figura 5 - Ilha da Madeira - <i>ArcMap</i> . (Fonte: Autor, 2020). .....	10
Figura 6 - Tendência de redução populacional em Portugal e na RAM. (Fonte: SRETC, 2016). .....	10
Figura 7 - Estimativa de crescimento demográfico urbano. (Fonte: Moura, 2019). .....	11
Figura 8 - Distribuição do VAB na RAM por setor de atividade. (Fonte: SRETC, 2016). .....	11
Figura 9 - Variação do PIB per capita. (Fonte: SRETC, 2016).....	12
Figura 10 - Hóspedes nos estabelecimentos hoteleiros da RAM. (Fonte: SRETC, 2020 e DREM, 2016). .....	13
Figura 11 - Disposição dos arquipélagos ao longo da costa africana. (Fonte: Autor, 2020).....	14
Figura 12 - Aspeto geológico do grupo Madeira-Desertas-Porto Santo. (Fonte: Autor, 2020). .....	14
Figura 13 - Mapa de altitudes da Ilha da Madeira. (Fonte: Autor, 2020).....	15
Figura 14 - Síntese do ciclo hidrológico. (Fonte: Autor, 2020 adaptado de Alencar, 2017).....	16
Figura 15 - Formação da chuva orográfica. (Fonte: Porto Editora, 2019). .....	18
Figura 16 - Formação da chuva convectiva. (Fonte: Sousa, 2020). .....	19
Figura 17 - Formação da chuva ciclónica frontal. (Fonte: Sousa, 2020). .....	19
Figura 18 - Pluviómetro de 40 litros. (Fonte: Raig, 2020). .....	20
Figura 19 - Pluviógrafo. (Fonte: INSMART, 2020). .....	21
Figura 20 - Funcionamento do Radar Meteorológico. (Fonte: Albino & Prado, 2003). .....	21
Figura 21 - Hidrograma com a divisão dos tipos de escoamento. (Fonte: Lousada & Camacho, 2018). .....	22
Figura 22 - Cheia do Rio Itapemirim em Cachoeiro de Itapemirim, Brasil. (Fonte: Mendes, 2020)....	25
Figura 23 - Cheia costeira em Santos, Brasil. (Fonte: Cetesb, 2018).....	26
Figura 24 - Inundação na Ilha da Madeira. (Fonte: National Geographic Portugal, 2010).....	26
Figura 25 - Precipitação anual média na Ilha da Madeira. (Fonte: Autor, 2020). .....	27
Figura 26 - Precipitações médias mensais. (Fonte: Autor, 2020 adaptado de Gaspar & Portela, 2002)28	28
Figura 27 - Localização da vegetação densa na Ilha da Madeira. (Fonte: Autor, 2020). .....	29
Figura 28 - Classificação do solo da RAM segundo a <i>Corine Land Cover</i> , 2006. (Fonte: Autor, 2020). .....	30
Figura 29 - Carta de perigosidade da foz da ribeira da Ribeira Brava. (Fonte: SRA-DROTA, 2017)..	35
Figura 30 - Carta de consequências da foz da ribeira da Ribeira Brava. (Fonte: SRA-DROTA, 2017). .....	36
Figura 31 - Instrumentos de gestão territorial por escala. (Fonte: Autor, 2020 adaptado de Moura, 2019). .....	40
Figura 32 - Modelação 3D da bacia hidrográfica da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).....	48
Figura 33 - Representação de um hidrograma de entrada e saída. (Fonte: Lousada & Camacho, 2018). .....	48
Figura 34 - Transposição dos limites altimétricos para planimétricos. (Fonte: Autor, 2020). .....	50
Figura 35 - Exemplificação de uma bacia arredondada. (Fonte: Larara, 2020). .....	50
Figura 36 - Exemplificação de uma bacia alongada ou elíptica. (Fonte: Larara, 2020).....	50
Figura 37 - Exemplificação da bacia radial ou ramificada. (Fonte: Larara, 2020).....	51
Figura 38 - Hidrogramas de acordo com o tipo de bacia, onde A) arredondada; B) alongada e C) radial. (Fonte: Autor, 2020).....	51
Figura 39 - Representação dos cursos de água perenes. (Fonte: Lousada & Camacho, 2018). .....	53
Figura 40 - Representação dos cursos de água intermitentes. (Fonte: Lousada & Camacho, 2018). ...	53

Figura 41 - Representação dos cursos de água efémeros. (Fonte: Lousada & Camacho, 2018).....	53
Figura 42 - Exemplificação da metodologia proposta por Strahler. (Fonte: Guimarães, 2017).....	55
Figura 43 - Exemplificação da metodologia proposta por Shreve. (Fonte: Rennó & Soares, s.d.).....	56
Figura 44 - Comprimento e diretriz da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020). .....	60
Figura 45 - Representação dos padrões de drenagem: a) Anelar; b) Dendrítica; c) Paralela; d) Radial; e) Retangular; f) Treliça. (Fonte: Camacho, 2015). .....	62
Figura 46 - Curva hipsométrica da bacia hidrográfica de Machico. (Fonte: Autor, 2020). .....	63
Figura 47 - Carta hipsométrica da bacia hidrográfica de Machico. (Fonte: Autor, 2020). .....	63
Figura 48 - Perfil longitudinal da ribeira de Machico. (Fonte: Autor, 2020).....	65
Figura 49 - Mapa de declive em graus da bacia hidrográfica de Machico. (Fonte: Autor, 2020).....	67
Figura 50 - Mapa de declive em percentagem da bacia hidrográfica de Machico. (Fonte: Autor, 2020). .....	68
Figura 51 - Precipitação diária máxima anual expectável para bacia hidrográfica do Machico. (Fonte: Autor, 2020). .....	70
Figura 52 - Método HTS. (Fonte: Autor, 2020).....	78
Figura 53 - Flow Direction. (Fonte: Autor, 2020).....	80
Figura 54 - Bacias hidrográficas. (Fonte: Autor, 2020). .....	81
Figura 55 - Cursos de água. (Fonte: Autor, 2020).....	81
Figura 56 - Bacia hidrográfica da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020). .....	82
Figura 57 - Área (m <sup>2</sup> ) e perímetro (m) da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor). .....	83
Figura 58 - Classificação de Strahler da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020). .....	83
Figura 59 - Classificação de Shreve da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).....	84
Figura 60 - Mapa de declives em graus da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020). .....	84
Figura 61 - Mapa de declive em percentagem da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020). .....	85
Figura 62 - Comprimento do curso de água principal da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).....	85
Figura 63 - Perfil longitudinal do curso de água principal da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).....	86
Figura 64 - Curva hipsométrica da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020). .....	86
Figura 65 - Ribeira de Santa Luzia. (Fonte: Autor, 2020).....	93
Figura 66 - Representação do sobredimensionamento da metodologia. (Fonte: David & Carvalho, 2008). .....	95

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Bacias hidrográficas por concelho. (Fonte: Autor, 2020). .....	6
Tabela 2 - Tipologias de inundações com base nas causas. (Fonte: Ramos, 2009). .....	25
Tabela 3 - Síntese das principais aluviões na Ilha da Madeira. (Fonte: Autor, 2020 adaptado de Oliveira <i>et al.</i> , 2010; Caetano, 2014). .....	31
Tabela 4 - Zonas críticas de interesse. (Fonte: Autor, 2020 adaptado de SRA-DROTA, 2017).....	34
Tabela 5 - Risco em relação às inundações. (Fonte: SRA-DROTA, 2017). .....	35
Tabela 6 - Matriz de risco. (Fonte: SRA-DROTA, 2017). .....	35
Tabela 7 - Coeficiente de escoamento superficial. (Fonte: Autor, 2020 adaptado de Chow, 1964). ....	72
Tabela 8 - Coeficiente de redução. (Fonte: Autor, 2020 adaptado de Lencastre & Franco, 1992). .....	73
Tabela 9 - Coeficientes de rugosidade de Manning-Strickler. (Fonte: Cirilo, 2001; Gonçalves, 2016)	76
Tabela 10 - Tabela resumo. (Fonte: Autor, 2020). .....	88
Tabela 11 - Análise das áreas. (Fonte: Autor, 2020). .....	89
Tabela 12 - Análise da geometria. (Fonte: Autor).....	89
Tabela 13 - Análise da rede de drenagem. (Autor, 2020). .....	90
Tabela 14 - Precipitação diária máxima estimada para 100 anos. (Fonte: Autor, 2020).....	90
Tabela 15 - Coeficiente de repartição temporal (k) e intensidade de precipitação. (Autor, 2020).....	91
Tabela 16 - Coeficientes (b) e (C) utilizados para fórmula de Forti. (Autor, 2020).....	91
Tabela 17 - Coeficiente de escoamento superficial utilizado. (Fonte: Autor, 2020).....	91
Tabela 18 - Análise e dimensionamento dos dispositivos de mitigação. (Autor, 2020). .....	92
Tabela 19 - <i>Fill Rate</i> com o método Holandês (Fonte: Autor, 2020).....	94
Tabela 20 - Comprimento da bacia de detenção pelo método Holandês. (Fonte: Autor, 2020). .....	94
Tabela 21 - <i>Fill Rate</i> com o método HTS. (Fonte: Autor, 2020). .....	95
Tabela 22 - Comprimento da bacia de detenção pelo método HTS. (Fonte: Autor, 2020). .....	95
Tabela 23 - <i>Fill Rate</i> com a alteração do coeficiente de rugosidade. (Fonte: Autor, 2020).....	96

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

### SÍMBOLOS

<b>Pi</b>	Perigosidade
<b>d</b>	Profundidade da inundação
<b>v</b>	Velocidade de escoamento
<b>Kc</b>	Índice de Gravelius
<b>P</b>	Perímetro da bacia hidrográfica
<b>A</b>	Área da bacia hidrográfica
<b>K<sub>L</sub></b>	Fator de alongamento
<b>Le</b>	Comprimento equivalente
<b>le</b>	Largura equivalente
<b>K<sub>F</sub></b>	Fator de Forma
<b>L<sub>B</sub></b>	Comprimento da bacia hidrográfica
<b>R<sub>B</sub></b>	Grau de ramificação
<b>N<sub>i</sub></b>	Quantidade de canais com ordem “i”
<b>N<sub>i+1</sub></b>	Quantidade de canais com ordem imediatamente superior
<b>N<sub>1</sub></b>	Quantidade de canais de 1ª ordem
<b>tc</b>	Tempo de concentração
<b>L</b>	Comprimento do curso de água principal
<b>i</b>	Inclinação média do curso de água principal
<b>H<sub>m</sub></b>	Altura média da bacia hidrográfica
<b>t<sub>cm</sub></b>	Tempo de concentração médio
<b>t<sub>c</sub>'</b>	Tempo de concentração encontrado em cada metodologia
<b>n°</b>	Quantidade de metodologias utilizadas
<b>D<sub>D</sub></b>	Densidade de drenagem
<b>L<sub>T</sub></b>	Comprimento total dos cursos de água da bacia hidrográfica
<b>D<sub>H</sub></b>	Densidade hídrica
<b>N</b>	Quantidade de cursos de água na bacia hidrográfica
<b>L<sub>s</sub></b>	Extensão média do escoamento superficial
<b>S</b>	Grau de sinuosidade
<b>L<sub>d</sub></b>	Comprimento da diretriz
<b>Z<sub>m</sub></b>	Altitude média
<b>Z<sub>i</sub></b>	Altitude média entre curvas de nível
<b>A<sub>i</sub></b>	Área entre curvas de nível correspondentes à Z <sub>i</sub>
<b>H<sub>i</sub></b>	Altura média entre as curvas de nível
<b>Z<sub>mín</sub></b>	Altitude mínima
<b>C<sub>ms</sub></b>	Coefficiente de massividade
<b>C<sub>o</sub></b>	Coefficiente orográfico
<b>D<sub>m</sub></b>	Declive médio do curso de água principal
<b>H<sub>máx</sub></b>	Cota máxima do curso de água principal
<b>H<sub>mín</sub></b>	Cota mínima do curso de água principal
<b>Deq</b>	Declive equivalente
<b>Z<sub>eq</sub></b>	Altitude equivalente
<b>Z<sub>i</sub></b>	Altitude do trecho “i”
<b>Z<sub>i+1</sub></b>	Altitude do trecho subsequente “i+1”
<b>X</b>	Comprimento do trecho “i”
<b>X<sub>i+1</sub></b>	Comprimento do trecho subsequente “i+1”
<b>D<sub>10-85</sub></b>	Declive 10-85
<b>Z<sub>85</sub></b>	Altitude do curso de água à 85% do seu comprimento

<b>Z<sub>10</sub></b>	Altitude do curso de água à 10% do seu comprimento
<b>I<sub>Relevo</sub></b>	Índice de relevo da bacia
<b>H<sub>bmáx</sub></b>	Altura máxima da bacia hidrográfica
<b>H<sub>bmín</sub></b>	Altura mínima da bacia hidrográfica
<b>S'</b>	Desvio padrão
<b>Xi</b>	Valor amostral
<b>X<sub>m</sub></b>	Média amostral
<b>n'</b>	Quantidade amostral
<b>Kt</b>	Fator de frequência
<b>Tr</b>	Tempo de recorrência
<b>I</b>	Intensidade de precipitação
<b>Pest</b>	Precipitação diária máxima anual estimada
<b>k</b>	Coefficiente de repartição temporal
<b>Q<sub>[Forti]</sub></b>	Caudal de ponta de cheia pela equação de Forti
<b>b</b>	Parâmetro de Forti
<b>c</b>	Parâmetro de Forti
<b>Q<sub>[Pagliaro]</sub></b>	Caudal de ponta de cheia pela equação de Pagliaro
<b>Q<sub>[Racional]</sub></b>	Caudal de ponta de cheia pelo método Racional
<b>C</b>	Coefficiente de escoamento superficial
<b>Q<sub>[Giandotti]</sub></b>	Caudal de ponta de cheia pela equação de Giandotti
<b>λ</b>	Coefficiente de redução de Giandotti
<b>P<sub>máx</sub></b>	Altura de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração
<b>Q<sub>[Mockus]</sub></b>	Caudal de ponta de cheia pela equação de Mockus
<b>P<sub>útil</sub></b>	Precipitação útil
<b>Q<sub>p</sub></b>	Caudal de precipitado
<b>Q<sub>m</sub></b>	Capacidade de escoamento da foz
<b>R</b>	Raio hidráulico
<b>n</b>	Coefficiente de rugosidade
<b>B</b>	Largura da secção de escoamento da foz
<b>h</b>	Altura da secção de escoamento da foz
<b>A<sub>m</sub></b>	Área da secção de escoamento da foz
<b>E<sub>c</sub></b>	Energia cinética
<b>m</b>	Massa
<b>Q</b>	Caudal
<b>A<sub>s</sub></b>	Área da secção
<b>Q<sub>s</sub></b>	Caudal de saída do descarregador
<b>L<sub>sd</sub></b>	Largura da soleira do descarregador
<b>H<sub>d</sub></b>	Altura da água acima da cota da soleira do descarregador
<b>V<sub>a</sub></b>	Volume de armazenamento
<b>V<sub>p</sub></b>	Volume precipitado
<b>V<sub>s</sub></b>	Volume de saída do descarregador

## SIGLAS

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CEOT	Carta Europeia do Ordenamento do Território
COSRAM	Carta de Ocupação de Solos da Região Autónoma da Madeira
DGT	Direção Geral do Território
DREM	Direção Regional de Estatística da Madeira
DROTA	Direção Regional do Ordenamento do Território e Ambiente
EEA	Agência Europeia do Ambiente
EN	Norma Europeia
FR	<i>Fill Rate</i>
HTS	Hidrograma Triangular Simplificado
IGA	Investimentos e Gestão de Água
IGT	Instrumentos de Gestão Territorial
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
LBPOTU	Lei de Bases da Política de Ordenamento do Território e de Urbanismo
LREC	Laboratório Regional de Engenharia Civil
MDT	Modelo Digital do Terreno
OT	Ordenamento do Território
PIB	Produto Interno Bruto
PC	Proteção Civil
PDM	Planos Diretores Municipais
PERRAM	Plano Estratégico de Resíduos da Região Autónoma da Madeira
PGRI-RAM	Plano de Gestão dos Riscos de Inundações da RAM
PNPOT	Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território
POT	Plano de Ordenamento Turístico
PEOT	Planos Especiais de Ordenamento do Território
PIMOT	Planos Intermunicipais de Ordenamento do Território
PMOT	Planos Municipais de Ordenamento do Território
POAAP	Planos de Ordenamento de Albufeiras de Águas Públicas
POAP	Planos de Ordenamento de Águas Protegidas
POOC	Planos de Ordenamento da Orla Costeira
POPA	Planos de Ordenamento de Parques Arqueológicos
PP	Planos de Pormenor
PPERAM	Plano de Política Energética da RAM
PRAM	Plano Regional da Água da Madeira
PROT	Planos Regionais de Ordenamento do Território
PRPA	Plano Regional de Política do Ambiente
PS	Planos Setoriais
PU	Planos de Urbanização
RAM	Região Autónoma da Madeira
RGSPDADAR	Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais
RJGT	Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
SRA	Secretaria Regional do Ambiente e Recursos Hídricos
SRETC	Secretaria Regional da Economia, Turismo e Cultura
VAB	Valor Acrescentado Bruto

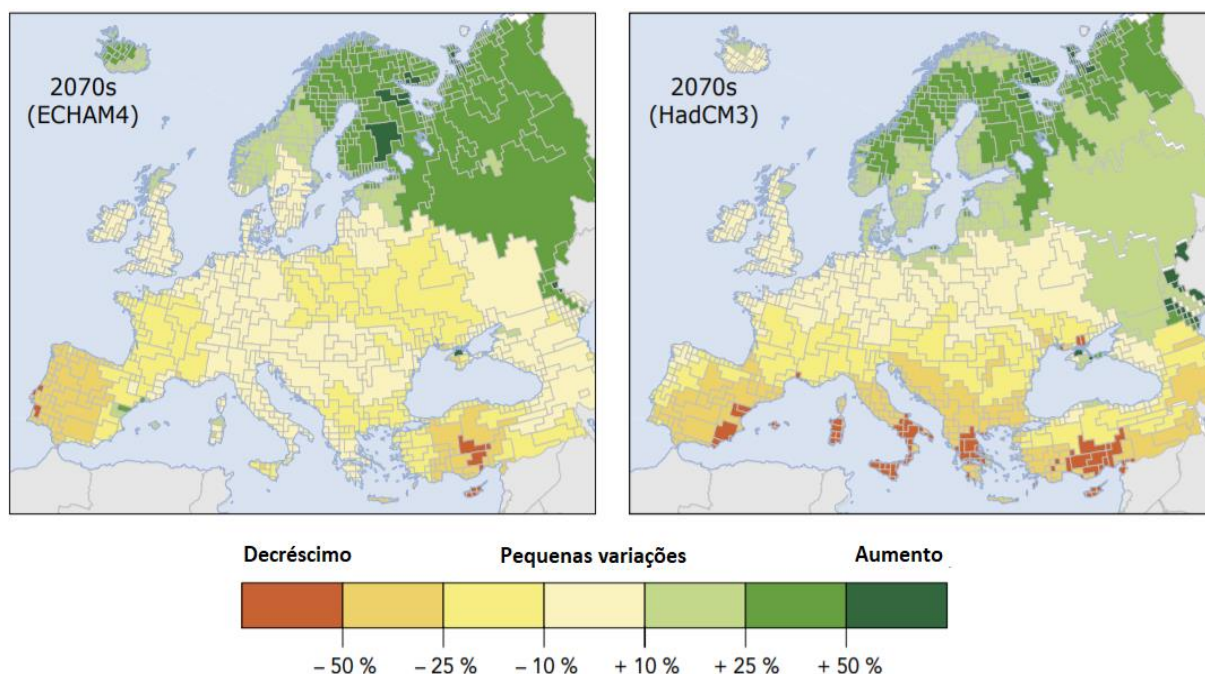


CAPÍTULO I  
INTRODUÇÃO

## 1.1. JUSTIFICATIVA

Provenientes do próprio ciclo meteorológico da Terra e agravado por questões praxeológicas<sup>1</sup>, os fenómenos climáticos extremos apresentam-se de forma cada vez mais frequentes e intensos, ocasionando graves problemas ambientais, sociais e económicos (Tucci, 1993a; Franco & Fill, 2004; Borrego *et al.*, 2009; Moreira & Ramos, 2016; Gonçalves, 2016; Gonçalves & Lousada & Cabezas, 2019). De acordo com Camacho (2015), a análise de modelos de alterações climáticas prevê esta mudança, a qual tende a originar ainda mais prejuízos para a população.

Um dos fenómenos que se torna cada vez mais frequente e destrutivo, corresponde às cheias, devido ao crescimento desordenado das cidades sem um planeamento urbano adequado à sua realidade (Freitas & Andrade, 2007). Evidencia-se que “*as cheias constituem o tipo de catástrofe natural mais habitual na Europa. Segundo a base de dados internacional sobre catástrofes [...] as cheias representam 43% de todas as catástrofes que se produziram durante o período compreendido entre 1998 e 2002 (EEA, 2005)*”. Conforme apontado por Lehner *et al.* (2006), Figura 1, estima-se mudanças consideráveis do cenário de cheias no continente europeu até 2070.



**Figura 1 - Mudanças previstas para os volumes de precipitação médios anuais nas bacias hidrográficas europeias em 2070, em comparação com 2000 – Análise pelo modelo ECHAM4<sup>2</sup> e HadCM3<sup>3</sup>. (Fonte: Lehner *et al.*, 2006).**

As cheias podem ser definidas como fenómenos hidrológicos extremos e de frequência variável, de caráter natural ou por indução humana, consistindo no transbordo de um curso de água (Chow, 1956;

<sup>1</sup> A “Praxeologia” advinda do grego *praxis* (ação) refere-se ao estudo da conduta humana, e tem como objetivo entender as causas e as consequências das ações do indivíduo, de forma a poder controlar ou induzir comportamentos que beneficiem a sociedade como um todo. O termo difundiu-se nas obras do economista austríaco Ludwig Von Mises como uma forma eficiente de entender a dinâmica económica de uma sociedade.

<sup>2</sup> O ECHAM4 trata-se de um modelo desenvolvido pela ECMWF em conjunto com um pacote de parametrização elaborado em Hamburgo, utilizado para as simulações das variações climáticas.

<sup>3</sup> O HadCM3 é um modelo acoplado de circulação atmosférica e oceânica, desenvolvido pela Hadley Centre, Reino Unido.

Guedes, 2014). Com o elevado índice de urbanização e os fatores climáticos naturais, as cheias tornaram-se uma das principais problemáticas enfrentadas por diversas cidades em todo o mundo, principalmente nas regiões tropicais (Tucci, 1993a; Barichivich *et al.*, 2018; Gonçalves & Lousada & Cabezas, 2019).

Este facto dá-se pelo aumento da impermeabilidade do solo e o conseqüente acréscimo do escoamento superficial, de forma a conduzir o volume de água precipitado para zonas a jusante (Canholi, 2005). Além disso, a construção de estradas próximas à foz das ribeiras pode se tornar um entrave para o escoamento do caudal precipitado, aumentando o risco de danos materiais e perdas humanas durante uma inundação (Caetano, 2014).

Hough (1998) e Silva & Santiago (2007) inferem que as áreas urbanas estão consideravelmente mais suscetíveis aos riscos e prejuízos, uma vez que são nestas zonas em que se concentram a maior parcela habitacional e comercial. Portanto, é provável que mediante o desenvolvimento urbano em zonas que anteriormente eram planícies de inundação aumente a magnitude das conseqüências negativas dos episódios de inundações em determinadas zonas, contribuindo com o risco de inundações a jusante do rio devido à canalização do volume precipitado não infiltrado no solo (Campana & Tucci, 1994; EEA, 2005). Considerando a base de dados EM-DAT que registou 238 inundações entre 1975 e 2001, houve um acréscimo na incidência de cheias anuais entre 1998 e 2002, conforme apresentado na Figura 2.

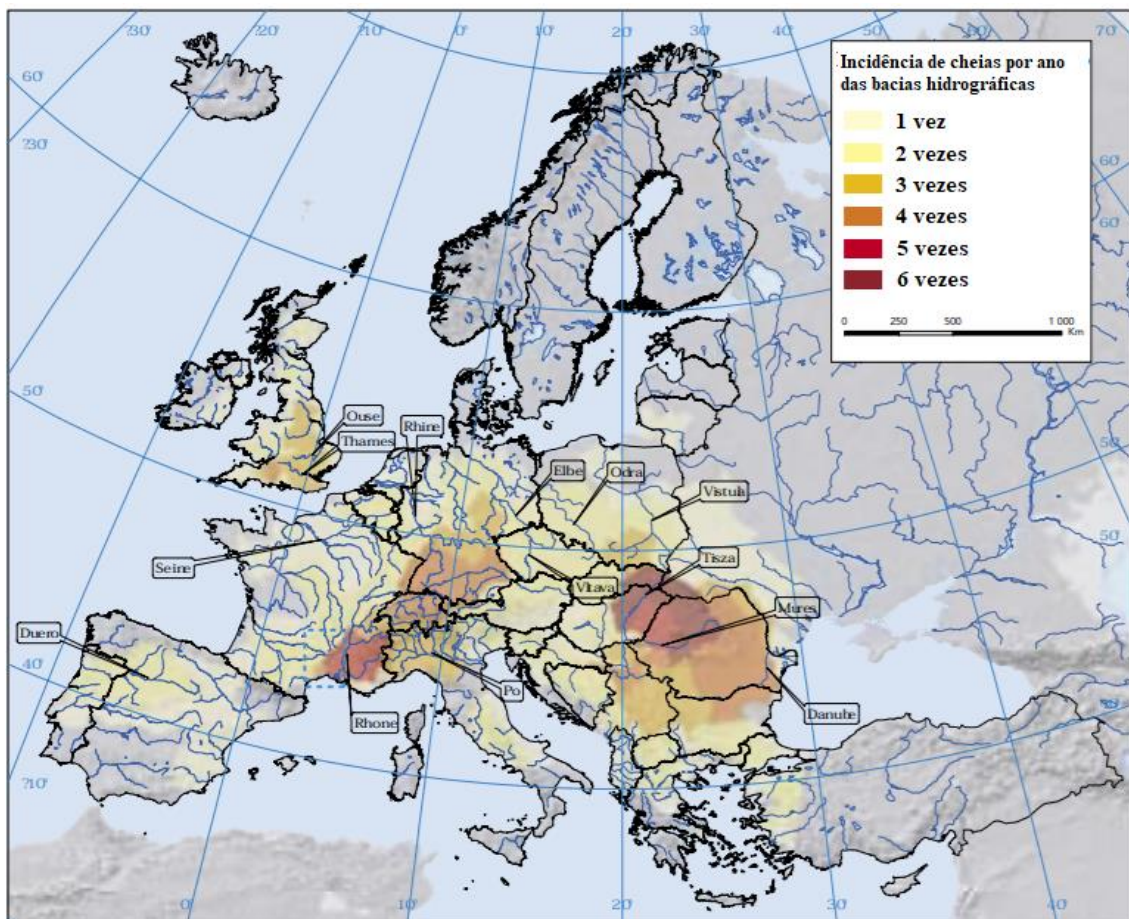


Figura 2 - Incidência de cheias por ano das bacias hidrográficas entre 1998 e 2002. (Fonte: EEA, 2005).

No âmbito regional, verificaram-se no último século diversos registos de cheias severas e com tempo de recorrência inferiores a 10 anos em toda Ilha da Madeira, sendo necessárias ações, políticas públicas e mecanismos de mitigação dos impactos originários deste fenómeno (Caetano, 2014). Ainda segundo

o autor, a ocorrência deste fenómeno na Ilha da Madeira é histórica, sendo o acontecimento de 1803 considerado a maior catástrofe já ocorrida na ilha. Já no início deste século, em 20 de fevereiro de 2010 o evento volta a ocorrer, e infelizmente originou mais de 40 óbitos, centenas de feridos, além de todo o prejuízo social e económico.



**Figura 3 - Inundação na Ilha da Madeira, 2010. (Fonte: BBC News, 2010).**

Neste contexto, torna-se necessário um estudo aprofundado e preciso das condições que tendem a propiciar o agravamento dos eventos supracitados, no caso das cheias – *e.g.* geomorfologia, geologia, hidrologia, índice de impermeabilização do solo, declividade, densidade de drenagem etc. – e a implementação de medidas de mitigação dos impactos originados por este evento (Warner *et al.*, 2008). De acordo com Caetano (2014), mesmo que não seja possível extinguir os impactos destes eventos, os efeitos podem ser minimizados e a quantidade de danos materiais e vítimas mortais pode ser reduzida no futuro. Para tal, é necessário a conscientização por parte da sociedade – *i.e.* cidadãos e governantes – para a adoção de mecanismos de gestão de risco das zonas mais sensíveis como – *e.g.* Funchal, Machico, Ribeira Brava e São Vicente.

*“As modificações previstas da precipitação terão impactos no ciclo urbano da água (como, por exemplo, quantidade de água intercetada, precipitada, infiltrada, escoada), sendo necessário incorporá-las no planeamento e gestão da água nas áreas urbanas, especialmente no que diz respeito à conceção e gestão de sistemas de drenagem (Camacho, 2015)”.*

A distribuição espacial dos cursos de água (principais e afluentes) modificados pelas ações antrópicas – *i.e.* canais artificiais – apresentam-se como uma das tentativas de amenização dos efeitos destrutivos desta problemática (Reis, 2015; Moura, 2019). Nota-se que *“a concentração de edifícios, estradas e população nas zonas envolventes dos cursos de água levam a alterações sucessivas no leito original [...] que por sua vez intensificam as consequências que advêm de uma cheia espontânea (Camacho, 2015)”*. Portanto, a implementação de um leito em betão além de permitir um melhor escoamento devido à redução do atrito com a água, torna-se um mecanismo de proteção ao leito original, evitando a intensificação das consequências destrutivas das cheias, conforme supracitado.

Evidencia-se, portanto, a necessidade de conhecer os diversos aspetos que envolvem a problemática explicitada, através de uma abordagem multidisciplinar e que atenda os requisitos impostos pelo Método Científico<sup>4</sup>. Para Partidário (1999), é neste momento que urge a necessidade de implementação dos conceitos de ordenamento territorial, uma vez que a degradação ambiental das cidades conduziu à apologia da reincorporação da natureza na cidade e o respetivo planeamento físico do espaço. Neste

<sup>4</sup> O “Método Científico” refere-se a um conjunto de regras básicas para a produção do conhecimento científico, tanto para novos conhecimentos quanto para o aprimoramento de um estudo já existente. Em grande parte das disciplinas científicas, a metodologia consiste em reunir evidências empíricas/experimentais verificáveis com teorias que tendem a explicar determinado fenómeno.

sentido, Castanho *et al.* (2017) estabelecem que “[...] a presença de elementos e valores naturais nas cidades é hoje condição fundamental para a recuperação ambiental do território urbano<sup>5</sup>”.

Conforme abordado por Fadigas (2015) e Loures (2011), os sistemas naturais e urbanos são componentes coexistentes no mesmo espaço, sendo a sua gestão integrada um requisito primordial do espaço regional e uma condição para alcançar o objetivo da sustentabilidade nos territórios e cidades, “[...] assim como a existência agroflorestal nas periferias das cidades e os espaços verdes dentro do tecido urbano representam um aumento da qualidade ambiental, a qual o planeamento urbano deve fortalecer e melhorar (Castanho *et al.*, 2017)<sup>6</sup>”. Portanto, evidencia-se que o sistema de planeamento urbano está diretamente ligado aos efeitos das transformações urbanas, as quais surgiram com o crescimento urbanístico das cidades, e os respetivos conflitos que a aglomeração e as deslocações propiciaram (Amado, 2002).

Por fim, uma vez que a Ilha da Madeira apresenta um histórico de cheias por toda sua extensão territorial, analisar-se-á as ribeiras de alguns dos concelhos com maior índice de urbanização – *e.g.* Funchal, Machico, Ribeira Brava, e São Vicente – como forma de endossar a necessidade de implementação de medidas de prevenção e mitigação dos efeitos dos fenómenos extremos, através de políticas públicas e de planeamento urbano.

Neste sentido, com o presente estudo objetiva-se:

1. Caracterizar e desenvolver ferramentas de modelação numérica unidimensional de escoamentos em linhas de água (ribeiras), com aplicação a um trecho da ribeira de cada um dos concelhos da RAM (Funchal, Machico, Ribeira Brava, e São Vicente). Este trecho irá reunir uma série de dados físicos relevantes, apresentando riscos que exigem um diagnóstico tão preciso quanto possível. Esta modelação é complementada com análises de sensibilidade a diversos parâmetros, – *e.g.* coeficientes de rugosidade do leito (Manning-Strickler); condições de fronteira a montante; índice de urbanização local; dimensões das bacias hidrográficas; densidade de drenagem; tempo de concentração; análise probabilística de cheias com base no histórico etc;
2. Análise dos parâmetros calculados para a verificação da suscetibilidade às cheias de cada uma das bacias hidrográficas estudadas;
3. Verificação da necessidade de implementação de uma bacia de retenção para o controlo e regularização do caudal na foz (e o respetivo dimensionamento, caso necessário);
4. Articulação dos modelos propostos com as diretrizes de planeamento urbano em vigor na RAM;
5. Análise do impacto territorial pelo modelo proposto.

## 1.2. METODOLOGIA

À *priori*, efetuou-se uma vasta revisão bibliográfica – *i.e.* artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutoramento – com o intuito de verificar os principais parâmetros que sugerem a suscetibilidade de uma bacia hidrográfica relativamente a problemas de cheias, bem como as metodologias mais utilizadas globalmente para a determinação dos mesmos. Este processo também se tornou necessário para a verificação das legislações vigentes na RAM, no âmbito do Planeamento Urbano.

---

<sup>5</sup> Tradução do espanhol: “La presencia de elementos y valores naturales en la ciudad es hoy condición fundamental para la recuperación ambiental del territorio urbano”.

<sup>6</sup> Tradução do espanhol: “[...] así como la existencia agroflorestal en las periferias de las ciudades y los espacios verdes dentro del tejido urbano representan un aumento de la calidad ambiental, que el planeamiento urbano debe fortalecer y mejorar”.

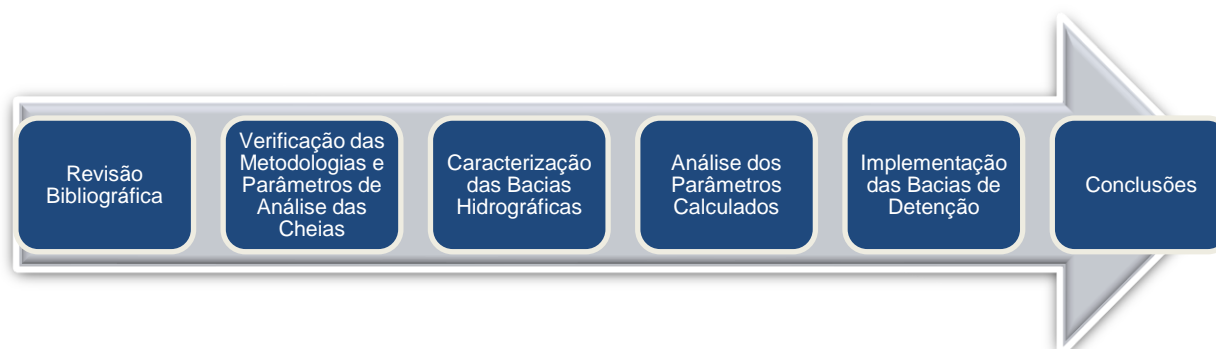
Posteriormente, através dos ficheiros MDT (Modelo Digital do Terreno) fornecidos pelo LREC (Laboratório Regional de Engenharia Civil) e com o auxílio do *software ArcGIS*, procedeu-se a caracterização das bacias hidrográficas mais relevantes de cada um dos concelhos supracitados, Tabela 1. Através deste procedimento foram retirados os valores geomorfológicos das bacias em estudo, os quais em seguida foram aplicados nas formulações de diversos autores, como forma de estabelecer valores médios e mais fiáveis, devido aos desvios encontrados em cada método utilizado.

**Tabela 1 - Bacias hidrográficas por concelho. (Fonte: Autor, 2020).**

Concelho	Bacias Hidrográficas
<b>Funchal</b>	São João
	Santa Luzia
	João Gomes
<b>Ribeira Brava</b>	Ribeira Brava
	Tabua
<b>Machico</b>	Machico
	Canical
	Porto da Cruz
	Água de Pena
<b>São Vicente</b>	São Vicente

A próxima etapa consistiu na análise quantitativa dos caudais precipitados em eventos raros (tempo de retorno de 100 anos), através do estudo probabilístico feito por meio do histórico de precipitações em cada uma das bacias. É necessário enfatizar que algumas das bacias hidrográficas não possuíam estações udométricas dentro da sua área de contribuição, sendo necessário utilizar os valores de estações próximas. Outro ponto importante é o facto de muitos dos relatórios de precipitação estarem incompletos, o que pode prejudicar a análise amostral. Estes dados foram retirados do *website* do SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos). Neste contexto, utilizou-se os valores máximos diários em cada ano (com base nas estações udométricas presentes) e aplicada a metodologia da Distribuição Probabilística de Gumbel, com o auxílio do *software Microsoft Excel*.

À *posteriori*, verificou-se a capacidade de escoamento da foz das principais ribeiras de cada concelho através da fórmula de Manning-Strickler, comparando-a com o caudal expectável para um evento com recorrência de 100 anos. Neste caso, o principal entrave relaciona-se com o não conhecimento das reais dimensões da foz de determinadas bacias hidrográficas, sendo necessário utilizar valores aproximados e medidos através de georreferenciação. Verificada a insuficiência de escoamento da foz, dimensionou-se uma Bacia de Detenção para a regularização do caudal excedente, respeitando a realidade geográfica local e a presença de estruturas antrópicas construídas nas proximidades. Por fim, a elaboração desta dissertação de mestrado pode ser sintetizada através do seguinte organograma, Figura 4.



**Figura 4 - Síntese da dissertação. (Fonte: Autor, 2020).**

### 1.3. ESTRUTURA

Esta dissertação tem como finalidade a conclusão do Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade da Madeira, sendo composta por cinco capítulos, que são organizados da seguinte forma:

- I. O primeiro capítulo é composto pela justificação para o estudo da temática, de forma a explicitar os respetivos objetivos, metodologia e estrutura;
- II. No segundo capítulo é abordado o estado da arte, referindo-se às temáticas de planeamento urbano para cada um dos concelhos em estudo, utilizando as suas respetivas legislações vigentes;
- III. O terceiro capítulo contempla o enquadramento teórico que servirá como base para a caracterização das bacias hidrográficas em estudo. Este capítulo apresenta também a análise da precipitação através da descrição do modelo estatístico/probabilístico para a determinação do caudal de ponta de cheia a ser utilizado para o dimensionamento das Bacias de Detenção;
- IV. O quarto capítulo compõe-se pela descrição minuciosa da caracterização das bacias hidrográficas pelo *software ArcGIS*, além da análise dos valores obtidos, comparando-os com os parâmetros de referência encontrados nas revisões bibliográficas;
- V. A dissertação conclui-se no quinto capítulo onde são feitas as considerações finais de todo estudo efetuado, indicando os resultados encontrados de acordo com os objetivos pré-estabelecidos. Neste capítulo encontram-se presentes as sugestões para estudos posteriores.



## CAPÍTULO 2

# ENQUADRAMENTO DA REGIÃO EM ESTUDO

## 2.1. ENQUADRAMENTO LOCAL

### 2.1.1. Localização e População

O Arquipélago da Madeira localiza-se no Atlântico Norte, mais precisamente na região denominada Macaronésia, compreendida entre os paralelos 30° 01' N e 33° 08' N e os meridianos 15° 51' W e 17° 30' W de *Greenwich* (Fernandes, 2009). Possuindo um total de 796,77 km<sup>2</sup>, o arquipélago é composto pela Ilha da Madeira, a maior e mais importante ilha do conjunto, com área de 736,75 km<sup>2</sup>; pelo Porto Santo, com 42,17 km<sup>2</sup>; pelas Desertas, com 14,23 km<sup>2</sup> e pelas Selvagens, com 3,62 km<sup>2</sup> (Prada *et al.*, 2005).



Figura 5 - Ilha da Madeira - ArcMap. (Fonte: Autor, 2020).

Os censos de 2011 estimavam que na Ilha da Madeira habitavam aproximadamente 267.785 pessoas, com uma densidade populacional de 336 hab/km<sup>2</sup>, ou seja, quase o triplo do valor encontrado em Portugal Continental, com 115 hab/km<sup>2</sup> (Moura, 2019). Porém, segundo a Secretaria Regional da Economia, Turismo e Cultura (SRETC, 2016), Portugal Continental e a Região Autónoma da Madeira (RAM) apresentavam uma forte tendência de redução populacional ao longo dos próximos anos, conforme apresentado na Figura 6.

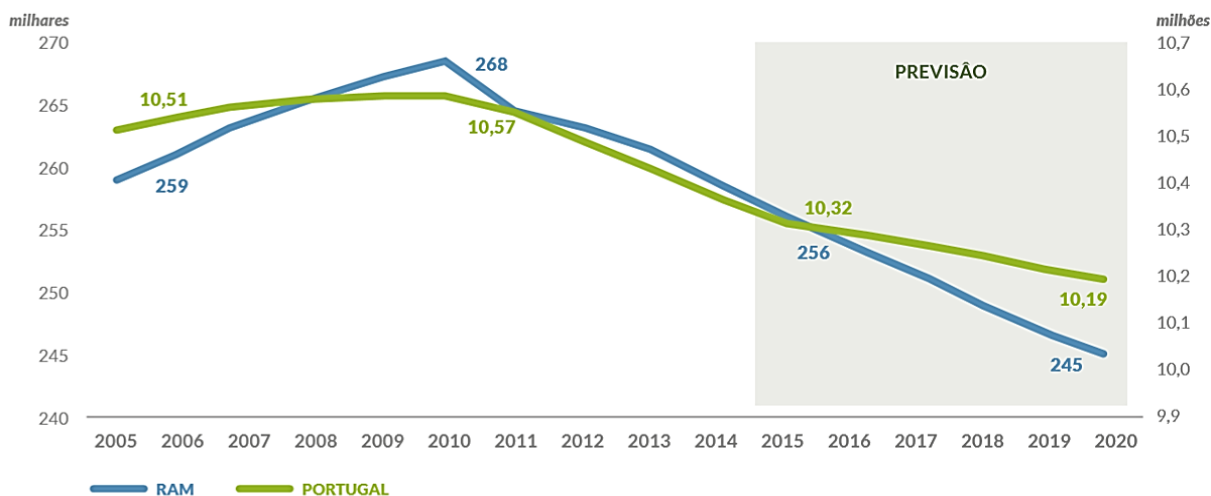
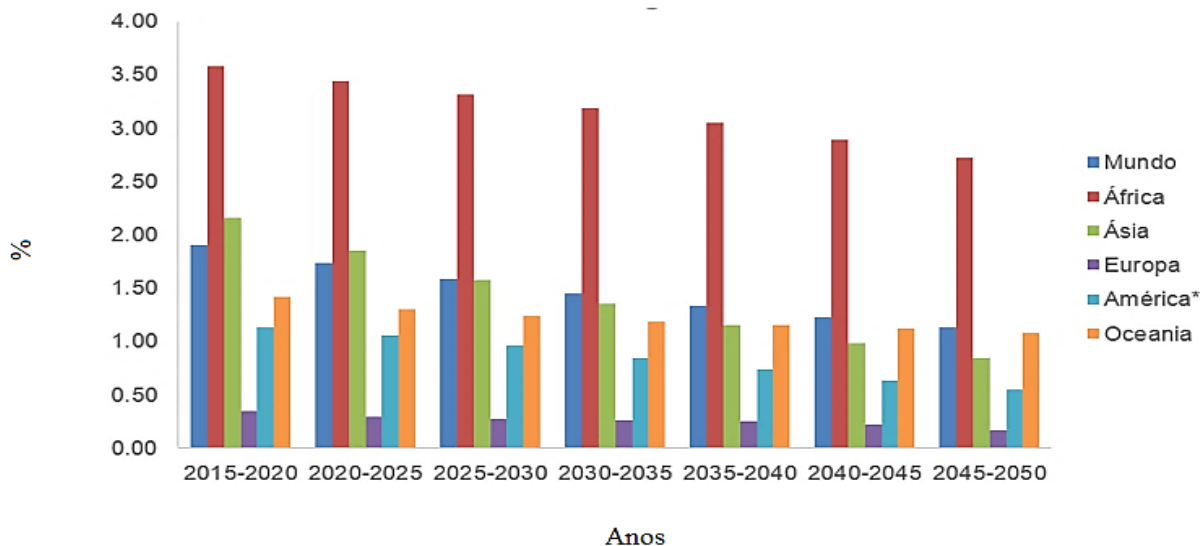


Figura 6 - Tendência de redução populacional em Portugal e na RAM. (Fonte: SRETC, 2016).

De acordo com o gráfico, Figura 7, apresentado por Moura (2019), o baixo crescimento demográfico é um fenómeno muito mais forte no cenário europeu em comparação com os outros continentes. Apesar disto, nota-se também que é esperado uma redução da taxa de crescimento populacional em todo o globo.



\* Valor obtido através de uma média ponderada.

Figura 7 - Estimativa de crescimento demográfico urbano. (Fonte: Moura, 2019).

Por fim, conforme o expectável, “de acordo com as Estimativas da População Residente, em 31 de dezembro de 2018, residiam na Região Autónoma da Madeira (RAM) 253.945 pessoas, das quais 118.585 homens e 135.360 mulheres (DREM, 2020)”. Neste sentido, verifica-se que mesmo de forma mais subtil, manteve-se a tendência de decréscimo populacional sugerida em 2011.

### 2.1.2. Economia Local

A economia da RAM é essencialmente terceirizada, onde aproximadamente 84,8% do Valor Acrescentado Bruto (VAB) dá-se no sector de serviços (Nunes *et al.*, 2014), conforme demonstrado na Figura 8.

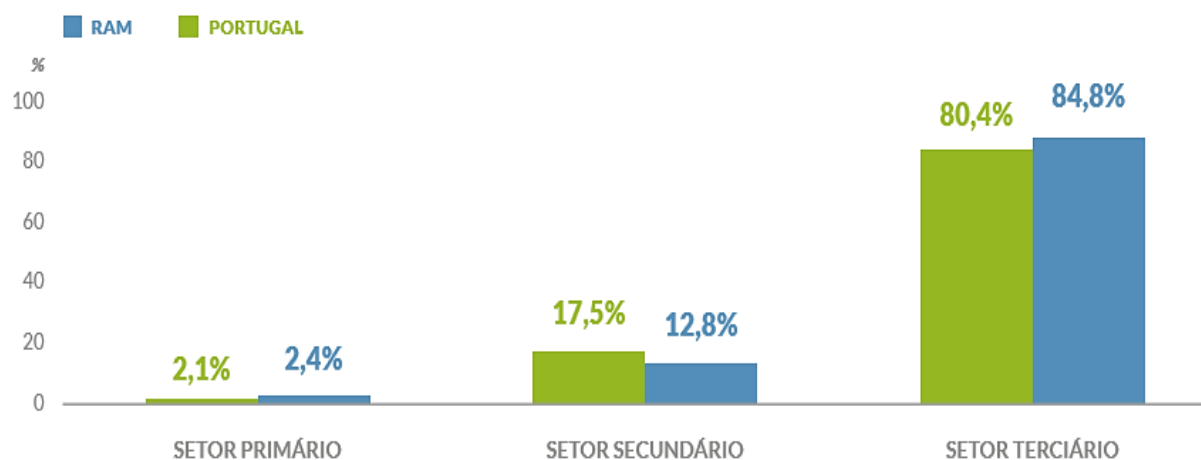


Figura 8 - Distribuição do VAB na RAM por setor de atividade. (Fonte: SRETC, 2016).

O sector secundário, “a construção assume ainda um papel de relevo no total do emprego na Madeira (6,9%), tendo em termos homólogos registado um ligeiro aumento (Comissão Europeia, 2019)”. Já no sector primário, o qual representa 10,6% do emprego na ilha, “adquire importância quase exclusiva a atividade agrícola [...] evidencia-se nesta área as produções de banana, dirigida sobretudo ao consumo local e do Continente português, e do internacionalmente conhecido Vinho da Madeira (Comissão Europeia, 2019)”.

No que se refere ao produto interno bruto (PIB) per capita, até 2008 a RAM e Portugal Continental possuíam valores muito próximos, porém, a partir desse ano o valor da RAM é substancialmente inferior ao de Portugal Continental, Figura 9.

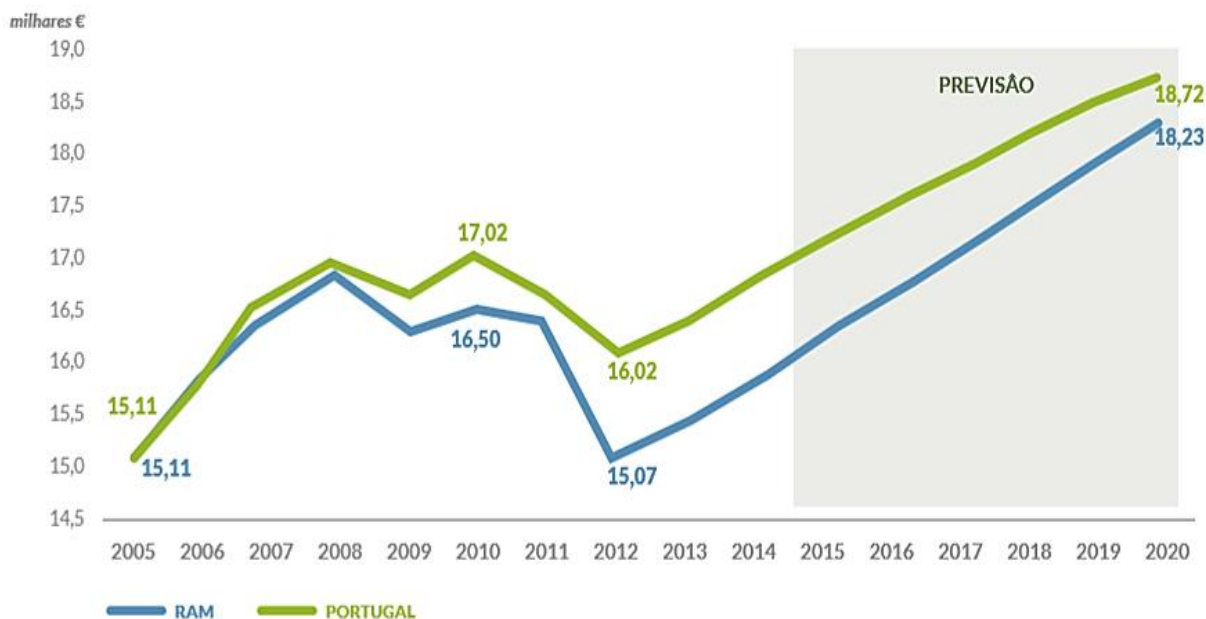


Figura 9 - Variação do PIB per capita. (Fonte: SRETC, 2016).

Nota-se que a queda abrupta do PIB per capita de 2008 a 2012 pode ser explicada pela grande crise económica internacional vivenciada nesses anos e que atingiram diversos setores da economia. Segundo Nunes *et al.* (2014), o turismo é a atividade mais relevante no âmbito regional, sendo um dos pilares e catalisadores da economia local. Ainda de acordo com o autor, através de diversos estudos que contemplam as dinâmicas empresariais que este sector abrange, estima-se que o turismo tende a afetar entre 25% e 30% do PIB da RAM, além de ser responsável por cerca de 12% a 15% dos postos de trabalho.

Neste contexto, “Em cinco anos (2007-2012), a taxa de atividade na região caiu quase 10% e a taxa de desemprego passou de 6,8% para 17,5%, uma trajetória claramente mais penalizadora que a verificada no país (Nunes *et al.*, 2014)”.

Portanto, com a baixa procura pela hotelaria no período de 2008 a 2012, entende-se esta como a causa do maior impacto gerado na RAM em comparação com Portugal Continental. Conforme pode ser verificado na Figura 10, o declínio da procura turística corresponde precisamente com a drástica redução do PIB per capita verificado na Figura 9.

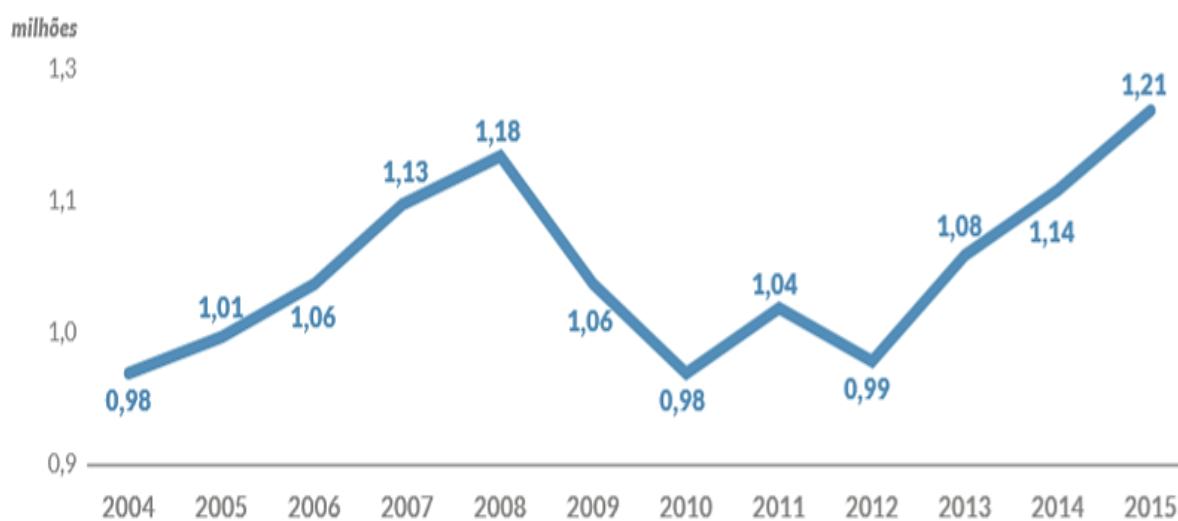


Figura 10 - Hóspedes nos estabelecimentos hoteleiros da RAM. (Fonte: SRETC, 2020 e DREM, 2016).

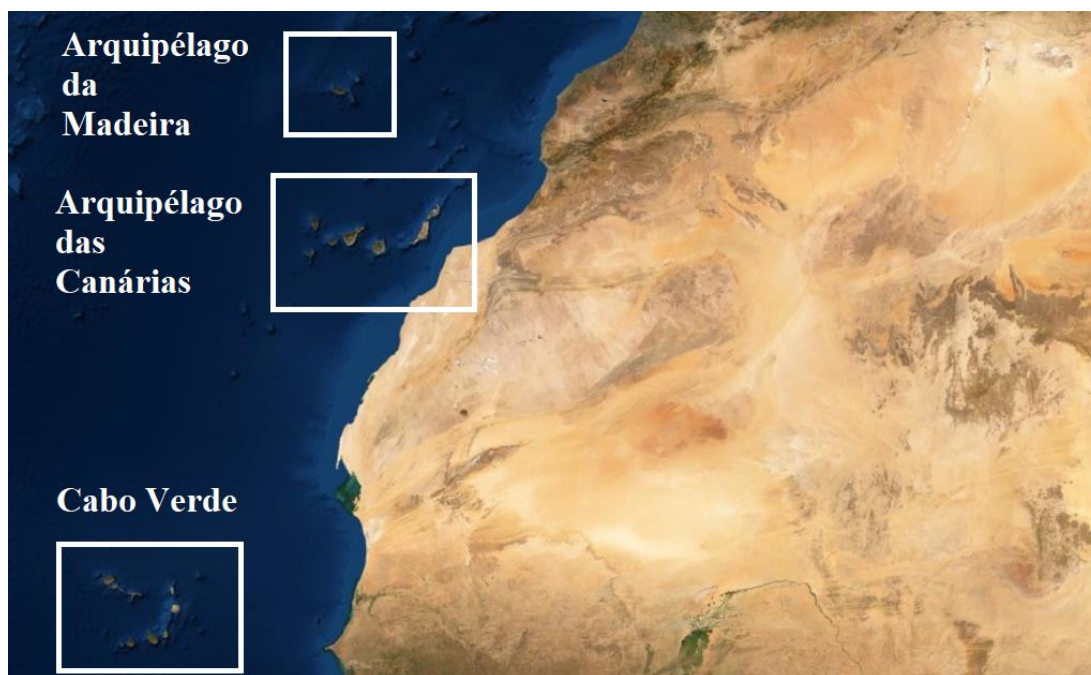
### 2.1.3. Formação Geomorfológica

A formação geológica das ilhas que compõem o Arquipélago da Madeira caracteriza-se por ser de origem vulcânica, localizando-se na zona central da Ilha da Madeira as regiões com maior altitude, podendo atingir 5,3 km acima da planície abissal que a envolve, denominada Planície Abissal da Madeira (Fernandes, 2009). Conforme abordado por Mata *et al.* (2013), a Planície Abissal da Madeira possui cerca de 68000 km<sup>2</sup>, sendo formada essencialmente pela acumulação de turbiditos onde se intercalam finas unidades pelágicas, atingindo aproximadamente 19180 km<sup>3</sup> e espessuras superiores à 400 m.

*“A principal ilha do arquipélago (Madeira) constitui o extremo meridional de dois importantes alinhamentos fisiográficos [...] para Nor-Nordeste, e por cerca de 1400 km, estende-se a Crista Madeira-Tore englobando, também, Porto Santo e os montes submarinos de Dragon, Lion Josephine, Ashton e Tore [...] para Nordeste desenvolve-se, por cerca de 700 km, um outro alinhamento que para além da Madeira inclui os montes submarinos de Seine, Unicorn, Ampere e Ormonde. (Mata et al., 2013)”*.

Segundo Heezen & Tharp & Ewing (1963); Laughton & Roberts & Graves (1975); Silva (2003) e Fernandes (2009), estas ilhas têm origem ao longo de um acidente estrutural que se estende entre as latitudes de Cabo Verde e da costa portuguesa, Figura 11, com uma direção quase paralela à dorsal Médio-Atlântica e uma área de aproximadamente 80000 km<sup>2</sup>. Para Carvalho & Brandão (1991), os relevos encontrados no fundo oceânico a Oeste da rampa continental africana são estruturas advindas, maioritariamente, da edificação de conjuntos complexos de aparelhos vulcânicos, abrangendo a Madeira e Porto Santo.

Por outra perspetiva, as edificações vulcânicas que culminam na Selvagem Grande, Selvagem Pequena e ilhéus adjacentes estabelecem um alinhamento Nordeste-Sudoeste, o qual se prolonga até ao monte submarino Dacia, tendo uma orientação próxima à das ilhas de Fuerteventura e Lanzarote, as quais compõem o Arquipélago das Canárias (Mata *et al.*, 2013).



**Figura 11 - Disposição dos arquipélagos ao longo da costa africana. (Fonte: Autor, 2020).**

No que se refere à sismicidade do grupo Madeira-Desertas-Porto Santo, Figura 12, Carvalho & Brandão (1991) e Mata *et al.* (2013) sugerem que a atividade sísmica na região é baixa, onde a maior parte dos casos apresentam-se como um reflexo dos sismos ocorridos na fronteira das placas Açores-Gibraltar ou até mesmo nas falhas geológicas ativas que compõem as plataformas continentais oeste-ibérica e africana. Geologicamente, o posicionamento do referido grupo limita-se pelas anomalias magnéticas<sup>7</sup> M16 e M4, enquanto as Selvagens situam-se próximas à anomalia M25, o que infere que o conjunto supracitado em regiões cuja crosta oceânica possui entre 125 e 156 milhões de anos.



**Figura 12 - Aspeto geológico do grupo Madeira-Desertas-Porto Santo. (Fonte: Autor, 2020).**

Verifica-se na região um valor de admitância<sup>8</sup> relativamente alto, podendo ser comparada com uma espessura litosférica de centenas de quilómetros (Cazenave & Dominh & Rabinowicz., 1988),

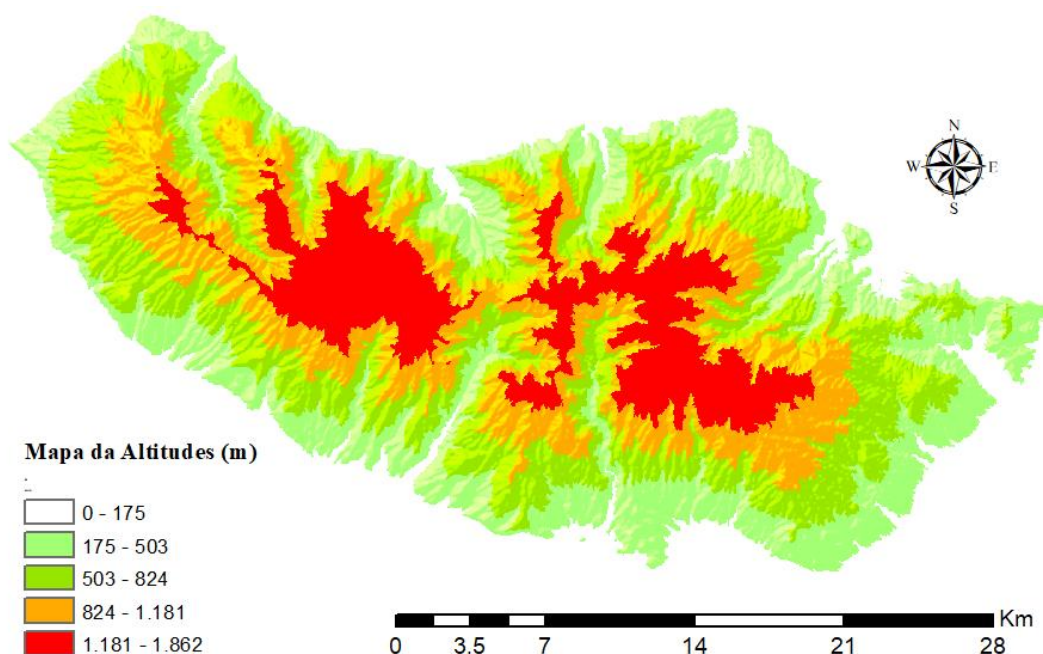
<sup>7</sup> As “anomalias magnéticas” referem-se à discrepância de intensidade do magnetismo terrestre local com a média estipulada teoricamente. A divisão cartográfica é feita através de isolinhas que indicam as regiões com mesma variação magnética. As isolinhas M16, M4 e M25 fazem parte das Anomalias Magnéticas do Atlântico.

<sup>8</sup> A “admitância” refere-se à razão entre os valores anômalos do geóide e da sua respetiva profundidade.

entretanto, este valor é completamente plausível e compatível com a idade estimada para a crosta oceânica em questão (Mata *et al.*, 2013).

No que se refere à composição mineralógica especificamente da Ilha da Madeira – *i.e.* a região a ser estudada – Mata (1996) e Vasconcelos (2019) indicam que a parte emergida da ilha é formada por 98% de rochas vulcânicas e de material aflorante, sendo factores condicionantes para a morfologia encontrada na ilha. Neste contexto, Prada & Serralheiro (2000) e Vasconcelos (2019) estabelecem sete classificações para as principais unidades geológicas formadas entre o período Miocénico Superior até a atualidade:

- **CP – Complexo Vulcânico Principal:** classificação referente ao complexo vulcânico que corresponde a maior parte emergida da ilha, tanto em área quanto em volume. Esta formação é responsável pelas plataformas estruturais presentes na ilha e pelas regiões de maiores altitudes da mesma. Além disto, “atinge o seu ponto mais alto no Pico Ruivo de Santana (1862 m), situado na região central da ilha [...] e cerca de 35% da área emergida da Madeira possui altitudes superiores a 1000 m e 90% acima da cota 500 m (Mata *et al.*, 2013)”, conforme apresentado na Figura 13;



**Figura 13 - Mapa de altitudes da Ilha da Madeira. (Fonte: Autor, 2020).**

- **CA – Complexo Vulcânico Antigo:** classificação atribuída aos afloramentos das rochas mais antigas na porção emergida, de forma a considerar o nível atual de erosão da ilha. Entretanto, mesmo com o elevado índice de deterioração encontrado, o CA compõe uma grande mancha, a qual é revelada através das ribeiras mais profundas e pela abrasão marítima. Este complexo pode ser evidenciado desde os 1600 m de altitude, localizado na região central da ilha, até o nível do mar;
- **CM – Calcários Marinhos dos Lameiros:** classificação referente aos calcários que compõem um afloramento de pequenas dimensões, localizados a margem direita da ribeira de São Vicente, a aproximadamente 2,5 km da foz e com 380 m de altitude. Este complexo é formado

primordialmente por conglomerados, os quais estimam-se estar situados na base deste depósito sedimentar marinho, e com o topo a possuir apenas alguns vestígios dos calcários fossilíferos;

- **CB – Depósito Conglomerático-Brechóide:** classificação atribuída à formação sedimentar que é composta por depósitos espessos de enxurrada, demasiado compactos e cimentados. O CB é constituído por aproximadamente 95% de clastos mal calibrados, com dimensões que variam desde alguns milímetros até cerca de 2 m;
- **SRP – Complexo Vulcânico São Roque / Paul:** este complexo é caracterizado pela baixa atividade vulcânica e também pela baixa representatividade volumétrica da região emersa da ilha. Este facto dá-se pelas erupções de carácter estromboliano, onde a maior parte do magma estabeleceu-se nos vales já existentes – e.g. São Vicente, Seixal, Machico e São Roque do Faial;
- **VR – Episódios Vulcânicos Recentes:** classificação correspondente a atividade vulcânica ocorrida há 120.000 anos até há 6.000 anos, sendo fenómenos bem localizados e do tipo explosivo, com baixo índice de erupções e localizadas principalmente no Funchal e regiões periféricas, além do Paul da Serra e Porto Moniz;
- **Depósitos Sedimentares Recentes:** classificação atribuída a depósitos de vertente; fajãs; quebradas; depósitos de enxurrada recentes; areia de praia; dunas fósseis; terraços e aluviões.

#### 2.1.4. Climatologia

Sendo a análise dos parâmetros de cheias um dos pontos fulcrais deste estudo, torna-se primordial compreender o ciclo hidrológico da Ilha da Madeira, principalmente no que se refere à precipitação, taxa de infiltração e do escoamento superficial das bacias hidrográficas em questão. Para Lousada & Camacho (2018), entende-se como “ciclo hidrológico” a sequência de processos que envolvem o movimento contínuo da água entre a terra e a atmosfera. Mantendo a essência desta definição, é possível estabelecer que “o ciclo hidrológico é o fenómeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (Silveira, 1993)”, conforme representado na Figura 14.



Figura 14 - Síntese do ciclo hidrológico. (Fonte: Autor, 2020 adaptado de Alencar, 2017).

Entre os diversos processos representados, destacam-se (Lousada & Camacho, 2018; IST, 2018):

- O processo de transferência da água presente na superfície terrestre para atmosfera, através do processo de evaporação dos oceanos, lagos, rios, solo; por sublimação das geleiras e pela evapotranspiração de plantas e animais;
- O fenómeno de condensação parcial do vapor de água presente na atmosfera em forma de nuvens e nevoeiros, ocasionando em precipitações;
- O transporte do vapor de água através da circulação atmosférica;
- A infiltração da água precipitada no solo e a consequente alimentação dos aquíferos;
- A retenção da água não infiltrada em lagos, glaciares e na vegetação;
- O escoamento superficial que direciona a água precipitada, não retida ou infiltrada, em direção aos oceanos através de ribeiras (naturais e artificiais), rios, canais etc.

O ciclo hidrológico só é considerado fechado em nível global, uma vez que os volumes evaporados em um determinado local do planeta não precipitam necessariamente no mesmo local, devido aos movimentos contínuos e com dinâmicas distintas, tanto na atmosfera quanto na superfície terrestre (Silveira, 1993). Segundo Lousada & Camacho (2018), o movimento permanente da água, em regime ininterrupto, no ciclo hidrológico é fortemente influenciado pela energia solar e energia gravítica, mantendo a quantidade volumétrica de água na Terra constante e próximo dos  $1400 \times 10^{15} \text{ m}^3$ .

Há diversos outros factores que contribuem para que tenhamos uma grande variabilidade nas manifestações do ciclo hidrológico, nos distintos pontos do globo terrestre, sendo eles (Silveira, 1993):

- A falta de uniformidade com que a energia solar atinge os diversos locais;
- O diferente comportamento térmico dos continentes relativamente aos oceanos;
- A quantidade de vapor de água, gás carbônico e ozônio na atmosfera;
- A variabilidade espacial de solos e coberturas vegetais;
- A influência da rotação e inclinação do eixo terrestre na circulação atmosférica, sendo esta a responsável pela existência das estações do ano.

#### 2.1.4.1. Precipitação

À priori, torna-se necessário definir que “a precipitação atmosférica é a transferência da água contida na atmosfera para a superfície terrestre (Santos, 2015)”. Este processo ocorre devido ao fenómeno de condensação da água evaporada e o seu consequente retorno à superfície terrestre devido às forças gravíticas do planeta.

Para a hidrologia, a precipitação é o termo geral utilizado para representar todas as formas de deposição de água na superfície terrestre, podendo ser classificadas como (Bertoni & Tucci, 1993; Studart, 2006):

1. **Chuvisco / Neblina / Garoa:** precipitação demasiado fina e de baixa intensidade;
2. **Chuva:** gotas de água que descem das nuvens para a superfície, geralmente medida em milímetros (mm);
3. **Neve:** precipitação em forma de cristais de gelo que coalescem durante a queda, formando flocos com dimensões variáveis;
4. **Saraiva:** precipitação onde há a presença de pequenas pedras de gelo arredondadas, com diâmetros próximos a 5 milímetros;
5. **Granizo:** precipitação com características semelhantes à “saraiva”, porém, com dimensões superiores a 5 milímetros;

6. **Orvalho:** gotículas de água que se formam em objetos expostos ao ar durante a noite, onde há o resfriamento do ar até ao ponto de se formar o orvalho;
7. **Geadas:** fina camada de cristais de gelo que se formam na superfície do solo e/ou vegetação, sendo semelhante ao “orvalho”, porém, em temperaturas abaixo a 0° C.

Para o fenómeno das cheias, a precipitação do tipo “chuva” torna-se o principal objeto de estudo, mesmo que todas as outras formas também propiciem diversos problemas tanto nos centros urbanos – *e.g.* acidentes automobilísticos devido a presença de geadas nas ruas; destruição de patrimónios privados e públicos devido à saraiva e principalmente ao granizo; obstrução de vias de mobilidade urbana devido à neve – como também nas regiões rurais, com a destruição da agricultura principalmente na ocorrência de granizo. Portanto, no que se refere a chuva, “*embora a humidade atmosférica seja o elemento indispensável para a ocorrência de chuva, ela não responde sozinha por sua formação, que está intimamente ligada à ascensão das massas de ar (Studart, 2006)*”.

Quando ocorre a movimentação vertical e o ar é levado para as cotas mais elevadas, tanto por convecção, relevo ou ação frontal das massas, há uma expansão devido à diminuição da pressão, sendo esta, de carácter adiabático<sup>9</sup>. Entretanto, com o processo de expansão ocorre o resfriamento da massa de ar, onde a mesma pode atingir o seu ponto de saturação e conseqüentemente permitir a condensação do vapor em gotículas suspensas – *i.e.* as nuvens. Neste contexto, a precipitação dependerá da formação de um núcleo higroscópico<sup>10</sup> que atinja peso suficiente para superar as forças de sustentação (Studart, 2006).

Portanto, conforme supracitado, a ascensão do ar é um dos principais factores para a formação das chuvas, as quais podem ser classificadas de acordo com o mecanismo de elevação das massas de ar:

1. **Chuvas orográficas:** ocorrem quando o ar é forçado mecanicamente a superar obstáculos impostos pelo relevo, conforme a Figura 15;



Figura 15 - Formação da chuva orográfica. (Fonte: Porto Editora, 2019).

2. **Chuvas convectivas:** ocorrem devido ao aquecimento diferencial da superfície, onde podem existir bolsões de ar menos densos envolto no ambiente e em equilíbrio instável. Sendo muito

<sup>9</sup> Um sistema “adiabático” pode ser entendido fisicamente e termodinamicamente como um sistema que está isolado de quaisquer trocas de calor.

<sup>10</sup> A “higroscopia” é a propriedade a qual permite que certos materiais absorvam água, e quando há a saturação do mesmo, o material tende a dissolver-se na própria água absorvida.

comum em regiões tropicais, o equilíbrio mencionado pode ser facilmente rompido, o que permitirá uma rápida ascensão do ar até elevadas altitudes, como apresentado na Figura 16;



Figura 16 - Formação da chuva convectiva. (Fonte: Sousa, 2020).

3. **Chuva Ciclônica:** esta tipologia de chuva ocorre devido ao movimento de massas de ar em regiões de alta pressão para regiões de baixa pressão, podendo ser classificadas como Frontal e Não Frontal.
  - a) **Frontal:** resultado da ascensão do ar quente sobre o ar frio na zona de contacto entre duas massas de ar com características distintas, Figura 17;



Figura 17 - Formação da chuva ciclônica frontal. (Fonte: Sousa, 2020).

- b) **Não Frontal:** resultado de uma baixa barométrica, onde o ar é elevado em consequência de uma convergência horizontal em áreas de baixa pressão.

A disponibilidade de precipitação em uma bacia hidrográfica durante o ano é o principal factor, entre outros, para a quantificação da necessidade de irrigação de agriculturas, o abastecimento doméstico e industrial. Portanto, *“a determinação da intensidade de precipitação é importante para o controlo de inundação e a erosão do solo [...] e por sua capacidade de produzir escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia (Bertoni & Tucci, 1993)”*.

#### 2.1.4.2. Pluviometria

Entende-se por “pluviometria” como a quantificação da água precipitada sobre uma superfície horizontal relativa a um determinado intervalo de tempo (Lousada & Camacho, 2018). As principais grandezas que caracterizam uma chuva são nomeadamente: a altura pluviométrica, duração, intensidade e tempo de recorrência (Studart, 2006), onde (Bertoni & Tucci, 1993):

- **Altura pluviométrica (P):** é a espessura média da lâmina de água precipitada que recobriria a região atingida, partindo do axioma<sup>11</sup> em que essa água não infiltrasse, não evaporasse e nem escoasse para fora dos limites da bacia hidrográfica inicial. Habitualmente este parâmetro é medido em milímetros;
- **Duração (t):** refere-se ao período de tempo no qual a chuva precipita. Normalmente utiliza-se em minutos e horas;
- **Intensidade (I):** obtida através da razão entre a altura pluviométrica e a sua respetiva duração, a intensidade de uma precipitação apresenta variabilidade temporal, porém, para a análise dos processos hidrológicos, normalmente são definidos intervalos de tempo nos quais se considera constante;
- **Tempo de recorrência (Tr):** o tempo de recorrência caracteriza-se pelo intervalo médio de tempo que separa a ocorrência de eventos com valores semelhantes. Portanto, quanto mais extremo for o fenómeno, maior será o tempo de recorrência em que o evento será igualado ou superado, enquanto eventos de média intensidade tendem a ocorrer com maior frequência. Enfatiza-se que para a hidrologia, o tempo de recorrência refere-se à raridade de eventos extremos como grandes cheias, mas também grandes secas (Lousada & Camacho, 2018).

Nota-se, portanto, que o total precipitado não tem significado caso não esteja correlacionado com a duração, pois uma precipitação de 100 mm pode ser pouco no âmbito mensal, porém demasiado para um único dia (Bertoni & Tucci, 1993). Além disso, é essencial lembrar que a aquisição de dados de chuva de boa qualidade é demasiado complexa, mesmo com aparelhos de medição simples, portanto, é muito raro encontrar uma série de dados pluviométricos confiáveis (Chevallier, 1993). Com base nisso, as chuvas podem ser quantificadas pontualmente, através dos pluviômetros, pluviógrafos e radares (espacial), aparelhos que seguidamente se descrevem:

- **Pluviómetro:** consiste em um recetor cilindro-cónico com uma proveta graduada de vidro, onde se consegue medir apenas a altura pluviométrica, Figura 18. A área de intercetação não é normalizada, portanto é fulcral ter cuidado ao calcular a altura da lâmina. Caso o pluviómetro seja cúbico e possua 1 metro de largura por 1 metro de comprimento, torna-se fácil a leitura, uma vez que 1 mm de lâmina de água corresponderá a um volume de 1 litro;



**Figura 18 - Pluviómetro de 40 litros. (Fonte: Raig, 2020).**

- **Pluviógrafo:** consiste em um registrador que trabalha associado a um mecanismo de relógio, imprimindo rotação a um cilindro envolvido em papel graduado, sobre o qual uma pena grafa a altura da precipitação registada, Figura 19;

---

<sup>11</sup> O “axioma” no contexto abordado pode ser entendido como uma proposição que não é provada ou demonstrada, mas necessária como um consenso inicial para a construção ou aceitação de uma teoria.



Figura 19 - Pluviógrafo. (Fonte: INSMART, 2020).

- **Radar:** consiste em um sistema eletromagnético para detecção e localização de objetos, onde um transmissor emite um pulso de energia eletromagnética que se propaga a partir de uma antena móvel, Figura 20. A relação teórica entre as características da partícula atingida e a quantidade de energia que retorna à antena do radar é calculada com base na Teoria de *Rayleigh*, a qual descreve o espalhamento de uma onda plana por uma esfera. Portanto, com base na teoria supracitada, pode-se avaliar como uma gota de água espalha a energia eletromagnética que recebe, onde parte da radiação é interceptada e absorvida como calor pela gota. Por fim, através da interpretação computacional elaborada através de teorias de dissipação de ondas torna-se possível analisar com certa fiabilidade o aspeto espacial de uma precipitação.

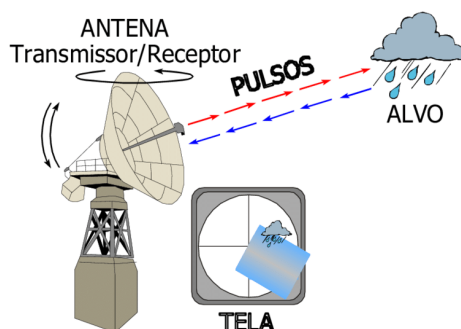


Figura 20 - Funcionamento do Radar Meteorológico. (Fonte: Albino & Prado, 2003).

A principal diferença entre o pluviómetro e o pluviógrafo é que este último regista automaticamente os dados, enquanto o pluviómetro requer leituras manuais em intervalos de tempo pré-estabelecidos (Chevallier, 1993). De forma geral, entende-se que a intercetação da chuva deve ser efetuada a uma altura média de 1 a 1,5 metros acima da superfície do solo e a localização do aparelho de medição deve ficar distante de quaisquer obstáculos que possam prejudicar a medição – e.g. edificações, árvores, relevo etc. (Studart, 2006).

No que se refere à precisão das medições, esta depende primordialmente de dois parâmetros: o valor da precipitação e o tempo. Portanto, quanto maior a área de intercetação maior a precisão, uma vez que apresenta uma maior quantificação amostral e temporal do fenómeno ocorrido. Nota-se que é fulcral considerar que dias sem precipitação também são dados amostrais, enquanto a falta de uma medição por motivos quaisquer são consideradas falhas ou lacunas, sendo estes, erros grosseiros (Chevallier, 1993).

Além dos mecanismos supracitados, utilizam-se os limnígrafos, os quais podem ser classificados como: limnígrafos de flutuador, limnígrafos pneumáticos, limnígrafos de borbulhas. Enquanto à tipologia de registo, os limnígrafos apresentam resultados gráficos ou digitais. Nota-se que “[...] o intervalo de

leituras da escala hidrométrica deve ser fixado de forma a evitar erro apreciável no escoamento diário, que deverá ser menor nas épocas de chuvas, e particularmente durante as cheias, devido à maior variação no nível de água que então se verifica (Lousada & Camacho, 2018)”.

### 2.1.4.3. Infiltração

A infiltração é a passagem de água da superfície para o interior do solo, através da porosidade do mesmo. Portanto, “[...] é um processo que depende fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado da sua superfície e das quantidades de água no ar [...]” (Silveira & Louzada & Beltrame, 1993)”.

*“A precipitação sobre uma determinada área, divide-se em várias parcelas, cuja proporção varia durante a duração do evento. No início, a água pode ser interceptada pela vegetação ou por obstáculos que a impeçam de atingir o solo. Se a precipitação prossegue, a água atinge a superfície terrestre de onde se evapora, se infiltra ou permanece retida nas depressões (Lousada & Camacho, 2018)”.*

Enquanto a água infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo humedecem de cima para baixo, alterando de forma gradativa o perfil de humidade. À medida em que há presença de água, o perfil de humidade tende a chegar no nível de saturação (Silveira & Louzada & Beltrame, 1993). De acordo com Lousada & Camacho (2018), a intensidade de infiltração tende a diminuir progressivamente à medida que aumenta o teor de humidade do solo, originando três tipos de escoamento, conforme a Figura 18.

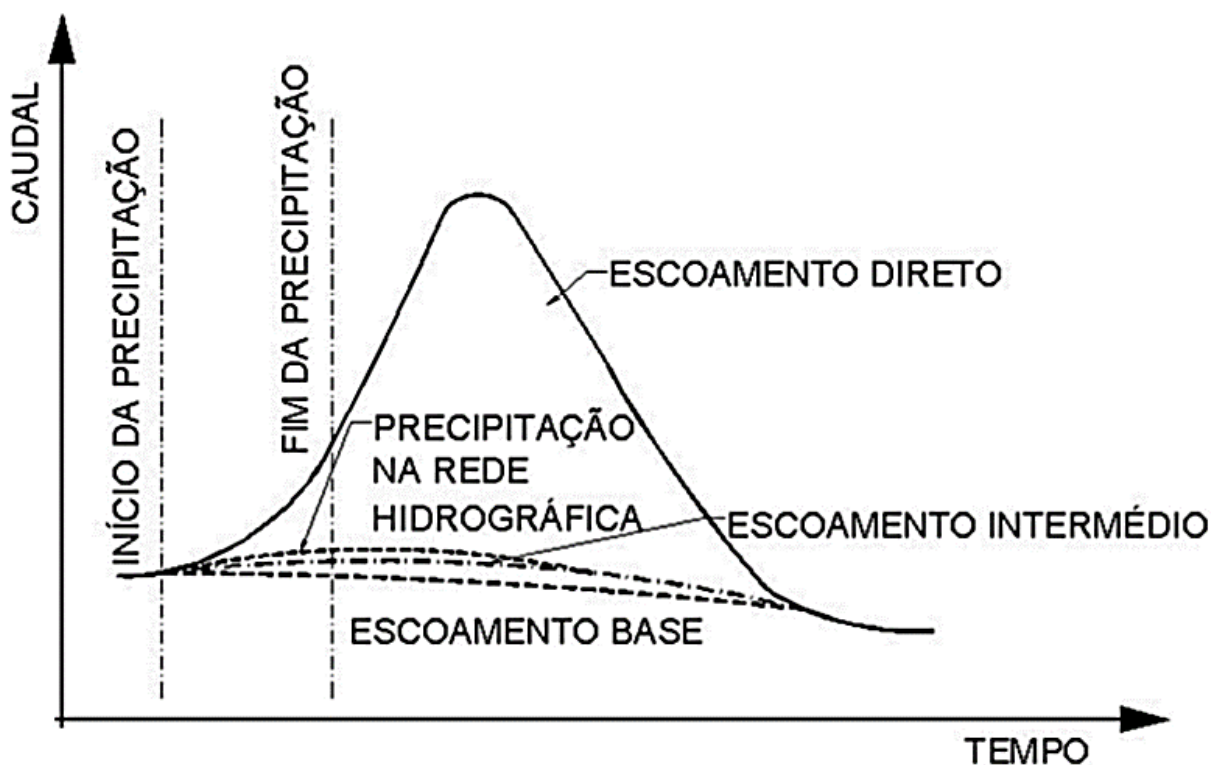


Figura 21 - Hidrograma com a divisão dos tipos de escoamento. (Fonte: Lousada & Camacho, 2018).

Estas classificações podem ser definidas como (Lousada & Camacho, 2018):

- **Escoamento Direto:** onde a água precipitada atinge a rede hidrográfica ao percorrer a superfície do terreno, sem se infiltrar. Também conhecido como “escoamento superficial”, é resultado da

precipitação útil (razão entre o volume escoado superficialmente e o volume total precipitado), constitui a principal componente do escoamento durante precipitações intensas;

- **Escoamento Intermédio:** refere-se ao volume de água infiltrado que retorna à superfície, sem ter atingido a saturação do solo. Este tipo de precipitação é também designado como “hipodérmico” e escoam em profundidades relativamente pequenas em relação a superfície do terreno, devido à existência de substratos impermeáveis em camadas mais profundas;
- **Escoamento de Base:** proveniente da água infiltrada que atingiu a zona de saturação. Também conhecido como “escoamento subterrâneo”, resulta da porção de água absorvida pelo solo até camadas mais profundas, contribuindo para o abastecimento das reservas hídricas subterrâneas acumuladas durante as formações geológicas por onde situa-se o curso de água.

Portanto, a partir do momento em que a água precipitada excede as capacidades relativas à absorção do solo, o volume de água excedente, seguindo as leis da gravidade, escoam-se à superfície do solo até a linha de água mais próxima (Lousada & Camacho, 2018). Segundo Lencastre & Franco (1992), as linhas de água de menor secção – *i.e.* sulcos, ravinas, regatos, ribeiros e ribeiras – associam-se em outras com secções sucessivamente maiores, como os rios.

#### 2.1.4.4. Uso e Ocupação do Solo

O conceito de capacidade de infiltração do solo é aplicado para a distinção do potencial que o solo tem em absorver água pela sua superfície, em termos de lâmina por tempo, da taxa real de infiltração que ocorre quando há disponibilidade de água para penetrar no solo (Silveira & Louzada & Beltrame, 1993).

De acordo com Rodrigues & Guimarães & Moreira (2011), o índice de infiltração depende diretamente do tipo de solo, sendo fundamental verificar a sua porosidade, a granulometria e a estabilidade, até que o mesmo atinja o nível de saturação. No aspeto prático, a saturação pode ser definida pela relação entre o volume de água e o volume de vazios, enquanto a porosidade é definida pela relação entre o volume de vazios e o volume total do solo (Silveira & Louzada & Beltrame, 1993). Neste contexto, Lousada & Camacho sugerem que *“a vegetação tem como efeito interceptar parte da água precipitada, retardar o escoamento superficial, dando-lhe mais tempo para se infiltrar, e proteger o solo da erosão hídrica”*. Verifica-se então que a infiltração está diretamente vinculada à tipologia de material presente no solo, o qual pode facilitar a infiltração ou impedi-la.

Portanto, torna-se essencial examinar detalhadamente a influência que o uso e ocupação do solo exerce no ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica. Para Rodrigues & Guimarães & Moreira (2011), o uso e ocupação do solo pode ser dividido em três categorias principais, nomeadamente: florestas, áreas de cultivo e áreas urbanizadas.

No que se refere às florestas (Lousada & Camacho, 2018):

- Em um solo florestal, ocorre a maior infiltração da água precipitada em comparação com qualquer outra forma de uso e ocupação;
- Relativamente à vegetação de menor porte, as florestas oferecem maiores áreas de intercepção;
- Na ocorrência de solos mais profundos, as florestas possuem uma zona de evaporação mais espessa, onde a água pode ser armazenada e devolvida a atmosfera em forma de evapotranspiração;
- Em regiões de precipitação abundante e bem distribuída no aspeto espacial, a evapotranspiração torna-se maior em florestas que possuem folhagem permanente, em comparação com florestas com folhas caducas;

- Para as regiões em que a precipitação é escassa e com solos delgados, tanto as florestas quanto outras culturas tendem a levar o índice de água no solo até o coeficiente de emurchecimento e, portanto, não há uma distinção significativa na evapotranspiração total durante o ano.

Após esta análise, verifica-se que:

*“As florestas têm um importante papel como regularizadoras do caudal nos rios, reduzindo por um lado as pontas de cheia e contribuindo, por outro lado, para a recarga dos aquíferos que irão manter o caudal nos rios nas épocas sem precipitação (Lousada & Camacho, 2018)”*.

Referente às áreas de cultivo, a substituição de árvores e arbustos por plantas de menor porte tende a propiciar o acréscimo do escoamento, uma vez que o efeito da evapotranspiração é drasticamente reduzido. Segundo Rodrigues & Guimarães & Moreira (2011), a criação de um solo nu durante uma parcela do ano origina o aumento da irregularidade do caudal do rio. O autor ainda sugere que o solo descoberto quando sujeito a fortes chuvas está mais propenso à erosão, de forma a permitir cheias com caudais e ponta mais elevados.

Por fim, as áreas urbanizadas apresentam um maior teor de impermeabilização do solo, reduzindo a capacidade de retenção superficial e infiltração. Devido a isto, ocorre o aumento dos caudais de ponta de cheias pelo acréscimo significativo do escoamento superficial, além de reduzir o volume de água das reservas subterrâneas (Lousada & Camacho, 2018).

### 2.1.4.5. Aluviões e Cheias

As aluviões são fenómenos cíclicos e naturais que têm como ocorrido com alguma frequência e com intensidades diversas no Arquipélago da Madeira, as quais “[...] são provocadas por precipitação intensa, que originam cheias repentinas de grande magnitude, estando estas associadas a desmoronamentos e escorregamentos de vertentes e a um enorme potencial destrutivo (Caetano, 2014)”.

De acordo com Quintal (1999), as árvores, blocos rochosos, terrenos agrícolas, tudo é arrancado e transportado pelas águas em alta velocidade pelo vale até ao mar. Assim que a área de escoamento da ribeira estreita pela presença de um obstáculo (zona crítica), a velocidade de escoamento reduz, aumentando o nível da água até que a mesma abandone a secção que lhe tinham destinado e invade as casas, trazendo consigo inúmeras perdas materiais, mortes e tragédias (Quintal, 1999; Caetano, 2014).

No que se refere às 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 (Moura, 2019)”*.

Considerando a diretriz 2007/60/CE do Parlamento Europeu e o relatório da *European Environment Agency* (EEA, 2012), as cheias tendem a possuir diferentes origens, sendo recorrentes tanto em áreas rurais quanto urbanas, tendo esta última, maior potencial destrutivo. Neste sentido, Ramos (2009) classifica superficialmente as principais tipologias de fenómenos meteorológicos que podem vir a ocorrer, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Tipologias de inundações com base nas causas. (Fonte: Ramos, 2009).

Tipo	Causas
Cheia fluvial	Chuvas abundantes e/ou intensas
	Fusão da neve ou do gelo
	Efeito combinado chuva + efeito das marés e/ou + <i>storm surge</i>
	Obstáculos ao escoamento fluvial ou derrocada dos obstáculos
Inundação de depressões topográficas	Subida da toalha freática (natural ou artificial)
	Retenção da água da precipitação por um solo ou substrato geológico de permeabilidade muito reduzida
Inundação costeira	Cheias
	<i>Storm surge</i>
	Tsunami ou maremoto
	Sismos com fenómenos de subsidência tectónica
Inundação urbana	Subida eustática do nível do mar
	Chuva intensa + sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais
	Subida da toalha freática (natural ou artificial)
	Cheias

Neste contexto, Gonçalves (2016) e Moura (2019) indicam os três fenómenos que demandam maior atenção para a análise de risco em zonas urbanas:

1. **Cheias Fluviais:** ocorrem quando o nível de água de um canal artificial ou natural extrapola a cota máxima das paredes que o delimitam, permitindo que a água se propague para as suas imediações, Figura 22. Mesmo que o fenómeno apresente diversos graus de intensidade, este pode acontecer com uma regularidade que pode ser estimada através do ciclo hidrológico diário e anual;



Figura 22 - Cheia do Rio Itapemirim em Cachoeiro de Itapemirim, Brasil. (Fonte: Mendes, 2020).

2. **Cheias Costeiras:** ocorrem quando o nível da água do mar é suficientemente alto para superar o nível geológico local, Figura 23. Este fenómeno também pode vir a ocorrer 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 e o conseqüente extravasamento do trecho final do curso de água;



Figura 23 - Cheia costeira em Santos, Brasil. (Fonte: Cetesb, 2018).

3. **Cheias Pluviais:** são causadas pela ocorrência ou passagem de uma tempestade por uma localização com um sistema de drenagem incapaz de suportar o volume de água presente, propiciando o escoamento superficial e possíveis danos na estrutura hidráulica do mesmo. Este fenómeno é o mais difícil de prever, ocasionando maiores impactos em comparação com as inundações de carácter fluvial ou costeira, tendo normalmente duração inferior a um dia de elevada intensidade, Figura 24.



Figura 24 - Inundação na Ilha da Madeira. (Fonte: National Geographic Portugal, 2010).

### 2.1.5. Panorama Climatológico da Ilha da Madeira

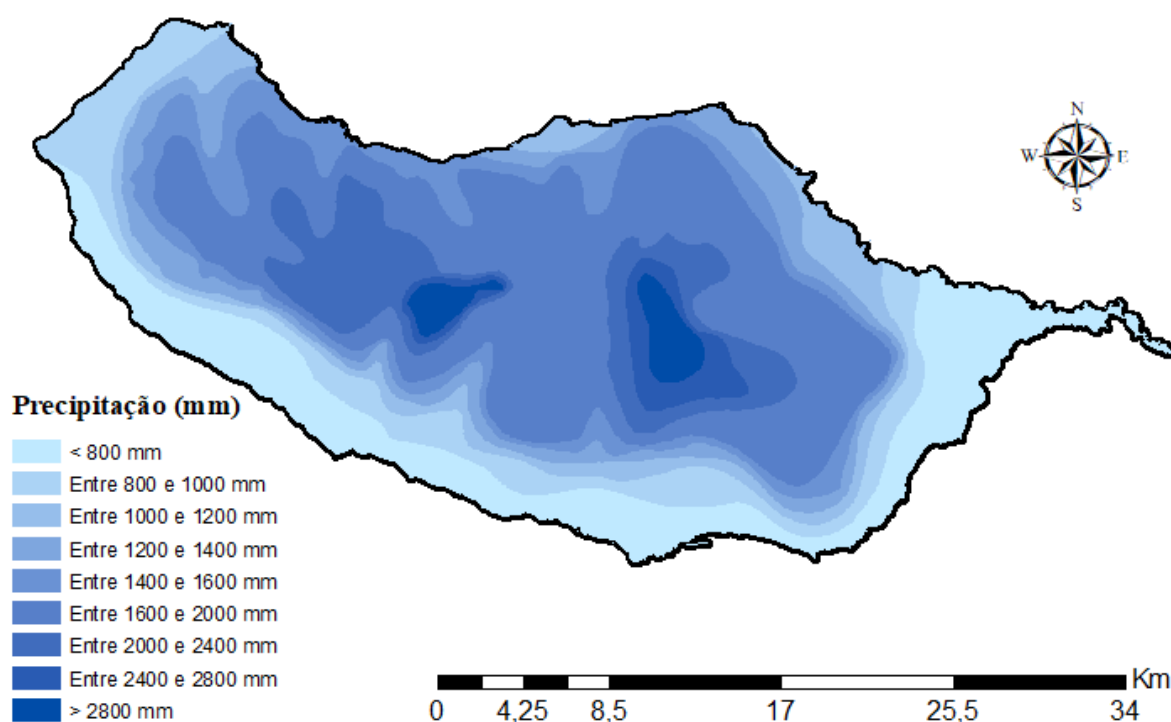
Após a abordagem generalista sobre os principais factores que contribuem para ocorrência dos fenómenos extremos no subcapítulo 2.1.4, torna-se fulcral para o presente estudo a análise de cada um dos parâmetros aplicados à RAM, como forma de compreender melhor a realidade local.

### 2.1.5.1. Precipitação

O clima na Ilha da Madeira é condicionado, primordialmente, pela intensidade e pela ocorrência do anticiclone subtropical dos Açores, onde a geomorfologia e orientação do relevo tornam-se muito relevantes para determinar a distribuição da precipitação na ilha. Este anticiclone transporta massas de ar tropical marítimo subsidente, principalmente na parte oriental onde os eventos de subsidência são mais intensos e frequentes (Ferreira, 1955).

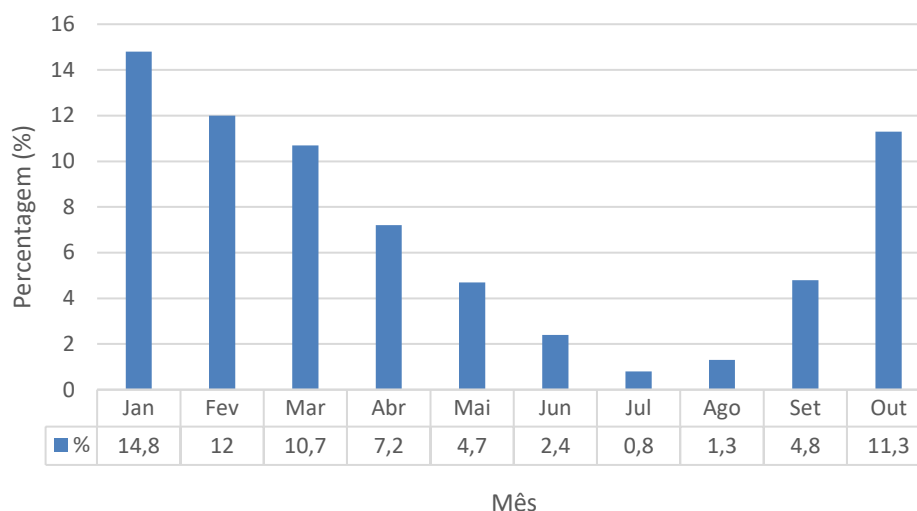
*“O relevo, além do efeito da altitude, tem um efeito de diferenciação climática local, sobretudo por estar orientado perpendicularmente à direção predominante do vento, resultando que a temperatura do ar e a quantidade de precipitação possam ser bastante diferentes à mesma cota, mas em encostas com diferentes exposições aos ventos predominantes (Prada et al., 2005)”.*

A supracitada orientação, vinculada aos ventos predominantes provenientes do Nordeste, determinam uma vertente norte caracterizada por valores médios de precipitação superiores aos verificados na encosta sul (Mata et al., 2013), conforme pode ser observado na Figura 25. Segundo Ferreira (1955), Loureiro (1984), Nascimento (1990), Prada et al. (2005) e Mata et al. (2013), a elevada pluviosidade média anual na Ilha da Madeira pode atingir valores próximos a 3000 mm, pode ser explicada pelo facto dos ventos dominantes advindos do Nordeste serem demasiado húmidos, como consequência do seu trajeto sobre a corrente de ar quente do Golfo.



**Figura 25 - Precipitação anual média na Ilha da Madeira. (Fonte: Autor, 2020).**

No que se refere a variação temporal da precipitação ao longo do ano, Gaspar & Portela (2002) atribuiu à precipitação anual média expectável para a Ilha da Madeira o padrão de ocorrência mensal, obtido através da estimativa calculada com base na totalidade dos registos de precipitação presentes na RAM, conforme verificado na Figura 26.



**Figura 26 - Precipitações médias mensais. (Fonte: Autor, 2020 adaptado de Gaspar & Portela, 2002)**

Com base no gráfico anterior, verifica-se que as precipitações mais intensas ocorrem entre outubro e maio, e apresentam menor intensidade entre julho e setembro. Enfatiza-se que esta análise tornar-se-á fundamental posteriormente para compreender os períodos e históricos de cheias extremas na Ilha da Madeira.

A humidade relativa do ar possui valor anual médio compreendido entre 75% e 90%, sendo classificado como húmido por quase toda extensão da ilha. O Funchal, Lugar de Baixo e Areeiro possui uma variação de humidade entre 55% e 75%. Referente aos ventos dominantes na ilha, conforme supracitado, ocorrem no sentido Nordeste, ocorrendo de 56% a 58% do total verificado, sendo mais comum entre abril e setembro. O vento de Norte ocorre principalmente no inverno, correspondendo de 10% a 12%. Já o vento de Oeste ocorre de 20% a 22% e está associado a uma abundante precipitação (Prada *et al.*, 2005).

Por fim, devido ao relevo de altitude presente na Ilha da Madeira, os nevoeiros e chuvas são predominantemente do tipo orográfico, formam-se a barlavento da elevação e com tendência a se dissiparem a sotavento, atingindo na Bica da Cana 235 dias/ano, e no Areeiro 229 dias/ano (Prada *et al.*, 2005).

### 2.1.5.2. Pluviometria

O sistema pluviométrico da Ilha da Madeira possuía 51 postos, com períodos de funcionamento relativamente extensos, onde cerca de 31% dos postos possuem mais de 30 anos de observação, 23% com funcionamento compreendido entre 20 e 30 anos. Entretanto, evidencia-se diversas interrupções de medição ao longo do tempo de funcionamento de cada uma das estações udométricas (Prada *et al.*, 2005). Estes postos udométricos eram geridos pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), e cessaram a atividade da maior parte dos postos em 2014.

Atualmente, a RAM possui três redes de monitorização de precipitação ativas, as quais são geridas por entidades distintas, sendo estas: o IGA (Investimentos e Gestão de Água, SA), o LREC (Laboratório Regional de Engenharia Civil) e o IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera). Por mais que estas redes possuam diversos postos pluviométricos, pluviógrafos e estações meteorológicas, existem casos onde ocorre redundância ou inconsistência dos dados, mesmo que as instalações dos medidores estejam muito próximas, devido a utilização de diferentes metodologias por parte das entidades responsáveis (Caetano, 2014).

### 2.1.5.3. Infiltração e Ocupação do Solo

Conforme abordado, a capacidade de absorção de um terreno está diretamente vinculada com as características do solo, e consequentemente, o seu uso e ocupação. Segundo Bartholomé & Belward (2007), os registos do uso e ocupação do solo tornaram-se ferramentas fundamentais para uma melhor compreensão da disposição do território e a forma com que o mesmo é utilizado.

No âmbito 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 [...] (Moura, 2019)”. No que se refere ao nível regional, o referido autor sugere que a Direção de Serviços de Informação Geográfica e Cadastro tem trabalhado em conjunto com outras instituições como o Instituto das Florestas e da Conservação da Natureza, com o intuito otimizar o modo com que a informação se encontra disponível. Portanto, com a utilização de um *software* SIG e as cartografias digitais elaboradas pelas supracitadas entidades, torna-se possível efetuar uma análise mais precisa do percentual de ocupação do solo de acordo com a categoria atribuída.

Referente à ocupação por vegetação, através da Figura 27 verifica-se que a vegetação mais densa está situada nas regiões de maior altitude e, consequentemente, maior precipitação.

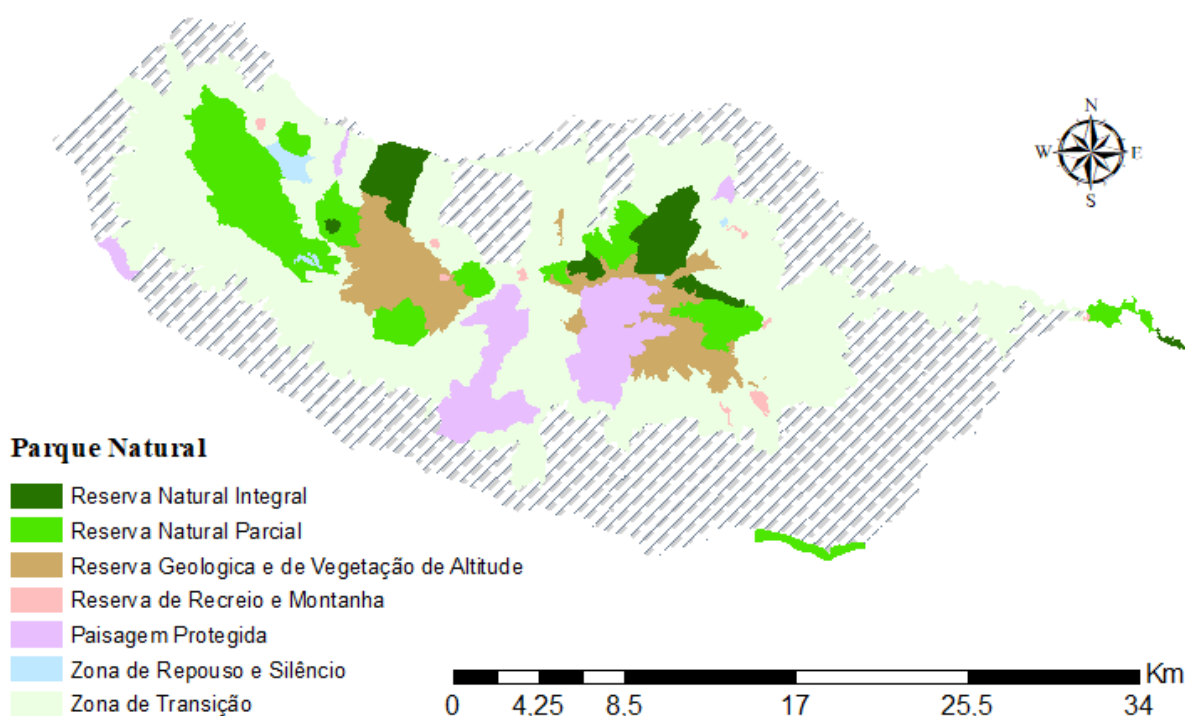


Figura 27 - Localização da vegetação densa na Ilha da Madeira. (Fonte: Autor, 2020).

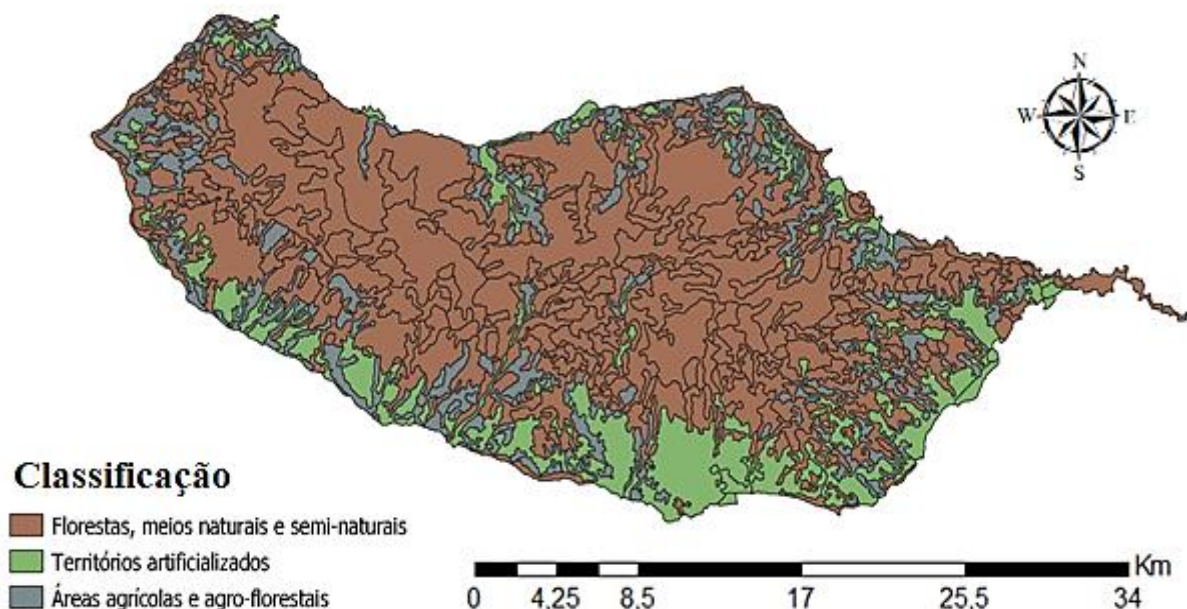
De forma a obter uma caracterização mais fiável da distribuição espacial do uso e ocupação do solo, através do projeto *Corine Land Cover*, “cujo propósito é o de produzir cartografia de ocupação e uso do solo nos países da união europeia (Moura, 2019)”, procedeu-se a elaboração de uma classificação hierárquica de três níveis, nomeadamente (Nerý, 2007):

1. **Florestas, meios naturais e seminaturais:** corresponde às áreas ocupadas por florestas ou bosques com vegetação constituída por plantas nativas e com porte superior a 5 m, além de um grau de cobertura mínimo de 30%;

2. **Territórios artificializados:** classificação subdividida em 4 categorias, sendo elas: tecido urbano; zonas industriais, comerciais ou de transportes; minas, depósitos de resíduos ou zonas de construção; zonas artificializadas não agrícolas com vegetação;
3. **Áreas agrícolas e agroflorestais:** subdivididas principalmente em terras aráveis; culturas permanentes; pastagens; zonas agrícolas heterogêneas; culturas anuais ou as pastagens sob cobertura de espécies florestais.

Com base nesta classificação, Castanho (2019a) verificou as principais categorias de uso e ocupação do solo no âmbito regional, Figura 28, onde:

*“[...] foi possível averiguar que: quanto ao território artificializado, o percentual mais elevado é encontrado na categoria 112 (tecido urbano descontínuo) [...] nas áreas agrícolas, o percentual mais elevado associa-se à categoria 243 (zonas principalmente agrícolas com zonas naturais importantes) [...] e nas áreas florestais e semi-naturais vêm o seu percentual mais elevado ser associado ao uso de solo 311 (floresta de folhosas) (Moura, 2019 citando Castanho, 2019a)”.*



**Figura 28 - Classificação do solo da RAM segundo a Corine Land Cover, 2006. (Fonte: Autor, 2020).**

Nota-se tanto na Figura 27 quanto na Figura 28 que a presença de vegetação mais densa ocorre nas regiões de maior altitude, onde o acesso é mais complexo e ineficiente para implementação de um processo urbanístico. Portanto, devido aos factores geológicos, económicos e logísticos, a malha urbana concentra-se nas regiões costeiras a nível do mar. Por fim, no que se refere à infiltração do solo, as regiões classificadas como “território artificializado” possuirão uma maior quantificação de áreas impermeabilizadas ou semi-impermeabilizadas e ausência de cobertura vegetal de grande porte, reduzindo a taxa de infiltração, diminuindo a evapotranspiração e aumentando, consequentemente, o volume de água escoado superficialmente.

#### 2.1.5.4. Histórico de Aluviões e Cheias na Ilha da Madeira

O histórico de catástrofes naturais da Ilha da Madeira está marcado por diversas cheias repentinas ocorridas nas ribeiras, bem como, apresenta diversos problemas advindos de incêndios florestais e queimadas. As estações do ano, nomeadamente verão e inverno, apresentam características muito distintas no aspeto das cheias, onde a primeira apresenta caudais desprezíveis ou inexistentes nas ribeiras da ilha, enquanto na segunda os valores crescem abruptamente (Pereira, 1939).

De acordo com Caetano (2014), desde o século XVII existem diversos registos de inundações e cheias na Ilha da Madeira, Tabela 3. Entretanto, muitos autores defendem a hipótese do aumento da frequência dos eventos por volta de 1970, onde se denota o aumento considerável da população, a alteração dos perfis de leito das ribeiras, o aumento da malha urbana e o conseqüente aumento da impermeabilização do solo.

**Tabela 3 - Síntese das principais aluviões na Ilha da Madeira. (Fonte: Autor, 2020 adaptado de Oliveira *et al.*, 2010; Caetano, 2014).**

Data	Localidade	Danos e Vítimas
09/10/1803	Funchal	800 a 1000 mortes
26/02/1920	Funchal, Ribeira Brava e Camacha	5 mortes
06/03/1929	São Vicente	32 mortes, 11 casas e 100 palheiros destruídos
30/12/1939	Madalena do Mar	4 mortes
11/02/1956	Curral das Freiras	2 mortes
03/11/1956	Machico e Santa Cruz	6 mortes
03/01/1963	Ribeira Brava e Serra de Água	5 mortes
09/01/1970	Ribeira Brava e Serra de Água	4 mortes
21/09/1972	Santo António	2 mortes
20/12/1977	Estreito de Câmara de Lobos	4 mortes e 45 desalojados
23/01/1979	Machico, Porto da Cruz, Camacha, Canhas, Calheta e Fajã do Penedo	14 mortes
29/10/1993	Por toda Ilha da Madeira	4 mortes, 4 desaparecidos, 306 desalojados, 76 habitações afetadas e 27 feridos.
05/03/2001	Curral das Freiras e São Vicente	5 mortos e 120 desalojados
22/12/2009	Madalena do Mar e São Vicente	Destruição das vias de comunicação e habitações
02/02/2010	Faial e Porto da Cruz	Destruição das vias de comunicação
20/02/2010	Ribeira Brava, Câmara de Lobos, Funchal e Santa Cruz	48 mortos, 250 feridos, 600 desalojados, 500 viaturas destruídas, 800 habitações danificadas
21/10/2010	Funchal	5 desalojados e destruição das vias de comunicação
20/12/2010	Funchal e Curral das Freiras	2 feridos, habitações danificadas e destruição de veículos e vias de comunicação
06/11/2012	Porto da Cruz e São Vicente	6 feridos, 71 desalojados, dezenas de viaturas e vias de comunicação destruídas
29/11/2013	Porto da Cruz e Santo António da Serra	5 feridos, 6 desalojados, danos em habitações e destruição de vias de comunicação

*“O aumento súbito do caudal das ribeiras está relacionado com chuvas torrenciais que dão origem a valores de caudal com um elevado poder erosivo e transportador de material sólido, assim como movimentos de vertente de grande dimensão [...] resultando em graves danos materiais e vítimas humanas, na destruição do coberto vegetal da ilha e na perda dos solos (Caetano, 2014)”.*

As características geológicas e geomorfológicas das bacias hidrográficas e suas respectivas ribeiras na ilha potencializam a ocorrência de fluxos muito significativos de materiais sólidos, os quais correspondem ao componente mais perigoso durante a aluvião. Este processo dá-se pelo encadeamento e sucessão temporal de mecanismos de erosão, transporte e deposição de sedimentos em que a água se apresenta como o principal agente mobilizador (Oliveira *et al.*, 2010).

Conforme verificado no subcapítulo 2.1.5.1, os períodos com maior intensidade de precipitação estão compreendidos entre outubro e abril, assim como todos os eventos de cheias extremas apresentados na Tabela 3. Portanto, mesmo que de forma não exata, é possível estipular os períodos em que se torna necessário ter maior atenção e cuidado nas políticas de prevenção e mitigação dos efeitos destes fenómenos.

## 2.2. MEDIDAS DE PREVENÇÃO E MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS

Conforme abordado por Moura (2019), o sistema de prevenção de riscos consiste num conjunto de medidas com intuito de impedir que fenómenos extremos naturais, atividades industriais ou qualquer outra atividade antropológica provoquem desastres. Para Julião (2009), o sistema compõe um dos quatro pilares fundamentais do modelo territorial adequado ao crescimento urbano em Portugal, evidenciando que a gestão preventiva se tornou uma das maiores prioridades na política de ordenamento territorial do Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), sendo este, um dos elementos basilares de outros instrumentos de gestão territorial.

### 2.2.1. Proteção Civil

As diretrizes estabelecidas pela Proteção Civil (PC), através da Lei de Bases da Proteção Civil – Lei n.º 27/2006 estabelecida no dia 3 de junho de 2006, possui como essência *“prevenir riscos coletivos inerentes a situações de acidente grave ou catástrofe, de atenuar os seus efeitos, proteger e socorrer as pessoas e bens em perigo quando aquelas situações ocorram”*. O Artigo 3º estabelece as diferenças entre acidente grave e catástrofe, onde *“acidente grave é um acontecimento inusitado com efeitos relativamente limitados no tempo e no espaço, suscetível de atingir as pessoas e outros seres vivos, os bens e o ambiente”* e *“catástrofe é o acidente grave ou a série de acidentes graves suscetíveis de provocarem elevados prejuízos e, eventualmente, vítimas, afetando intensamente as condições de vida e o tecido socioeconómico em áreas ou na totalidade do território nacional”*.

De acordo com o Artigo 1º, Item 2, as atividades de proteção civil têm *“caráter permanente, multidisciplinar e plurisectorial, cabendo a todos os órgãos e departamentos da Administração Pública promover as condições indispensáveis à sua execução, de forma descentralizada, sem prejuízo ao apoio mútuo entre organismos e entidades”*. Já o Artigo 2º, informa que a PC é desenvolvida em todo território nacional, sendo que nas regiões autónomas – *e.g.* Região Autónoma da Madeira – as ações estão sob responsabilidade dos Governos Regionais.

Os objetivos fundamentais da Lei de Bases da Proteção Civil estão estabelecidos no Artigo 4º, sendo eles:

1. Prevenir os riscos coletivos e a ocorrência de acidente grave ou de catástrofe deles resultante;
2. Atenuar os riscos coletivos e limitar os seus efeitos no caso das ocorrências descritas no item anterior;
3. Socorrer e assistir as pessoas e outros seres vivos em perigo, proteger bens e valores culturais, ambientais e de elevado interesse público;
4. Apoiar a reposição da normalidade da vida das pessoas em áreas afetadas por acidente ou catástrofe.

O Artigo 4º ainda estabelece as principais atividades exercidas, consistindo em:

- a. Levantamento, previsão, avaliação e prevenção dos riscos coletivos;
- b. Análise permanente das vulnerabilidades perante as situações de risco;
- c. Informação e formação das populações, visando a sua sensibilização em matéria de autoproteção e de colaboração com as autoridades;
- d. Planeamento de soluções de emergência, visando a busca, o salvamento, a prestação de socorro e de assistência, bem como a evacuação, alojamento e abastecimento das populações;
- e. Inventariação dos recursos e meios disponíveis e dos mais facilmente mobilizáveis, ao nível local, regional e nacional;
- f. Estudo e divulgação de formas adequadas de proteção dos edifícios em geral, de monumentos e de outros bens culturais, de infraestruturas, do património arquivístico, de instalações de serviços essenciais, bem como, do ambiente e dos recursos naturais;
- g. Previsão e planeamento de ações atinentes à eventualidade de isolamento de áreas afetadas por riscos.

Portanto, a utilização de um processo de caracterização de risco na proteção civil apresenta-se como uma vantagem por se tratar de uma oportunidade de conhecer e reduzir o risco para a população, os seus bens e para o ambiente, através de atividades de prevenção e mitigação (Moura, 2019).

### 2.2.2. Mitigação dos Impactos das Cheias

Especificamente para a problemática do presente estudo, a estratégia tradicional de mitigação das cheias é materializada pelas medidas estruturais – *e.g.* construção de barragens e criação de albufeiras, a construção de diques, estruturas de contenção de cheias, a modificação dos leitos das ribeiras, o desvio de caudais de cheia e a implementação de descarregadores de caudais (Rocha, 1998; Guedes, 2014). Neste contexto, esta metodologia “[...] *modifica o volume da cheia, o seu nível máximo, o tempo de subida da mesma e a sua duração total, a extensão da zona inundada, e a velocidade e profundidade da inundação* (Guedes, 2014)”. Reis (2015) e Moura (2019) complementam ao afirmar que o controlo do volume de água afluyente ao curso de água principal permite a regularização da evolução morfológica da linha de água, de forma a permitir a redução do transporte de sólidos provenientes da erosão das margens do leito.

Conforme abordado por Tucci (1993a); Moreira (2016) e Moura (2019), as medidas de mitigação de cheias também podem ser de carácter não estrutural, sendo regidas prioritariamente a nível regulamentar – *e.g.* a Lei da Água, transposta pela Diretiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2000 – a qual estabelece as bases e o quadro institucional para gestão sustentável das águas. Os principais objetivos desta normativa são:

1. Promover a proteção e o planeamento das águas, através da elaboração e execução do plano nacional da água, dos planos de gestão da bacia hidrográfica e dos planos específicos de gestão de águas, e assegurar a sua revisão periódica;
2. Promover o ordenamento adequado dos usos de águas através da elaboração e execução dos planos de ordenamento das albufeiras de águas públicas, dos planos de ordenamento dos estuários e dos planos de ordenamento da orla costeira, e assegurar a sua revisão periódica;
3. Promover e avaliar os projetos de infraestruturas hidráulicas;
4. Instituir e manter atualizado o sistema nacional de informação dos recursos hídricos;
5. Garantir a aplicação do regime económico e financeiro dos recursos hídricos.

Outros exemplos de medidas não estruturais podem ser encontrados nos planos municipais de emergência, nos sistemas de alerta e previsão de cheias, seguros financeiros referentes às cheias,

reconstituição da vegetação nas bacias hidrográficas e na informação e instrução da sociedade em como lidar durante a ocorrência do fenómeno (Moreira, 2016).

No que se refere à Ilha da Madeira, a identificação das zonas de risco elevado foi efetuada pela Direção Regional do Ordenamento do Território e Ambiente (DROTA), regulamentada através da Implementação da Diretiva n.º 2007/60/CE, de 23 de outubro de 2007, a qual foi transposta pelo Decreto de Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro de 2010. A supracitada diretiva teve como intuito primordial aprovar o Plano de Gestão de Riscos de Inundações da Região Autónoma da Madeira (PGRI-RAM), a qual pretende “[...] *gerir o risco de inundações de forma integrada [...] e estabelecer medidas com o objetivo de impedir ou evitar as inundações e reduzir os efeitos catastróficos que provocam (PGRI-RAM, 2017)*”.

A PGRI-RAM identificou, no total, 27 ribeiras consideradas “zonas críticas” por toda a ilha, nos diversos concelhos e freguesias. Para o presente estudo, destacam-se os apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4 - Zonas críticas de interesse. (Fonte: Autor, 2020 adaptado de SRA-DROTA, 2017).**

Concelho	Ribeira
<b>Funchal</b>	Ribeira de São João
	Ribeira de Santa Luzia
	Ribeira de João Gomes
<b>Machico</b>	Ribeira de Machico
<b>Ribeira Brava</b>	Ribeira da Ribeira Brava
	Ribeira da Tabua
<b>São Vicente</b>	Ribeira de São Vicente

Nota-se que as ribeiras de Água de Pena, Porto da Cruz e Caniçal, ambas situadas no concelho de Machico, não apresentam classificação de risco segundo o PGRI-RAM. Entretanto, estas bacias também serão caracterizadas por outras metodologias para a confirmação do estudo.

A metodologia utilizada para a elaboração da cartografia de risco de inundação da RAM consta no Decreto de Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro de 2010, a qual “[...] *consiste na combinação da probabilidade de inundações, tendo em conta a sua magnitude, e das potenciais consequências prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o património cultural, as infraestruturas e as atividades económicas [...] (SRA-DROTA, 2017)*”. Os aspetos técnicos subjacentes à modelação realizada podem ser encontrados na memória descritiva dos estudos de elaboração para as zonas críticas das cartas de zonas inundáveis e das cartas de risco de inundações da RAM.

A Equação 1, a qual foi utilizada para elaboração da cartografia consta na publicação de Wallingford (2005), coincidindo com a abordagem adotada pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

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

onde:

P<sub>i</sub> = perigosidade;

d = profundidade da inundação<sup>12</sup> (m);

v = velocidade de escoamento (m/s).

Com os valores obtidos pela equação apresentada, efetuou-se o comparativo com os valores críticos, Tabela 5, extraídos do caderno de encargos (SRA-DROTA, 2017).

<sup>12</sup> A profundidade de inundação refere-se a altura da lâmina de água sobre uma superfície inundada.

Tabela 5 - Risco em relação às inundações. (Fonte: SRA-DROTA, 2017).

Perigosidade	Grau de Ameaça	Descrição do Risco
< 0.75	Insignificante (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

Através do comparativo entre os valores críticos com os valores de perigosidade encontrados para cada um dos pontos de estudo, procedeu-se a elaboração da Carta de Perigosidade, conforme a Figura 29.

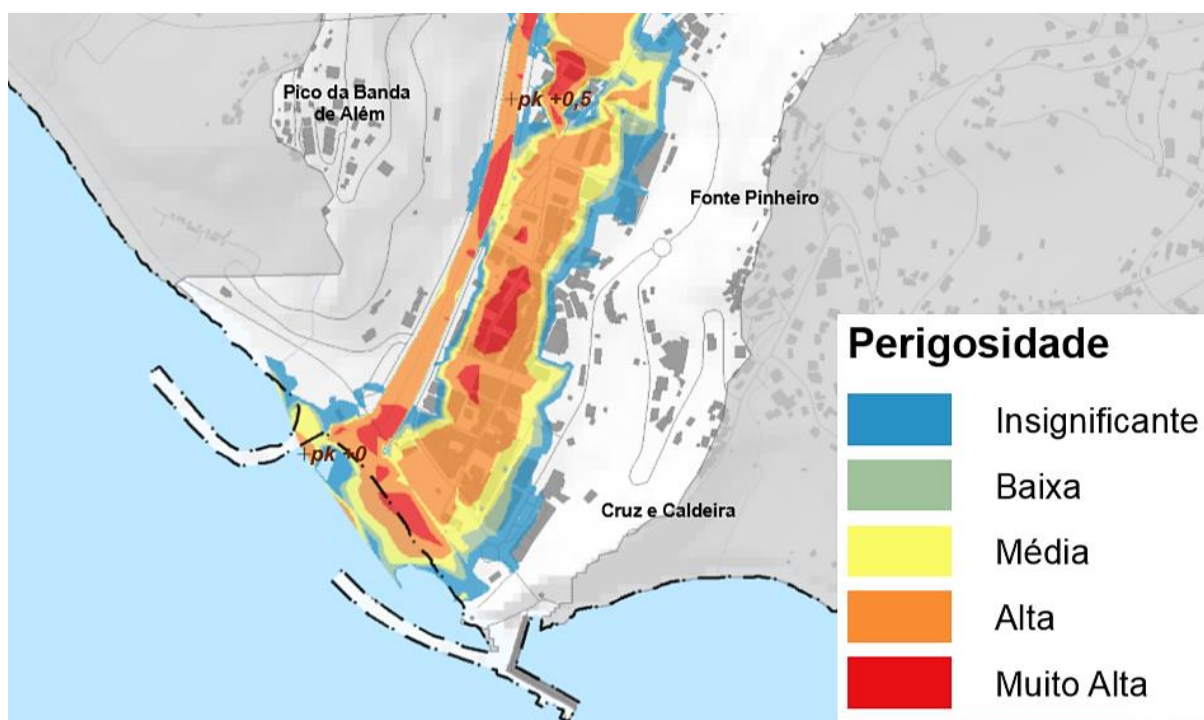


Figura 29 - Carta de perigosidade da foz da ribeira da Ribeira Brava. (Fonte: SRA-DROTA, 2017).

“A execução da cartografia das consequências foi efetuada a partir da reclassificação da Carta de Ocupação de Solos da Região Autónoma da Madeira (COSRAM, 2007) e, atendendo à caracterização do nível de ameaça de inundação [...] criou-se a matriz de riscos de inundação, que relaciona a gravidade das consequências com a perigosidade de uma inundação (SRA-DROTA, 2017)”.

Tabela 6 - Matriz de risco. (Fonte: SRA-DROTA, 2017).

Consequências	Perigosidade				
	Nível	Insignificante	Baixa	Média	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

Através do mesmo princípio, procedeu-se também a elaboração da carta de consequências das zonas críticas catalogadas no PGRI-RAM, conforme representado na Figura 30.

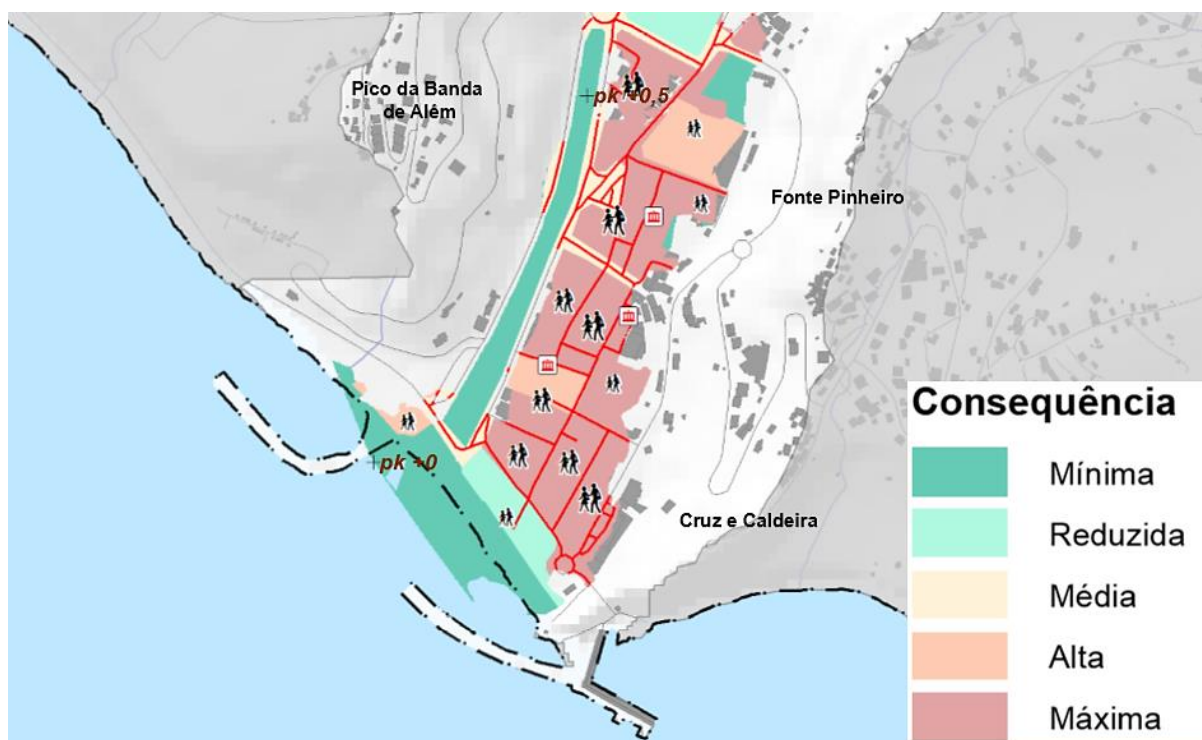


Figura 30 - Carta de consequências da foz da ribeira da Ribeira Brava. (Fonte: SRA-DROTA, 2017).

Evidencia-se, portanto, a importância de implementar medidas não estruturais para o combate às cheias, onde é possível verificar as zonas de maior suscetibilidade e, por fim, aplicar os mecanismos estruturais com maior eficiência. Este conceito deu-se a partir das políticas de ordenamento territorial elaboradas com a finalidade de regulamentar e padronizar o crescimento urbano de forma sustentável, prevenindo problemas futuros (Pereira, 1997).

### 2.3. ORDENAMENTO TERRITORIAL

A definição da expressão “Ordenamento Territorial (OT)” dá-se pela Carta Europeia de Ordenamento do Território (CEOT), elaborada em 1983, a qual considera o ordenamento do território como uma “[...] disciplina científica, uma técnica administrativa e uma política, concebidas como uma abordagem interdisciplinar e global que visam desenvolver de modo equilibrado as regiões e organizar fisicamente o espaço [...]” (Oliveira, 2009). Com base nesta premissa, o ordenamento territorial pode ser entendido como uma visão, um objetivo e um conjunto de ações integradas no espaço e no tempo que se traduzem em políticas económicas, sociais, culturais e ecológicas (Partidário, 1999).

Para Inocêncio (2015), com o ordenamento territorial visa-se organizar o espaço através dos instrumentos em posse, de forma a potencializar o território e suas estruturas e melhorar a qualidade de vida das respetivas populações. Portanto, trata-se de “uma política pública que articula várias políticas sectoriais do âmbito do território, de modo a obter uma articulação (Inocêncio, 2015)”. Nesta mesma perspetiva, Moura (2019) sugere que o termo ordenamento refere-se à uma ferramenta de gestão do espaço biofísico, o qual permite dar respostas aos desafios territoriais de cada país, por meio da organização, utilização e transformação do território de acordo com as suas potencialidades. Evidencia-se, portanto, que é necessário ter em conta “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 (Moura, 2019)”*.

Outros autores como Baud & Bourgeat & Bras (1999) definiram no *Dictionnaire de Géographie* que o OT “[...] corresponde, na maior parte dos casos à vontade de corrigir os desequilíbrios de um espaço nacional e regional e constitui um dos principais campos de intervenção da geografia aplicada”. Já para Merlin & Choay (2000), o ordenamento territorial trata-se da ação e prática de dispor com ordem, por meio do espaço de uma nação e com visão prospetiva, os homens e o resultado de suas atividades, os equipamentos e meios de comunicação utilizados, considerando as problemáticas naturais, humanas e económicas.

No que se refere ao conceito de planeamento, este corresponde ao processo pelo qual são identificados os objetivos que se almejam alcançar, e as metodologias que favoreçam a obtenção destes objetivos de forma eficaz, ou seja, trata-se de um processo para definir metas e elaborar estratégias para atingi-las (Nesbitt, 1990). Costa Lobo *et al.* (1990) e Partidário (1999) ressaltam que, mesmo que os conceitos de planeamento e ordenamento pareçam sinónimos, o planeamento deve ser entendido como um sistema operativo, o qual desencadeia uma série de ações para atingir um objetivo, servindo de suporte ao ordenamento e situando-se a jusante deste. Castanho *et al.* (2019a) sintetiza o ato de planear como proceder a organização territorial de forma a atender as necessidades da população e do ambiente, corrigindo os desequilíbrios socioeconómicos e espaciais, e consequentemente, permitindo um desenvolvimento sustentável.

Por fim, Castanho *et al.* (2017) sugerem que para estabelecer a implementação do processo de planeamento de forma assertiva, torna-se necessário reconhecer as necessidades de intervenção, definindo rigorosamente os objetivos e estratégias, uma vez que o processo supracitado apresenta um elevado nível de complexidade.

### 2.3.1 Objetivos

O ordenamento territorial possui como essência a viabilização de políticas públicas sectoriais, considerando a localização das variadas atividades locais – *i.e.* função espacial – de forma a articula-las tendo em conta uma série de preocupações – *i.e.* função de coordenação – buscando sempre a correção das assimetrias entre as várias localidades no âmbito nacional (Inocêncio, 2015).

No que se refere à documentação, entre os mais diversos documentos oficiais destaca-se a CEOT de 1983, onde os objetivos gerais foram determinados como (CEOT, 1983; Knorek & Julião, 2017):

- a. Desenvolvimento socioeconómico equilibrado das diversas localidades, onde o ordenamento territorial deve buscar a contenção do crescimento das regiões superpovoadas ou suscetíveis a um desenvolvimento demasiado acelerado, de forma a estimular o desenvolvimento das regiões mais atrasadas, mantendo ou adaptando as infraestruturas essenciais para a recuperação económica das regiões em declínio ou ameaçadas por problemas de desemprego;
- b. Melhoria da qualidade de vida através da escolha da localização que permita uma utilização otimizada do espaço, de forma a favorecer a melhoria da qualidade de vida quotidiana, tanto na habitação, trabalho, cultura, recreio ou das relações sociais;
- c. Gestão responsável dos recursos naturais e a proteção do ambiente através da promoção de estratégias que reduzam os conflitos entre a procura crescente de recursos naturais e a demanda da sua conservação. O ordenamento territorial busca assegurar uma gestão responsável do ambiente, dos recursos do solo, subsolo, ar, água, energia, fauna e flora, mantendo a atenção particular à paisagem e ao património cultural e arquitetónico;

- d. Utilização racional do território através da organização e desenvolvimento dos grandes complexos urbanos industriais, das infraestruturas fundamentais e da proteção dos solos agrícolas e florestais. Este ordenamento caracteriza-se por ser de natureza física, sendo necessário o acompanhamento de uma política fundiária, de forma a ser possível concluir os objetivos coletivos;
- e. Aplicação dos objetivos do ordenamento territorial através de inúmeros organismos e instituições, tanto privadas quanto públicas, como forma a desenvolver ou alterar a organização espacial através de ações;
- f. Coordenação e cooperação entre os diferentes níveis de decisão e obtenção de recursos financeiros, onde as diversas autoridades envolvidas na política de ordenamento do território precisam que lhes sejam dadas competências para decidir, e os meios para tal;
- g. Participação popular, pois toda política de ordenamento territorial deve ser baseada na participação ativa dos cidadãos. Torna-se indispensável que a população seja informada em todas as etapas do processo de planeamento e no enquadramento das estruturas e procedimentos institucionais.

De acordo com Knorek & Julião (2017), a implementação dos objetivos supracitados para o ordenamento territorial pode variar conforme o território em análise, bem como pelo nível territorial ou escala – *i.e.* nacional, regional ou local – e o período de aplicação. Neste contexto, a CEOT estabelece que os objetivos são específicos para cada região, sendo elas rurais, urbanas, fronteiriças, montanhosas, costeiras ou com fragilidades estruturais.

Por outra perspetiva, Baud & Bourgeat & Bras (1999) e Knorek & Julião (2017) sugerem duas problemáticas advindas do facto do ordenamento territorial ser de carácter multiescalar, sendo o primeiro referente a variabilidade dos países no âmbito da competência, enquanto o segundo põe-se em termos de concorrência. Para problemática da competência, verifica-se que “*a competência está relacionada com o poder real das entidades no processo de ordenar o território (Knorek & Julião, 2017)*”, e a concorrência “*pode exemplificar-se da seguinte forma: o traçado de uma auto-estrada previsto num plano de ordenamento nacional pode não ir de encontro à vontade municipal (Knorek & Julião, 2017)*”. Neste sentido, Castanho & Naranjo Gómez & Pysz (2019) afirmam que “[...] *a qualidade do planeamento espacial, incluindo os planos de desenvolvimento espacial e programas de desenvolvimento de transportes públicos, garantindo a disponibilidade de áreas específicas para o desenvolvimento residencial ou industrial, depende das autoridades locais*<sup>13</sup>”, o que confirma a possibilidade de conflito entre os interesses das entidades nacionais, regionais e locais.

Para resolver esta problemática, Gaspar (1995) sugere que o ordenamento territorial deve ser elaborado através da interseção dos três eixos vitais do desenvolvimento, sendo eles: a eficácia, a equidade e o ambiente, onde a presença dos seres humanos, as comunidades locais, regionais e nacionais são os objetivos finais das ações empreendedoras.

*“Do ponto de vista do ordenamento do território como uma política, os destinatários das diretivas gerais são os futuros diplomas legais que irão pôr em prática os princípios e objetivos definidos. Imediatamente a seguir aos diplomas, os destinatários são as entidades públicas que irão elaborar os planos. Mais tarde as entidades públicas que se encontram vinculadas pelos*

---

<sup>13</sup> Traduzido do inglês: “[...] the quality of spatial planning, including spatial development plans and public transport development programs ensuring the availability of specific areas for residential or industrial development, generally depend on the local authorities”.

*objetivos de ordenamento do território tornar-se-ão também destinatários, mas, responsáveis pela sua execução (Knorek & Julião, 2017)”.*

### **2.3.2 Sistema de Gestão e Planeamento do Território Português**

*“Tendo em vista a efetivar os seus objetivos, a política de ordenamento do território utiliza de vários instrumentos [...] a maioria destes instrumentos é de política económica, outros de política física (espacial ou territorial), outros combinam em diferentes proporções instrumentos de política económica e de política física (Inocêncio, 2015)”.*

De acordo com Fadigas (2017), o planeamento do território torna-se um instrumento fulcral para a gestão territorial, o qual consiste em um processo que contínuo, eficaz e rigoroso, onde desenvolve-se de forma integrada e permite estabelecer as diretrizes para o desenvolvimento do território de forma salutar. O sistema de planeamento português, até vigorar a Lei de Bases da Política de Ordenamento do Território e de Urbanismo (LBOTU) – estabelecida pela Lei n.º 48/98, de 11 de Agosto, e revogada pela Lei n.º 31/2014, de 30 de Maio – possuía como base três tipos de planos, sendo eles: os planos regionais de ordenamento do território, os planos especiais de ordenamento do território e os planos municipais de ordenamento do território (Inocêncio, 2015). Conforme abordado por Amado (2002), a Lei de Bases de Ordenamento do Território e o Decreto-Lei n.º 380/99, de 22 de Setembro, “[...] impõe que o Ordenamento do Território se processe numa perspectiva de sustentabilidade, pelo que é oportuna a proposição de um processo operativo de planeamento urbano, capaz de promover e garantir uma maior eficácia no atingir dos objetivos da sustentabilidade (Amado, 2002)”.

A LBOTU de 1998 alterou os tipos de instrumentos de planeamento através da reformulação do regime jurídico de alguns planos já existentes, e introduziu novos tipos de planos, nomeadamente o PNPT. Além disto, através desta Lei de Base também surgiram os Planos Intermunicipais de Ordenamento do Território (PIMOT), onde estabelecem-se as opções estratégicas de organização do território intermunicipal e de investimento público.

Com a Lei n.º 31/2014 referida anteriormente,

*“[...] os instrumentos de gestão territorial (IGT) materializam-se em programas, que estabelecem o quadro estratégico de desenvolvimento territorial e as suas diretrizes programáticas ou definem a incidência espacial de políticas nacionais a considerar em cada nível de planeamento [...] o atual sistema de gestão territorial positiva ainda programas sectoriais e especiais (Inocêncio, 2015).*

Portanto, torna-se necessário compreender as classificações e atribuições de cada instrumento de gestão territorial, de forma a perceber a sua área de atuação sem entrar em conflito com outros planos de ordenamento territorial vigentes, evitando a problemática da concorrência sugeridas por Baud & Bourgeat & Bras (1999) e Knorek & Julião (2017).

### **2.3.3. Instrumentos de Gestão Territorial**

Na legislação portuguesa, a divergência entre os conceitos de “ordenamento territorial” e de “urbanismo” não constitui um fundamento para a diferenciação das competências entre estas matérias, onde a LBOTU e o Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT), responsável pela Lei de Bases, abrangem ambos contextos (Knorek & Julião, 2017).

No que se refere ao Sistema de Gestão e Planeamento do Território em Portugal, “desenvolve-se de forma articulada entre os vários instrumentos de gestão territorial [...] regendo três âmbitos distintos

(nacional, regional e municipal) (Moura, 2019)”. Neste contexto, evidencia-se o carácter multiescalar sugerido por Knorek & Julião (2017), sendo necessário estabelecer a diferenciação entre cada competência, conforme abordado anteriormente.

Como forma de esquematizar as classificações escalares e as respetivas instituições pertencentes, Moura (2019) elaborou o seguinte organograma, Figura 31.

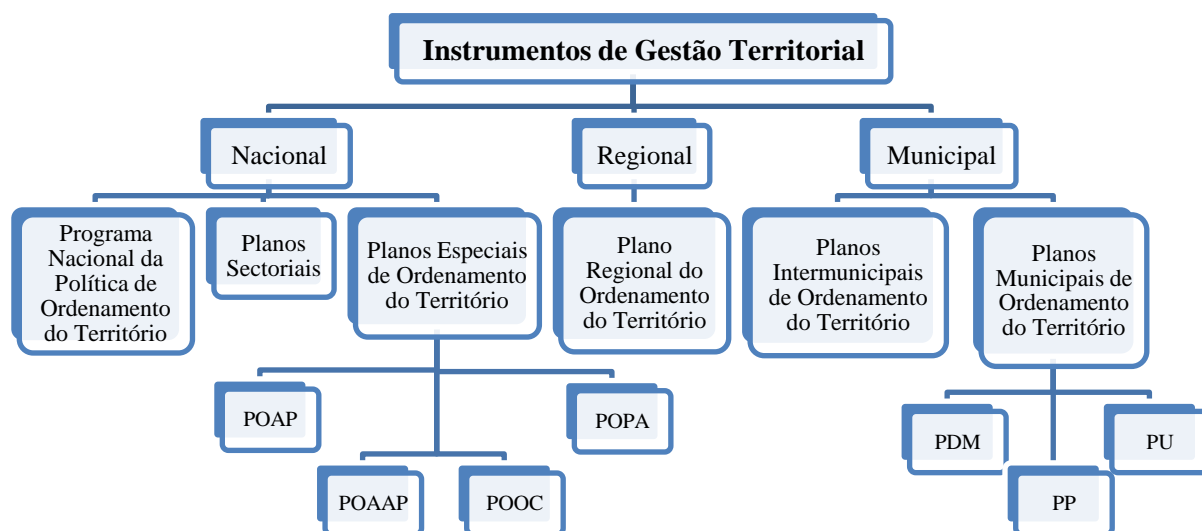


Figura 31 - Instrumentos de gestão territorial por escala. (Fonte: Autor, 2020 adaptado de Moura, 2019).

### 2.3.3.1. Escala Nacional

#### Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território - PNPOT

*“O ordenamento territorial tem sua importância, no que tange as discussões desenvolvimentistas, não é apenas uma técnica de apoio à administração do território, mas é sobretudo, uma prática fundada num conjunto de valores que devem fazer parte de projeto, bem maior, de desenvolvimento de um país (Knorek & Julião, 2017)”.*

Segundo a Lei n.º 99/2019, de 5 de Setembro, publicado no Diário da República n.º 170/2019, o PNPOT “é um instrumento de topo do sistema de gestão territorial, define objetivos e opções estratégicas de desenvolvimento territorial e estabelece o modelo de organização do território nacional” e constitui-se como o quadro de referência para os demais programas e planos territoriais, bem como um instrumento orientador das estratégias com incidência territorial.

Conforme já abordado, o PNPOT foi criado pela Lei de Bases da Política de Ordenamento do Território e de Urbanismo em 1998, com o objetivo de dotar o país de um instrumento competente através de uma visão prospetiva, completa e integrada da organização e desenvolvimento do território. Porém, o primeiro PNPOT foi aprovado somente anos depois pela Assembleia da República, através da Lei n.º 58/2007, de 4 de Setembro, após “[...] um amplo debate sobre as questões-chave da organização e desenvolvimento territorial do país e constituiu um marco da política de ordenamento do território [...] (DGT, 2019)”.

Em 2014, o PNPOT foi objeto de avaliação por parte da Direção Geral do Território (DGT), com a colaboração da rede de pontos focais que auxiliou a elaboração do referido programa. Utilizou-se como recurso consultas e entrevistas a cerca de 70 entidades públicas dos mais variados setores e níveis

administrativos, identificadas como responsáveis pela execução de políticas e instrumentos de estratégia, planeamento, programação e gestão relevantes para a concretização das orientações e diretrizes do PNPT (DGT, 2019). Já em 2016, a Resolução do Conselho de Ministros n.º 44/2016, de 23 de Agosto, determinou a modificação do PNPT estabelecido em 2007, com as seguintes particularidades a serem observadas:

- Os resultados da avaliação da execução do PNPT em vigor;
- As orientações da Estratégia Cidades Sustentáveis 2020;
- A crescente importância da dimensão territorial das políticas públicas;
- A necessidade de dar enquadramento territorial à programação estratégica e operacional do ciclo de fundos comunitários;
- Os objetivos do Governo no domínio da valorização do território e da promoção da coesão territorial, incluindo a consideração das diversidades territoriais e a aposta no desenvolvimento interior;
- Os objetivos de desenvolvimento sustentável, os compromissos do acordo de Paris e os desígnios do Programa Nacional de Reformas.

O PNPT estabelece, portanto, as grandes opções com relevância para a organização do território nacional, além de consubstanciar o quadro de referência a considerar na elaboração de outros instrumentos de gestão territorial (Inocêncio, 2015). Neste contexto, “[...] o relatório do PNPT identifica um elenco de vinte e quatro grandes problemas para o ordenamento do território, apresenta o diagnóstico e fornece opções estratégicas para o desenvolvimento territorial das várias regiões e das suas subunidades territoriais (Knorek & Julião, 2017)”.

O artigo 27.º do Decreto-Lei n.º 380/99, de 22 de Setembro, do Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial consagra os objetivos cujo PNPT almeja alcançar, sendo eles:

- a. Definir o quadro unitário para o desenvolvimento territorial integrado, harmonioso e sustentável do país, tendo em conta a identidade própria das suas diversas parcelas e a sua inserção no espaço da União Europeia;
- b. Garantir a coesão territorial do país, atenuando as assimetrias regionais e garantindo a igualdade de oportunidades;
- c. Estabelecer a tradução espacial das estratégias de desenvolvimento económico e social;
- d. Articular as políticas setoriais com incidência na organização do território;
- e. Racionalizar o povoamento, a implantação de equipamento estruturantes e a definição das redes;
- f. Estabelecer os parâmetros de acessos às funções urbanas e às formas de mobilidade;
- g. Definir os princípios orientadores da disciplina de ocupação do território.

Especificamente à Portugal, o item 2 do artigo 5º, presentes no Decreto-Lei n.º 58/2007, de 4 de Setembro, estabelece os objetivos estratégicos que constituem o quadro de compromissos das políticas com incidência territorial, nomeadamente:

1. Conservar a biodiversidade, os recursos e o património natural, paisagístico e cultural;
2. Reforçar a competitividade territorial de Portugal e a sua integração nos espaços ibérico, europeu, atlântico e global;

3. Promover o desenvolvimento policêntrico dos territórios e reforçar as infraestruturas de suporte à integração e à coesão territorial;
4. Assegurar o provimento equitativo de infraestruturas e equipamentos coletivos no território;
5. Expandir as redes e infraestruturas avançadas de informação e comunicação, incentivando a sua utilização pelos cidadãos, empresas e Administração Pública;
6. Reforçar a qualidade e eficiência da gestão territorial, promovendo a participação informada, ativa e responsável, dos cidadãos e das instituições.

Por fim, desde que o PNPOT se tornou uma realidade jurídica em Agosto de 2007, este “[...] alterou os pressupostos do sistemas de planeamento português que passou a dispor de um instrumento enquadrador da política de ordenamento do território e, ao mesmo tempo, coordenador dos restantes instrumentos com repercussão territorial, fornecendo uma visão integrada [...]” (Inocêncio, 2015).

### Planos Setoriais - PS

Conforme evidenciado no artigo 35.º do RJGT, “os planos setoriais (PS) são instrumentos de planeamento que programam ou concretizam as políticas de desenvolvimento económico e social com incidência especial, determinando o respetivo impacto territorial (Oliveira, 2009)”. O item 2, do artigo 35.º do RJGT apresenta a caracterização dos planos setoriais, sendo eles (Inocêncio, 2015):

- a. Os planos, programas e estratégias de desenvolvimentos que se referem aos diversos setores da administração central, principalmente no âmbito dos transportes, das comunicações, da energia e dos recursos geológicos, da educação e da formação, da cultura, da saúde, da habitação, do turismo, da agricultura, do comércio, da indústria, das florestas e do ambiente;
- b. Os planos de ordenamento setorial e os regimes territoriais apresentados sob abrigo de lei especial;
- c. As decisões sobre a localização e implementação de grandes empreendimentos públicos com incidência territorial.

Para Amado (2002) e Moura (2019), os planos setoriais “[...] traduzem-se em instrumentos de concretização das diversas políticas que incidem na organização do território”. Porém, esta tipologia de instrumento já existia no ordenamento jurídico português, sendo integrados de forma expressa no sistema de gestão territorial a partir da revogação da LBOTU. Neste contexto, “[...] com esta integração expressa no sistema territorial, esclareceu-se a forma como devem relacionar-se com os restantes instrumentos de gestão territorial, sempre que incidam sobre a mesma área territorial e estejam em uma relação de conflito ou contradição (Inocêncio, 2015)”, problemática esta já sugerida anteriormente por Baud & Bourgeat & Bras (1999) e Knorek & Julião (2017).

No que se refere à RAM, o levantamento elaborado por Moura (2019) sugere a existência dos seguintes planos setoriais para a região:

- **PERRAM - Plano Estratégico de Resíduos da Região Autónoma da Madeira:** plano setorial responsável por definir as opções estratégicas e intervenções operacionais para a gestão de resíduos da RAM, sendo estruturado em duas partes fundamentais para a implementação de uma estratégia de gestão de resíduos, a Parte A (opções estratégicas) e Parte B (intervenções operacionais);

- **PRAM - Plano Regional de Água da Madeira:** constitui um instrumento de planeamento fundamental, considerando o enquadramento da gestão dos recursos hídricos em termos quantitativos e qualitativos, como forma de permitir a disponibilização, a valorização, a proteção e a gestão da água;
- **PPERAM - Plano de Política Energética da RAM:** possui como objetivo a segurança do aprovisionamento, competitividade económica e proteção do meio ambiente, onde cruzam-se com propósitos relevantes em torno da valorização dos recursos energéticos regionais e da implementação das ações de eficiência e racionalidade energética, tendo em conta as particularidades de um sistema insular isolado;
- **PRPA - Plano Regional de Política do Ambiente:** com este plano setorial objetiva-se a determinação das necessidades de intervenção e estabelecer as prioridades da política regional em matéria de ambiente, as quais devem apresentar coerência e visão holística ao conjunto a um conjunto muito diversificado de ações que irão concretizar este plano;
- **POT - Plano de Ordenamento Turístico:** com este plano objetiva-se requalificar o produto turístico dominante, reforçar o papel dos principais eventos tradicionais, formatar os produtos de nicho, desenvolver e consolidar os produtos emergentes. otimizar a oferta secundária e aumentar o peso cultural no ordenamento estratégico do turismo.

#### Planos Especiais de Ordenamento do Território - PEOT

Os PEOT constituem-se como instrumentos regulamentares e de competência estrita da administração geral. Com esta tipologia de plano objetiva-se a conceção, orientação e dinamização de um conjunto de políticas territoriais destinadas a áreas do território nacional que, no âmbito ambiental e de gestão e prevenção de riscos, assumem particular pertinência. Segundo o item 2, do artigo 42.º, do RJIGT, os PEOT “constituem um meio supletivo de intervenção do governo, tendo em vista a prossecução de objetivos de interesse nacional com repercussão espacial [...] estabelecem regimes de salvaguarda de recursos e valores naturais [...] asseguram a permanência dos sistemas indispensáveis à utilização sustentável do território”.

Com as alterações inseridas pelo Decreto-Lei n.º 131/2002, de 11 de Maio (Planos de Ordenamento de Parques Arqueológicos), e pela Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro (Plano de Ordenamento de Estuários), as tipologias de PEOT podem ser classificadas como:

- Planos de Ordenamento de Áreas Protegidas – POAP;
- Planos de Ordenamento de Albufeiras de Águas Públicas – POAAP;
- Planos de Ordenamento da Orla Costeira – POOC;
- Planos de Ordenamento dos Estuários – POE;
- Planos de Ordenamento do Parque Arqueológico – POPA.

#### **2.3.3.2. Escala Regional**

##### Planos Regionais de Ordenamento do Território - PROT

Através do artigo 51.º do RJGT definem-se os planos regionais de ordenamento territorial como instrumentos que estabelecem as estratégias regionais do desenvolvimento territorial, integrando as opções atribuídas a nível nacional e considerando as estratégias municipais do desenvolvimento local, as quais constituem o quadro de referência para a elaboração dos planos municipais de ordenamento do território. Segundo Oliveira (2009), as competências relativas aos PROT são exercidas pelas comissões de coordenação e desenvolvimento regional.

Já o artigo 52.º, do RJGT, este estabelece os objetivos inerentes à PROT, sendo de fácil perceção que estes são os reais objetivos das políticas de ordenamento territorial. Entre os diversos objetivos, destacam-se:

- a. Desenvolver, no âmbito regional, as opções constantes do programa nacional da política de ordenamento territorial e dos planos setoriais;
- b. Traduzir, em termos especiais, os grandes objetivos do desenvolvimento económico e social sustentável, sendo estes formulados nos planos de desenvolvimento regional;
- c. Equacionar as medidas necessárias para a atenuação das assimetrias de desenvolvimento intra-regionais;
- d. Servir de base para a formulação da estratégia nacional de ordenamento do território e do quadro de referência para a implementação de planos especiais, intermunicipais e municipais.

Por fim, entende-se que os PROT “[...] têm por objetivo desenvolver, no âmbito regional, as opções constantes de instrumentos de gestão territorial de nível nacional [...] embora também sirvam de base à formulação da estratégia nacional de ordenamento territorial e de quadro de referência para elaboração dos PEOT (Oliveira, 2009)”.

### **2.3.3.3. Escala Municipal**

#### *Planos Intermunicipais de Ordenamento Territorial - PIMOT*

O Plano Intermunicipal de Ordenamento Territorial está definido no item 1, do artigo 60.º do RJGT, como instrumento de desenvolvimento territorial que permite a articulação entre o plano regional e os planos municipais para territórios que, devido à interdependência dos seus elementos estruturantes, precisam de uma coordenação integrada.

Através do artigo 61.º, do RJGT, estabeleceu-se os objetivos atribuídos aos planos intermunicipais, os quais visam articular estratégias de desenvolvimento económico e social dos municípios envolvidos designadamente nos domínios específicos, sendo eles (Inocêncio, 2015):

- a. Estratégia intermunicipal de proteção da natureza e de garantia da qualidade ambiental;
- b. Coordenação da incidência intermunicipal dos projetos de redes, equipamentos, infraestruturas e distribuição das atividades industriais, turísticas, comerciais e de serviços que constem no PNPOT e nos PS;
- c. Estabelecimento de objetivos, a médio e longo prazo, de racionalização do povoamento;
- d. Definição de objetivos em matéria de acesso a equipamentos e serviços públicos.

Planos Municipais de Ordenamento Territorial

O ordenamento jurídico português estabeleceu uma relação de inferioridade hierárquica dos planos municipais de ordenamento territorial (PMOT) em relação aos demais instrumentos de gestão territorial (Inocêncio, 2015). Porém, para Oliveira (2009), esta relação de inferioridade hierárquica dos PMOT tratam-se de uma relação hierárquica mitigada, a qual é sustentada pelo artigo 80.º, do RJIGT. O referido artigo permite que o Plano Diretor Municipal (PDM) possa confrontar as disposições estabelecidas nos PROT e PS. Neste sentido, o município se

*“[...] encontra dentro do âmbito da sua decisão própria devendo, por estes motivos, ficar a margem de um novo controlo de legalidade das suas disposições. E por isso também se compreende que os planos de urbanização (PU) ou de pormenor (PP) possam alterar o plano diretor municipal, ainda que tal alteração consista numa reclassificação dos solos, sem que a mesma se encontre sujeita a ratificação governamental, uma vez que se traduz na alteração de uma opção que, também ela, esteve sujeita a este tramite procedimental (Oliveira, 2009)”*.

Conforme visto anteriormente, os PMOT possuem outros planos intrínsecos que podem alterar as diretrizes estabelecidas nas PROT e PS, sendo eles estruturados como (Amado, 2002):

1. **Planos Diretores Municipais - PDM:** de acordo com o artigo 85.º, do Decreto-Lei n.º 380/99, de 22 de Setembro, os planos diretores municipais constituem-se em uma síntese da estratégia desenvolvimentista e de ordenamento local, integrando tanto as opções de escala nacional quanto regional, com incidência na respetiva área de intervenção;
2. **Planos de Urbanização - PU:** estabelecido através do artigo 87.º, do Decreto-Lei n.º 380/99, de 22 de Setembro, os planos de urbanização são instrumentos que definem a organização espacial de determinada parcela do território municipal, sendo esta integrada no perímetro urbano, e que necessite de intervenção integrada para o planeamento;
3. **Planos de Pormenor - PP:** conforme o artigo 90.º do Decreto-Lei n.º 380/99, de 22 de Setembro, os planos de pormenor desenvolvem propostas de organização espacial de qualquer especificidade do território municipal, definindo com detalhe a conceção da forma de ocupação. Além disto, tende a servir como base para os projetos de execução de infraestruturas, arquiteturas e de áreas exteriores, com as prioridades definidas através do PDM e PU.

No que se refere à RAM, cada concelho estabelece o seu próprio PDM, PU e PP. Para o presente estudo, interessa apenas destacar os PDM referentes aos concelhos em análise, sendo eles:

1. **Funchal:** o PDM do Funchal foi ratificado pela Resolução do Conselho do Governo Regional n.º 887/97, de 10 de Julho, sendo alterado em sessão extraordinária da Assembleia Municipal de 26 de Março de 2018;
2. **Machico:** através da Resolução n.º 4/2005/M (2.ª série), a Assembleia Municipal de Machico aprovou, em reunião ordinária realizada no dia 30 de Setembro de 2005, e sob proposta da Câmara Municipal, o PDM do concelho do Machico;
3. **Ribeira Brava:** por meio da Resolução n.º 2/2002/M, a Assembleia Municipal da Ribeira Brava aprovou, em reunião extraordinária realizada no dia 25 de Junho de 2002, e sob proposta da Câmara Municipal, o PDM da concelho da Ribeira Brava;
4. **São Vicente:** através da Resolução n.º 532/2019, aprovada pelo Concelho do Governo no dia 14 de Agosto, ratificou-se a 1ª Revisão do PDM do concelho de São Vicente.



**CAPÍTULO 3**  
**METODOLOGIA TEÓRICA**

### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Entende-se por bacia hidrográfica uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, a foz “[...] e compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único na foz (Silveira, 1993)”, Figura 32.



Figura 32 - Modelação 3D da bacia hidrográfica da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).

Conforme abordado no capítulo anterior, e endossado por Camacho (2015), a precipitação que cai sobre as vertentes infiltra-se totalmente nos solos até ocasionar a saturação superficial do mesmo, “[...] momento em que começam a decrescer as taxas de infiltração e a surgir crescentes escoamentos superficiais, se a precipitação persistir (Silveira, 1993)”, conduzindo o volume de água excedente para os cursos de água afluentes, e estes, abastecerão o curso de água principal que escoará o caudal até à foz.

*“A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pela foz, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também infiltrados profundamente (Silveira, 1993)”.*

A divisão entre escoamento superficial (também designado por escoamento rápido) e escoamento subterrâneo (também conhecido como escoamento lento ou infiltrado) pode ser verificada através do hidrograma de entrada e saída, o qual visa representar a resposta de uma bacia hidrográfica a determinada precipitação (Camacho, 2015; Lousada & Camacho, 2018), Figura 33.

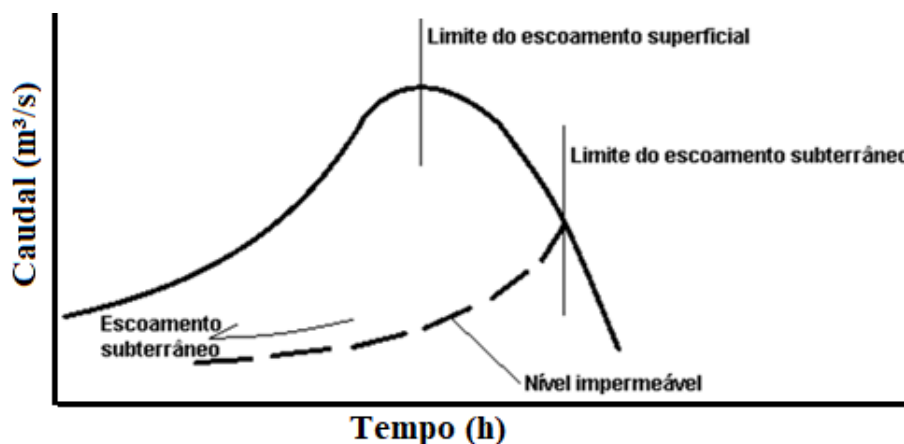


Figura 33 - Representação de um hidrograma de entrada e saída. (Fonte: Lousada & Camacho, 2018).

Portanto, a resposta de uma bacia hidrográfica está diretamente vinculada às suas características geomorfológicas, as quais podem favorecer ou não o escoamento superficial e conseqüentemente fenômenos de cheias extremas. Para exemplificação deste fator, verifica-se que

*“Em bacias de reduzida dimensão, o acréscimo para escoamento das bacias adjacentes em resultado da não coincidência entre as linhas de separação de águas superficiais e subterrâneas pode ser percentualmente significativo [...] nas grandes bacias, a importância dos acréscimos ou decréscimos de escoamento resultantes desta forma é geralmente pequena (Camacho, 2015)”.*

### **3.1.1. Características geomorfológicas e fisiográficas da bacia hidrográfica**

No estudo das formas da superfície terrestre, a geomorfologia surge como “[...] um campo científico distinto, mas com alguns problemas de identidade relacionados, muitas vezes, ao seu posicionamento na encruzilhada entre as áreas do saber mais abrangentes que se identificam como Geologia e Geografia (Gama & Dimuccio, s.d.)”.

Através do estudo geomorfológico local, obtêm-se as características fisiográficas de uma bacia hidrográfica, consistindo nos elementos que podem ser retirados a partir de cartas, fotografias aéreas ou imagens de satélite (Silveira, 1993). Do ponto de vista hidrológico, torna-se de interesse do estudo caracterizar a bacia no aspeto geométrico, o sistema de drenagem e relevo. Para Lousada & Camacho (2018), “considera-se de igual importância os aspetos condicionantes do comportamento hidrológico da bacia, como por exemplo, a sua constituição geológica, o tipo de solos presentes e cobertura vegetal predominante”.

Segundo Villela & Mattos (1975), as características fisiográficas da bacia hidrográfica constituem elementos de grande importância para a avaliação do seu comportamento hidrológico, pois “[...] ao se estabelecerem relações e comparações entre tais características e os dados hidrológicos conhecidos, podem-se determinar indiretamente os valores hidrológicos locais nos quais faltem dados (Ferreira et al., 2010)”.

*“O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas [...] e do tipo de cobertura vegetal [...] deste modo, as características físicas e bióticas de uma bacia possuem importante papel no ciclo hidrológico, influenciando dentre outros, a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e os escoamentos superficiais e sub-superficiais (Ferreira et al., 2010 e Tonello, 2005)”.*

A quantificação da disponibilidade hídrica serve como base para um projeto de planeamento de recursos hídricos, sendo necessário expressar de forma quantitativa todas as características de forma, de processos e de suas inter-relações (Ferreira et al., 2010). Neste contexto, Tonello (2005) enfatiza que nenhum dos índices é capaz de simplificar a complexa dinâmica de uma bacia hidrográfica de forma isolada.

#### **3.1.1.1. Caracterização geométrica**

À priori, a característica geométrica mais importante de uma bacia hidrográfica refere-se à sua área de drenagem (A), a qual resulta da projeção horizontal da bacia no plano, Figura 34, e pode ser expressa preferencialmente em km<sup>2</sup>, m<sup>2</sup> ou ha (Rodrigues & Guimarães & Moreira., 2011; Camacho, 2015; Lousada & Camacho, 2018).

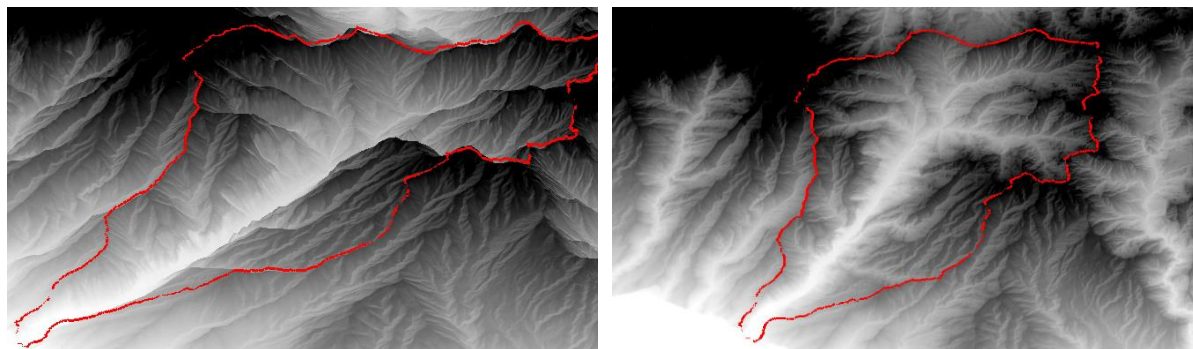


Figura 34 - Transposição dos limites altimétricos para planimétricos. (Fonte: Autor, 2020).

Nota-se que a delimitação da bacia hidrográfica é efetuada pelos limites altimétricos (ou cotas altimétricas) que direcionam o volume de água precipitado para o mesmo ponto: a foz. Entretanto, para estabelecer a área de uma determinada bacia e correlacioná-la com a precipitação incidente, é necessário efetuar a transposição da configuração altimétrica para um plano. Este procedimento pode ser feito através da cartografia tradicional, estabelecendo manualmente as cotas de transição entre bacias hidrográficas adjacentes, ou através de *softwares* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) como o *software ArcGIS*.

Conforme sugerido por Rodrigues & Guimarães & Moreira (2011), a forma planimétrica da bacia pode influenciar significativamente o regime do curso de água, principalmente dos caudais de ponta de cheia. Entre as principais formas estabelecidas pelo autor, encontram-se:

1. **Bacia arredondada:** formada por várias linhas de água de importância comparativamente semelhantes, reunindo-se concentricamente para originar uma linha de água final relativamente curta, Figura 35.

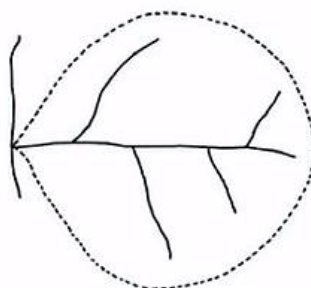


Figura 35 - Exemplificação de uma bacia arredondada. (Fonte: Larara, 2020).

2. **Bacia alongada ou elíptica:** constitui-se por uma linha de água principal demasiada extensa, com a presença de linhas de água afluentes que a abastece, Figura 36.

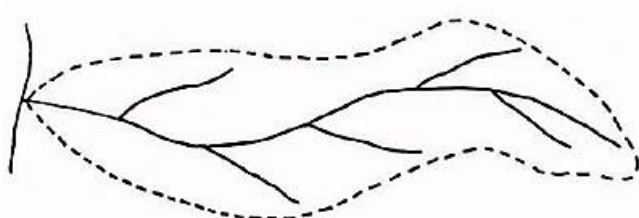


Figura 36 - Exemplificação de uma bacia alongada ou elíptica. (Fonte: Larara, 2020).

3. **Bacia radial ou ramificada:** tipologia que consiste na união de diversas bacias alongadas e que se reúnem em uma linha de água final, Figura 37.

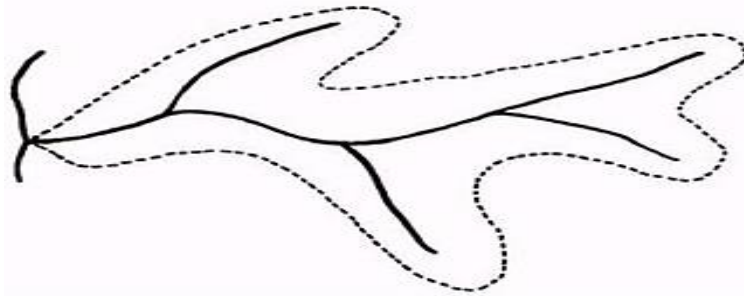


Figura 37 - Exemplificação da bacia radial ou ramificada. (Fonte: Larara, 2020).

Com isto, “[...] analisando-se uma lâmina  $L$  precipitada sobre uma bacia de área  $A$  em um pequeno intervalo de tempo ( $h$ ), é razoável supor que a precipitação ocorrida perto da foz gerará um escoamento que chegará mais cedo a este ponto (Silveira, 1993)”, enquanto que o escoamento gerado em locais mais distantes levará mais tempo até que passe pela mesma foz. Através desta análise, Larara (2020) sugere os respectivos hidrogramas para os modelos de bacias hidrográficas supracitadas, Figura 38.

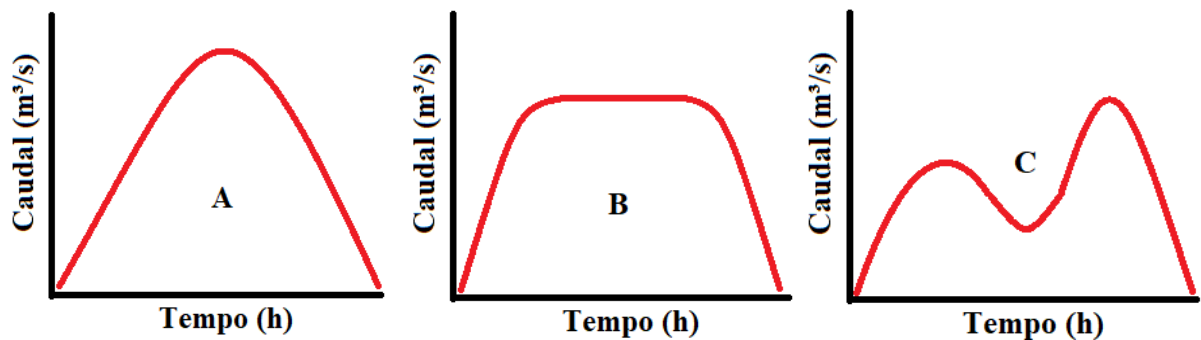


Figura 38 - Hidrogramas de acordo com o tipo de bacia, onde A) arredondada; B) alongada e C) radial. (Fonte: Autor, 2020).

Através dos hidrogramas acima apresentados, é possível sugerir que:

- A) Apresenta um caudal mais acentuado, porém com curta duração de pico;
- B) Apresenta um caudal inferior em comparação ao anterior, mas mantém o pico por mais tempo;
- C) Apresenta diversos picos de caudais ao longo do tempo, porém com curta duração de pico.

Com base nisto, é possível afirmar que:

*“Verificando-se a igualdade de todas outras condições, o caudal de cheia das bacias mais alongadas será menor do que o das bacias arredondadas [...] uma vez que [...] nas bacias arredondadas a concentração das águas faz-se muito mais rapidamente, dando origem a um caudal máximo de cheia maior, embora de menor duração (Lousada & Camacho, 2018)”.*

Para a quantificação da forma das bacias hidrográficas, Silveira (1993); Ferreira *et al.* (2010); Costa & Lança (2011); Rodrigues & Guimarães & Moreira (2011); Camacho (2015); Lousada & Camacho (2018) e Moura (2019) sugerem alguns índices indicativos, sendo eles:

1. **Índice de Gravelius –  $K_C$** : estabelece a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de uma bacia perfeitamente circular, porém de área igual ao da bacia em estudo, de forma a estabelecer o quão circular é a mesma. Este parâmetro pode ser obtido através da Equação 2.

$$K_C = P / 2 \times \sqrt{\pi \times A}$$

Equação 2

Onde:

P = perímetro da bacia hidrográfica, em km;

A = área da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>.

Este índice é adimensional, e quanto mais próximo de “1”, mais arredondada é a bacia hidrográfica e maior a suscetibilidade às cheias (Lousada & Camacho, 2018).

2. **Fator de Alongamento – K<sub>L</sub>**: estabelece a relação entre a bacia hidrográfica em análise com um retângulo equivalente de mesma área. Este parâmetro pode ser calculado através da Equação 3.

$$K_L = L_e/l_e \quad \text{Equação 3}$$

Sendo:

$$L_e = \frac{K_C \times \sqrt{A}}{1,128} \times \left| 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_C}\right)^2} \right| \quad \text{Equação 4}$$

$$l_e = \frac{K_C \times \sqrt{A}}{1,128} \times \left| 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_C}\right)^2} \right| \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

L<sub>e</sub> = comprimento equivalente, em km;

l<sub>e</sub> = largura equivalente, em km;

K<sub>c</sub> = índice de Gravelius, adimensional;

A = área da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>.

Este coeficiente é de caráter adimensional, e caso o valor obtido seja superior à “2”, a bacia hidrográfica é considerada alongada (Camacho, 2015).

3. **Fator de Forma – K<sub>f</sub>**: estabelece a relação entre a largura média e o comprimento da bacia hidrográfica. A determinação deste coeficiente pode ser feita a partir da Equação 6.

$$K_F = A/L_B^2 \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

A = área da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>;

L<sub>B</sub> = comprimento da bacia hidrográfica, em km.

Este índice apresenta valores adimensionais. Assim como no Fator de Alongamento, este parâmetro estabelece o quão alongada é a bacia. Porém, neste caso quanto menor for o valor obtido, mais alongada é a bacia em estudo e menor a propensão às cheias (Ferreira *et al.*, 2010). Neste índice, valores iguais a “1” indicam uma bacia quadrada (Lousada & Camacho, 2018).

### 3.1.1.2. Caracterização dos canais de drenagem

Os canais de drenagem são sistemas complexos, vão desde o seu curso de água principal – *i.e.* o talvegue, o qual consiste na linha mais baixa de um vale ou espaço geomorfológico de escoamento de água – até os cursos adjacentes, onde o volume excedente se acumula e formam as várzeas (Justi Junior & Andreoli, 2015). Para Suguio & Bigarella (1979), estes canais “[...] representam um dos mais importantes agentes

geológicos, participando da esculpturação da paisagem e no condicionamento ambiental”. No que se refere à origem destes sistemas de canalização, podem ser formados tanto devido à ação dos processos erosivos associados a linhas de convergência quando pela origem escultural, quanto pelo condicionamento geológico, designado de origem estrutural, advindo de falhas geológicas, dobramentos ou movimentação de placas tectônicas (Justi Junior & Andreoli, 2015).

### Tipologias de Escoamento

Os fluxos de escoamento dos canais de drenagem podem ser classificados como (Lencastre & Franco, 2003; Rodrigues & Guimarães & Moreira, 2011; Guimarães, 2017):

- Perenes:** possuem fluxo contínuo, ou seja, escoam água durante todo o ano. Este fluxo é abastecido pelas reservas de água subterrâneas, e mesmo em estação seca, o nível da água nunca fica abaixo do leito do curso de água, Figura 39;



Figura 39 - Representação dos cursos de água perenes. (Fonte: Lousada & Camacho, 2018).

- Intermitentes:** possuem oscilação de fluxo entre as estações mais húmidas e mais secas, onde na primeira permanece com o nível freático acima da cota do leito, e na segunda o nível situa-se abaixo da cota do leito. Neste sentido, pode se afirmar que o fluxo oscila entre escoamento superficial e subterrâneo, de acordo com a estação, Figura 40;

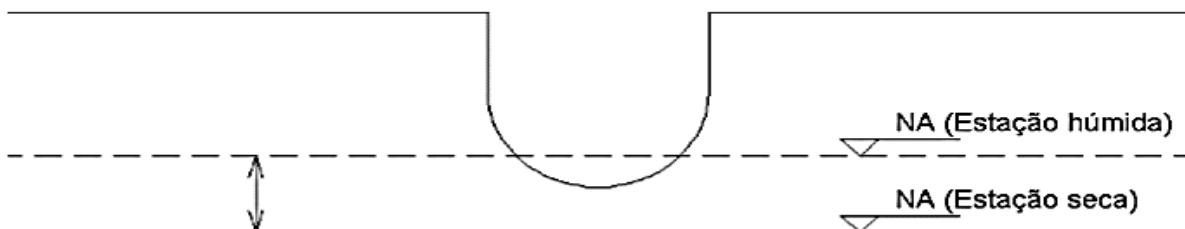


Figura 40 - Representação dos cursos de água intermitentes. (Fonte: Lousada & Camacho, 2018).

- Efémeros:** o fluxo permanece apenas durante ou imediatamente após períodos de precipitação. Neste contexto, há a ocorrência apenas de escoamento superficial, uma vez que o nível freático se situa sempre abaixo da cota do leito não havendo, portanto, qualquer contribuição para o escoamento subterrâneo, Figura 41.

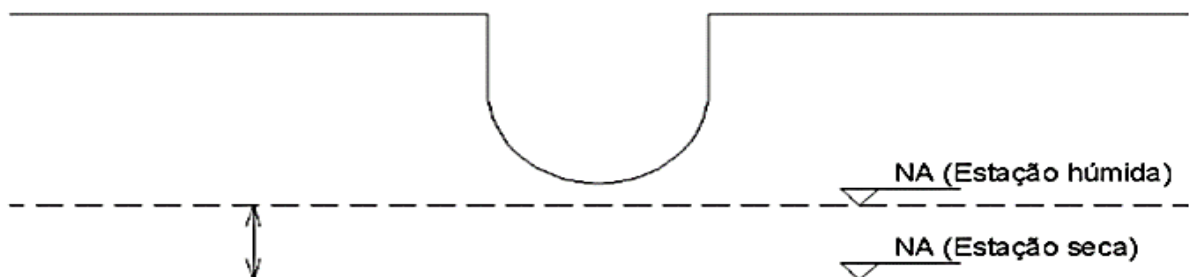


Figura 41 - Representação dos cursos de água efémeros. (Fonte: Lousada & Camacho, 2018).

*“O regime de fluxo de canais de drenagem, classificados como perenes, intermitentes e efêmeros, é condicionado por aspetos geológicos, pedológicos, geomorfológicos e climatológicos [...] onde [...] as características da paisagem de uma bacia hidrográfica resultam em diferentes situações no que tange à formação e manutenção dos cursos hídricos ou de simples convergências pluviais no terreno com regime de fluxo efêmero (Justi Junior & Andreoli, 2015)”.*

Entre os aspetos supracitados, destacam-se os climáticos, principalmente por permitir a diferenciação das tipologias de fluxo de acordo com a sua sazonalidade. Para Justi Junior (2013), a determinação do regime de escoamento deve ser feita preferencialmente com levantamentos de campo, através da perfuração de poços que permitam a análise do nível do aquífero em detrimento da cota do leito do canal. Guimarães (2017) ressalva que muitos canais tendem a apresentar trechos com as três tipologias de escoamento, entretanto, a maioria dos grandes cursos de água são classificados como perenes, enquanto os pequenos são designados como efêmeros ou intermitentes.

#### Classificação por Ramificação

Conforme sugerido por Christofolletti (1980), toda análise morfométrica inicia-se a partir da hierarquização dos canais, onde cada linha de drenagem pode ser categorizada de acordo com a sua posição (ordem ou magnitude) dentro da bacia hidrográfica. Para o referido autor, esta ordenação pode ser utilizada para descrever a linha de drenagem e dividir a rede de drenagem em partes que podem ser quantificadas e comparadas.

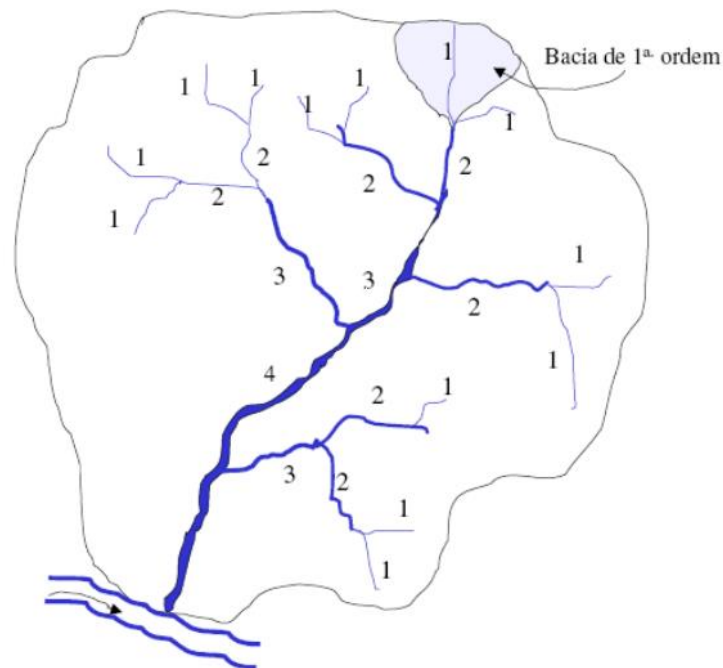
Como critério de ordenamento dos canais da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica, destacam-se a metodologia de Robert E. Horton e Arthur N. Strahler. Segundo Christofolletti (1980), a análise das bacias hidrográficas passou a ter um caráter mais objetivo após a elaboração da metodologia de Horton, o qual estabeleceu as leis do desenvolvimento dos rios e suas respectivas bacias, servindo como base para diversas outras pesquisas neste ramo.

Na metodologia de Horton, os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem têm apenas afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem recebem afluência de canais de segunda ordem e podem receber diretamente canais de primeira ordem e assim sucessivamente, atribuindo a maior ordem ao curso de água principal e valendo esta designação para todo o seu comprimento, desde a foz até a nascente (Silveira, 1993).

Entretanto, Strahler modificou a classificação de Horton atribuindo a primeira ordem para todos os canais tributários, mesmo que sejam nascentes dos rios principais ou afluentes; os canais de segunda ordem são aqueles que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, podendo ter afluentes também de primeira ordem; já os canais de terceira ordem originam-se da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de primeira e segunda ordem e assim sucessivamente (Silveira, 1993), conforme pode ser verificado na Figura 42.

Como forma de exemplificar, Guimarães (2017) sugere que:

*“[...] nesta classificação atribui-se um número de ordem a cada curso de água, sendo classificadas como cursos de água de 1ª ordem aqueles que não apresentem afluentes [...] a linha de água formada pela junção de duas linhas de água com a mesma ordem tomará uma ordem maior em um [...] assim, a junção de dois rios de ordem  $n$  dá lugar a um rio de ordem  $n+1$  [...]”.*



**Figura 42 - Exemplificação da metodologia proposta por Strahler. (Fonte: Guimarães, 2017).**

A análise da classificação de Strahler pode ser feita com base no grau de ramificação ou bifurcação existente em uma bacia hidrográfica, onde cada grau pode ser obtido pela Equação 7 (Strahler, 1964; Silveira, 1993; Camacho, 2015; Guimarães, 2017; Lousada & Camacho, 2018; Moura, 2019).

$$R_B = \frac{N_i}{N_{i+1}} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

$N_i$  = quantidade de canais com ordem “i”; adimensional;

$N_{i+1}$  = quantidade de canais com ordem imediatamente superior “i+1”, adimensional.

Este parâmetro possui caráter adimensional, uma vez que estabelece apenas uma relação de proporcionalidade entre as ordens em análise.

Para a obtenção da razão de bifurcação média da bacia, utiliza-se a Equação 8.

$$\overline{R_B} = \sqrt[i-1]{\prod_{i=1}^{i-1} \frac{N_i}{N_{i+1}}} = i^{-1} \sqrt{N_1} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

$N_i$  = quantidade de canais com ordem “i”;

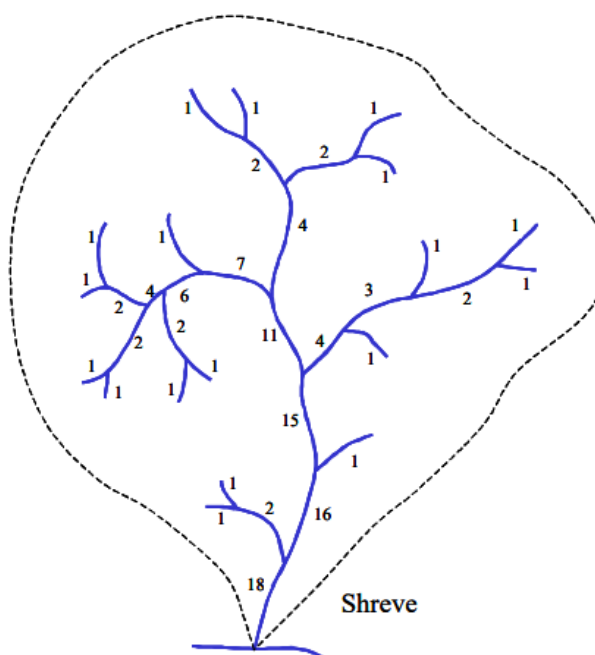
$N_{i+1}$  = quantidade de canais com ordem imediatamente superior “i+1”;

$N_1$  = quantidade de canais de 1ª ordem.

Assim como o parâmetro anterior, este possui caráter adimensional por estabelecer meramente uma média das relações de proporcionalidade efetuadas.

Outra metodologia vastamente utilizada atualmente é a classificação de Shreve. Neste caso, as magnitudes são somadas sempre que há a interceção de duas linhas de drenagem, ou seja, quando duas

linhas de primeira magnitude se unem, o trecho a jusante recebe a designação de segunda magnitude (Rennó & Soares; s.d.; Christofolletti, 1980; Lousada & Camacho, 2018), Figura 43.



**Figura 43 - Exemplificação da metodologia proposta por Shreve. (Fonte: Rennó & Soares, s.d.).**

Nota-se que assim como a classificação de Strahler, o trecho principal mais próximo da foz apresenta a ordem/magnitude mais elevada do sistema. A principal diferença de Shreve para Strahler pode ser percebida em bacias hidrográficas com malhas de drenagem muito densas, onde a magnitude apresenta valores muito superiores em relação à ordem. Isto ocorre uma vez que o crescimento da magnitude não é unitário, conforme acontece e se verifica na metodologia de Strahler.

#### Tempo de Concentração

O tempo de concentração corresponde ao tempo necessário para que toda a bacia hidrográfica contribua para a saída de água após uma precipitação (Vilella & Mattos, 1975; Martins & Candido, 2012; Justi Junior & Andreoli, 2015; Gonçalves & Lousada, 2020).

*“Num hidrograma resultante de uma precipitação útil que cubra uniformemente toda a bacia, corresponde ao intervalo de tempo que decorre entre a cessação da precipitação e a ocorrência de um ponto de inflexão na curva de decrescimento [...] é considerado como uma característica constante da bacia, independentemente das características das chuvadas (Rodrigues & Guimarães & Moreira, 2011)”.*

Nota-se que para cada frequência estatística, designa-se “chuvada crítica” de uma bacia a precipitação uniforme suscetível de provocar o maior valor do caudal de ponta. De acordo com a própria definição de tempo de concentração, entende-se que a chuvada crítica possui uma duração igual ou superior ao tempo de concentração da bacia em estudo. Entretanto, este conceito só tem sentido em pequenas bacias, devido a improbabilidade de ocorrência de chuvas igualmente distribuídas, tanto no aspeto espacial quanto temporal, em bacias de grandes dimensões (Rodrigues & Guimarães & Moreira, 2011). Neste contexto, segundo Mano (2008) e Lencastre & Franco (2006), no que se refere ao estudo das cheias, a duração de uma precipitação intensa a considerar deve ser no mínimo igual ao tempo de concentração, uma vez que é necessário assegurar que a bacia estará a contribuir em sua totalidade para o escoamento

da foz. Por outra perspectiva, Debo & Reese (1995) sugerem que de modo a não efetuar um sobredimensionamento das estruturas hidráulicas, o tempo de concentração mínimo a ser utilizado corresponde a cinco minutos, sendo este o menor intervalo de tempo possível para proceder à leitura dos pluviómetros que permitem formar as curvas Intensidade-Duração-Frequência.

Conforme afirmam Lencastre & Franco (1992), o tempo de concentração é aplicado na determinação do caudal de ponta de cheia quando se utilizam expressões cinemáticas, as quais têm em conta as características do movimento da água na bacia hidrográfica. Portanto, entre as diversas metodologias apresentadas pelos mais variados autores, destacam-se:

1. **Kirpich:** projetada inicialmente para áreas com índice de urbanização reduzidos, esta metodologia fornece um tempo de concentração relativamente baixo. Devido a este facto, recomenda-se a metodologia para problemáticas de drenagem urbana, pois com o baixo tempo de concentração há o aumento do caudal de ponta de cheia, servindo como margem de segurança para futuras obras hidráulicas (Gonçalves & Lousada, 2020).

$$t_c = 57 \times (L^3 / (H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n}))^{0,385} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

$t_c$  = tempo de concentração, em minutos;

$L$  = comprimento do curso de água principal, em km;

$H_{m\acute{a}x}$  = altura máxima do curso de água principal, em m;

$H_{m\acute{i}n}$  = altura mínima do curso de água principal, em m.

Esta metodologia aplica-se, principalmente, para bacias rurais com canais bem definidos e declives compreendidos entre 3% e 10% (Souza, 2015).

2. **Témez:** formulação testada em bacias americanas e espanholas, com a qual se obteve resultados satisfatórios (Caetano, 2014; Lousada & Camacho, 2018).

$$t_c = \left( \frac{L}{i^{0,25}} \right)^{0,76} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

$t_c$  = tempo de concentração, em horas;

$L$  = comprimento do curso de água principal, em km;

$i$  = inclinação média do curso de água principal, em m/m.

Recomenda-se esta equação para bacias naturais com áreas até 3000 km<sup>2</sup> (Souza, 2015).

3. **Giandotti:** originada a partir da análise de diversas bacias hidrográficas italianas (Hipólito & Vaz, 2011; Caetano, 2014).

$$t_c = \frac{(4 + \sqrt{A}) + (1,5 \times L)}{0,8 \times \sqrt{H_m}} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

$t_c$  = tempo de concentração, em horas;

$A$  = área da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>;

$L$  = comprimento do curso de água principal, em km;

$H_m$  = altura média da bacia hidrográfica, em m.

### Capítulo III

Esta equação é normalmente utilizada para bacias hidrográficas com mais de 300 km<sup>2</sup> (Hipólito & Vaz, 2011; Caetano, 2014; Camacho, 2015).

Uma vez que cada metodologia foi elaborada através de análises amostrais diferentes, torna-se prudente estabelecer valores médios para o presente estudo, de forma a tentar aproximar os valores obtidos com a realidade local. Portanto, para determinação dos valores médios entre as variadas metodologias, procede-se a uma média aritmética simples dos valores obtidos.

$$t_{cm} = \frac{\sum tc'}{n^{\circ}} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

t<sub>cm</sub> = tempo de concentração médio, em horas;

tc' = tempo de concentração encontrado em cada metodologia, em horas;

n<sup>o</sup> = quantidade de metodologias utilizadas, adimensional.

#### Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem “[...] é um dos principais parâmetros na análise morfométrica de bacias hidrográficas, correspondendo ao comprimento médio de canais de uma bacia por unidade de área (Hiruma & Ponçano, 1994)”.

Este parâmetro é diretamente influenciado pelo clima e condições geomorfológicas da bacia hidrográfica, sendo elas físicas, geológicas e pedológicas (Christofolletti, 1980; Lima, 2008; Justi Junior & Andreoli, 2015). Para Lima (2008) e Justi Junior & Andreoli (2015), este índice pode ser aplicado como um indicador do nível de desenvolvimento de uma determinada bacia, permitindo analisar a sua eficiência de drenagem, a qual pode estar diretamente vinculada ao tempo gasto para o escoamento superficial deixar a bacia hidrográfica.

Portanto, este parâmetro pode ser obtido através da Equação 13 (Christofolletti, 1980; Silveira, 1993; Rodrigues & Guimarães & Moreira, 2011; Lousada & Camacho, 2018):

$$D_D = \frac{L_T}{A} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

D<sub>D</sub> = densidade de drenagem, em km/km<sup>2</sup>;

L<sub>T</sub> = comprimento total dos cursos de água da bacia hidrográfica, em km;

A = área da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>.

*“Quando a infiltração é lenta, predominando assim o escoamento superficial, há favorecimento na formação de canais, elevando assim a densidade de drenagem [...] em contrapartida, em locais com infiltração rápida o escoamento tende a ser menor, havendo com isso uma menor esculturação de canais, reduzindo consequentemente a densidade de drenagem (Justi Junior & Andreoli, 2015)”.*

Portanto, bacias com baixa densidade de drenagem indicam possivelmente uma capacidade de infiltração mais eficiente, onde os canais presentes tendem a apresentar um regime de escoamento perene ou intermitente. O oposto também se torna válido, onde bacias com alta densidade de drenagem tendem a possuir uma baixa capacidade de infiltração, prevalecendo o escoamento superficial (Lima, 2008; Rodrigues & Guimarães & Moreira, 2011; Camacho, 2015; Moura, 2019).

De modo a possuir um parâmetro comparativo para a análise da densidade de drenagem e a sua influência na propensão às cheias de uma bacia hidrográfica, Lima (2008) e Justi Junior & Andreoli (2015) estabeleceram os seguintes intervalos:

- **Baixa densidade de drenagem:**  $D_D < 5,0 \text{ km/km}^2$ , com tendência a perenidade dos cursos de água;
- **Média densidade de drenagem:**  $5,0 < D_D < 13,5 \text{ km/km}^2$ , onde os canais formados tendem a ter escoamentos perenes ou intermitentes;
- **Alta densidade de drenagem:**  $13,5 < D_D < 155,5 \text{ km/km}^2$ , onde os novos canais formados possuem tendência de ser efémeros;
- **Muita alta densidade de drenagem:**  $D_D > 155,5 \text{ km/km}^2$ , onde há a tendência de formação de canais efémeros.

Já em outras bibliografias como Villela & Mattos (1975); Rodrigues & Guimarães & Moreira (2011); Camacho (2015); Guimarães (2017); Lousada & Camacho (2018) e Moura (2019), estabelecem que “os valores da densidade de drenagem variam entre  $0,5 \text{ km/km}^2$ , para bacias mal drenadas, e  $3,5 \text{ km/km}^2$  ou mais para bacias excepcionalmente drenadas”. Apesar dos parâmetros divergirem devido aos critérios adotados por cada autor, há o consenso em relação a correlação entre o facto de quanto maior o valor encontrado para a densidade de drenagem, maior a incidência de escoamento superficial e o consequente agravamento das cheias.

#### Densidade de Rios ou Densidade Hídrica

A densidade de rios, ou densidade hídrica pode ser entendida como a razão entre a quantidade total de canais e a área da bacia hidrográfica (Christofoletti, 1980; Teodoro *et al.*, 2007; Rodrigues & Guimarães & Moreira, 2011; Justi Junior & Andreoli, 2015; Lousada & Camacho, 2018), sendo portanto, obtida pela Equação 14.

$$D_H = \frac{N}{A} \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

$D_H$  = densidade hídrica, unidades/ $\text{km}^2$ ;

$N$  = quantidade de cursos de água na bacia hidrográfica, em unidades;

$A$  = área da bacia hidrográfica, em  $\text{km}^2$ .

Para Justi Junior & Andreoli (2015), “esta equação permite comparar a frequência ou quantidade de canais existentes em uma área de tamanho padrão, permitindo demonstrar a sua magnitude”. Por outra perspectiva, Christofoletti (1980); Barros & Steinke (2009) e Justi Junior & Andreoli (2015) inferem que este índice representa o comportamento hidrográfico de uma determinada área, onde o aspeto primordial é a sua propensão a gerar novos cursos de água. Os referidos autores ainda sugerem que as bacias com alta densidade hídrica possuem tendência de apresentar uma maior quantidade de canais com escoamento efémeros, justamente devido à capacidade de gerar novos canais.

Seguindo a mesma lógica aplicada à densidade de drenagem, o elevado índice de densidade hídrica indica uma menor capacidade de infiltração do caudal, favorecendo o escoamento superficial e consequentemente ao fenómeno das cheias (Santos & Sobreira, 2008; Justi & Andreoli, 2015).

Extensão Média do Escoamento Superficial

A extensão média do escoamento superficial designa-se pela distância média percorrida pela água precipitada entre o interflúvio e o canal permanente, ou seja, a distância média percorrida pelo escoamento superficial do divisor de águas até ao canal de drenagem da bacia (Villela & Mattos, 1975; Christofolletti, 1980; Rodrigues & Guimarães & Moreira, 2011; Justi Junior & Andreoli, 2015; Lousada & Camacho, 2018). Este parâmetro pode ser obtido através da Equação 15 (Villela & Mattos, 1975):

$$L_s = \frac{A}{4 \times L_T} \Leftrightarrow L_s \approx \frac{1}{4 \times D_D} \quad \text{Equação 15}$$

Onde:

$L_s$  = extensão média do escoamento superficial, em km;

$A$  = área da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>;

$L_T$  = comprimento total dos cursos de água da bacia hidrográfica, em km;

$D_D$  = densidade de drenagem, em km/km<sup>2</sup>.

Evidencia-se que “*extensões muito longas favorecem o desenvolvimento de processos erosivos, visto que o escoamento atinge maior velocidade em vertentes longas, implicando num alongamento da incisão ou ainda no aumento de canais efêmeros (Justi Junior & Andreoli, 2015)*”. Por fim, este parâmetro possui uma resposta inversa à densidade hídrica, pois valores elevados estão comumente associados a solos permeáveis, o que por sua vez reduz com a contribuição dos caudais escoados pela rede de drenagem advindos do escoamento superficial (Santos & Sobreira, 2008).

Sinuosidade

A sinuosidade pode ser definida como a relação entre o comprimento do curso de água principal e a distância retilínea (diretriz) entre a foz e o ponto mais distante deste mesmo canal, Figura 44.

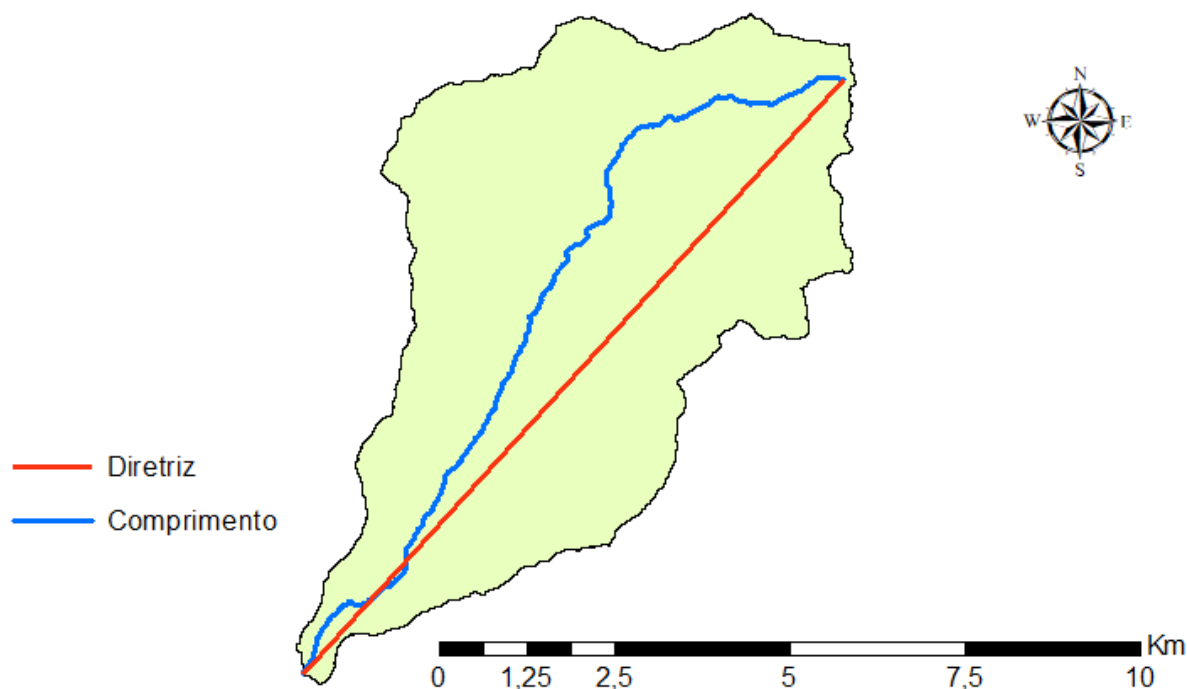


Figura 44 - Comprimento e diretriz da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).

“Para a sua determinação definem-se dois pontos, um a montante e outro a jusante, medindo-se a distância direta entre eles e calculando em seguida a distância total do canal de drenagem, considerando seus meandros (Justi Junior & Andreoli, 2005)”. Portanto, a relação de sinuosidade pode ser obtida através da Equação 16 (Rodrigues & Guimarães & Moreira, 2011; Camacho, 2015).

$$S = \frac{L}{Ld} \quad \text{Equação 16}$$

Onde:

S = grau de sinuosidade, adimensional;

L = comprimento do curso de água principal, em km;

Ld = comprimento da diretriz, em km.

Este parâmetro tem como valor mínimo a unidade, o que corresponderia a um curso de água perfeitamente retilíneo. De acordo com a NC Division of Water Quality (2005), o grau de sinuosidade está diretamente relacionado com o gradiente de inclinação de um determinado curso de água, onde canais com elevada declividade possuem coeficientes de sinuosidades baixos. Este facto dá-se pela velocidade de escoamento do curso de água, portanto, quanto maior o declive maior a velocidade e a capacidade energética de erosão da água, à qual tende um fluxo retilíneo.

Como forma de estabelecer valores de base de comparação para análises de outras bacias hidrográficas, a NC Division of Water Quality (2005) sugeriu a seguinte classificação para o parâmetro da sinuosidade:

- **Ausente:** quando o valor obtido é igual a “1”, sendo o canal perfeitamente reto. Apesar de naturalmente serem extremamente raros, os canais retilíneos tendem a possuir fluxo efêmero;
- **Fraca:** quando o valor obtido se situa entre “1” e “1,2”. Neste caso, o canal em análise possui poucas curvas e tende a apresentar escoamentos intermitentes e efêmeros;
- **Moderada:** quando o valor obtido se situa entre “1,2” e “1,4”. Canais enquadrados nesta classificação possuem sinuosidade, mas também alguns seguimentos retilíneos, com tendência ao escoamento perene ou intermitente;
- **Forte:** quando o valor obtido é superior a “1,4”. São canais que possuem inúmeras curvas e poucos trechos retilíneos, com tendência ao escoamento perene.

### Padrão de Drenagem

Os padrões de drenagem referem-se ao “*arranjo espacial dos cursos fluviais, que podem ser influenciados em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região (Sousa & Oliveira, 2017 citando Christofolletti, 1981)*”.

Entre os principais padrões de drenagem, verificam-se:

- a) **Anelar:** apresenta um padrão formado por anéis concêntricos, sendo típicos de áreas dômicas<sup>14</sup> profundamente entalhadas em estruturas formadas por camadas moles e duras (Suguió & Martin & Flexor, 1988);

<sup>14</sup> Relativo a domo, sendo uma estrutura anticlinal fechada com forma circular a ovalada, com camadas mergulhando a partir de uma zona central, divergentemente em todos os sentidos, assemelhando-se a uma abóboda.

- b) **Dendrítica ou Arborescente:** apresenta um desenvolvimento semelhante à configuração de ramos de uma árvore, desenvolvendo-se primordialmente sobre rochas de resistência uniforme ou em rochas estratificadas horizontalmente. A presença de confluências em ângulos retos neste padrão constitui anomalia que frequentemente pode ser justificada por fenômenos tectônicos (Christofoletti, 1981; Sousa & Oliveira, 2017);
- c) **Paralela:** é caracterizada por cursos de água que escoam quase paralelamente uns aos outros, por uma considerável extensão. Esta tipologia de drenagem é comumente encontrada em áreas onde há presença de vertentes com declives acentuados ou onde existiam controles estruturais (Suguio & Martin & Flexor, 1988);
- d) **Radial:** formada por correntes fluviais que se apresentam como raios de uma roda em relação a um ponto central, podendo desenvolver-se sobre uma grande variedade de embasamentos estruturais (Sousa & Oliveira, 2017). Para Christofoletti (1981) e Suguio & Martin & Flexor (1988), este padrão pode ser caracterizado por uma disposição centrífuga, quando os canais divergem a partir de um ponto ou área mais elevada, como cones vulcânicos e morros isolados; ou pela disposição centrípeta, onde os cursos de água convergem para um ponto central, situada em posição mais baixa, como em crateras e depressões vulcânicas;
- e) **Retangular:** assemelha-se ao padrão radial, porém, formados por influência exercida pelas falhas ou pelo sistema de juntas (Camacho, 2015; Lousada & Camacho, 2018);
- f) **Treliça:** caracteriza-se por drenagens controladas pela estrutura geológica, com um curso de água principal subsequente, bem destacado e com a presença de canais tributários nos lados opostos, com aproximadamente o mesmo tamanho e dispostos em ângulos retos. A presença deste padrão infere uma forte influência do controle estrutural, sendo encontrado em estruturas falhadas e nas cristas anticlinais (Suguio & Martin & Flexor, 1988).

Descritas as características, representam-se visualmente estes padrões através da Figura 45.

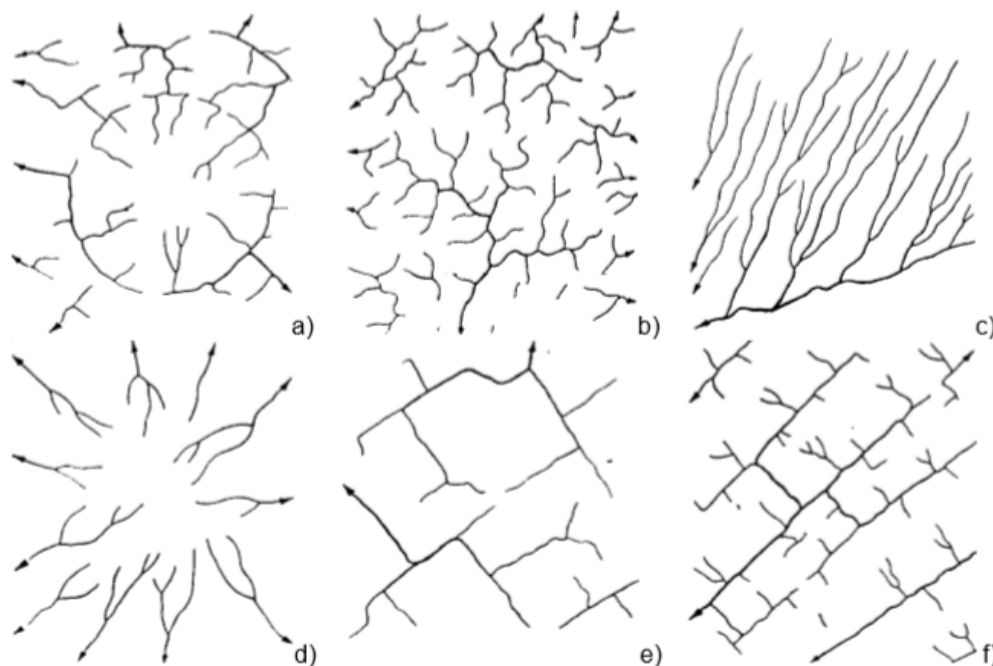


Figura 45 - Representação dos padrões de drenagem: a) Anelar; b) Dendrítica; c) Paralela; d) Radial; e) Retangular; f) Treliça. (Fonte: Camacho, 2015).

### 3.1.1.3. Caracterização do relevo

#### Hipsometria

A hipsometria corresponde à quantificação das áreas por classes de altitudes, de forma a estabelecer a distribuição das respectivas frequências altimétricas (Rodrigues & Guimarães & Moreira, 2011; Lousada & Camacho, 2018). Uma das formas de representação mais simples é por meio de gráficos altitude/percentual, onde constará o percentual de área da bacia hidrográfica que se encontra em determinada cota altimétrica, conforme representado na Figura 46.

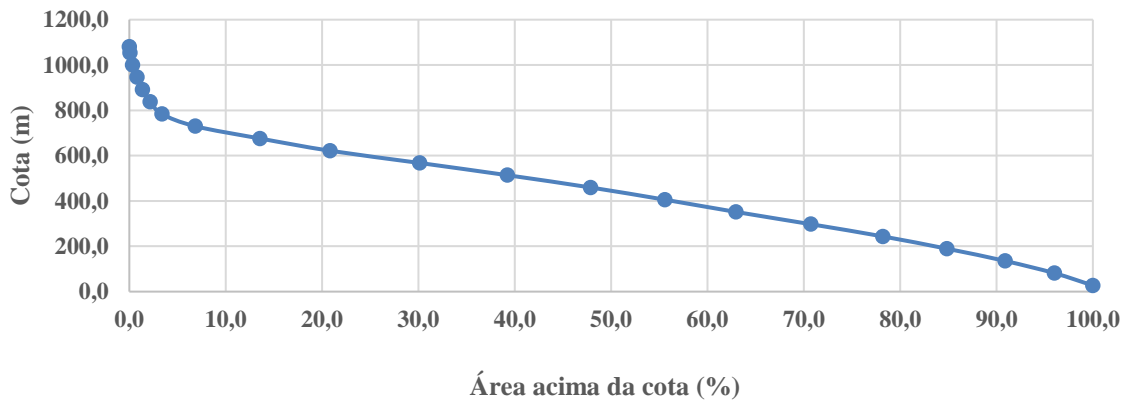


Figura 46 - Curva hipsométrica da bacia hidrográfica de Machico. (Fonte: Autor, 2020).

Outra forma de representação da hipsometria de uma bacia hidrográfica consiste na elaboração da carta hipsométrica, a qual “[...] é caracterizada por informar a altimetria da área, proporcionando uma visão ampla do relevo e do rebaixamento do terreno (Soares & Piroli, 2019)”, Figura 47.

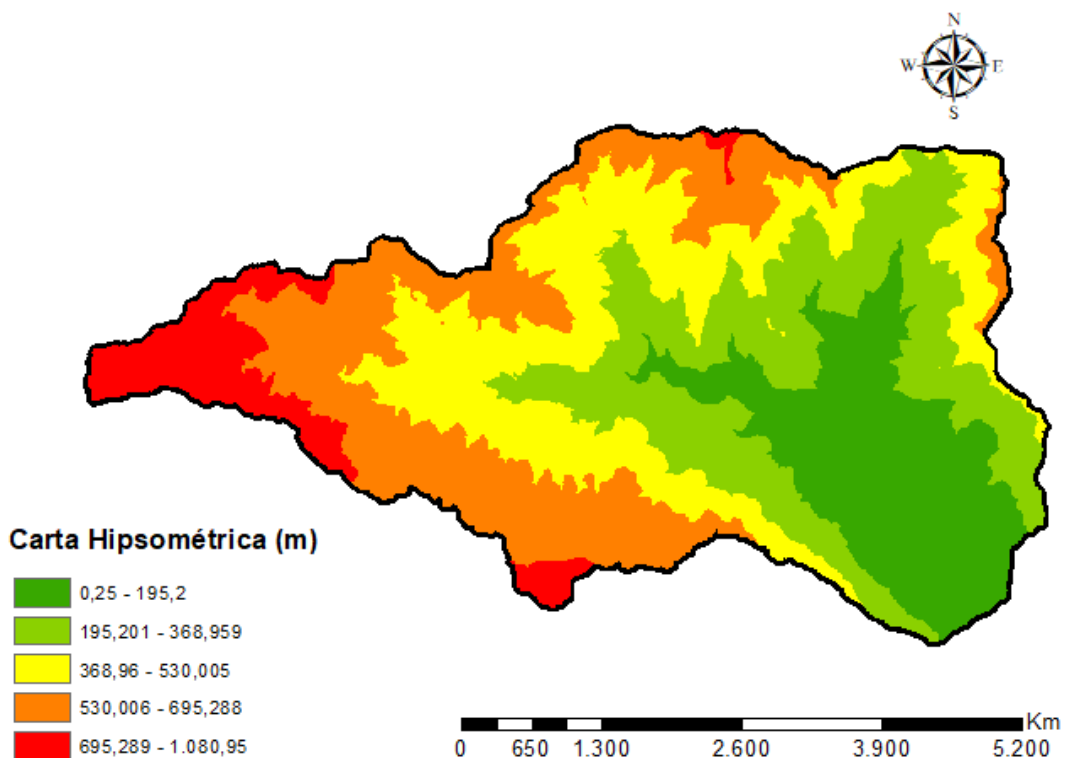


Figura 47 - Carta hipsométrica da bacia hidrográfica de Machico. (Fonte: Autor, 2020).

### Capítulo III

A carta hipsométrica, Figura 47, apresenta a variação altimétrica da bacia hidrográfica de Machico, onde foram estabelecidas 5 classes altimétricas para efeito demonstrativo. Evidencia-se que quanto maior a quantidade de classes utilizadas, mais suave se torna a transição altimétrica. Por fim, é notório que “[...] com recurso à cartografia digital e às ferramentas associadas aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o estudo da hipsometria dos terrenos passou a ser facilitado [...] (Lousada & Camacho, 2018)”.

#### Altitude e Altura Média

A altitude média, pode ser compreendida como o resultado do somatório dos produtos da altitude média entre duas curvas de nível consecutivas e do valor de área correspondente, em razão da área total da bacia hidrográfica (Rodrigues & Guimarães & Moreira, 2011; Camacho, 2015; Lousada & Camacho, 2018; Moura, 2019), conforme sugere a Equação 17.

$$Z_m = \sum \frac{Z_i \times A_i}{A} \quad \text{Equação 17}$$

Onde:

$Z_m$  = altitude média, em m;

$Z_i$  = altitude média entre curvas de nível, em m;

$A_i$  = área entre as curvas de nível correspondentes à  $Z_i$ , em km<sup>2</sup>;

$A$  = área da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>.

Este procedimento pode ser feito através da cartografia tradicional com a utilização da formulação supracitada, entretanto, com a utilização de *softwares* SIG este processo tornou-se muito mais fácil e simplificado. O mesmo se verifica para a obtenção da altura média, a qual pode ser calculada pela Equação 18.

$$H_m = \sum \frac{H_i \times A_i}{A} = Z_m - Z_{mín} \quad \text{Equação 18}$$

Onde:

$H_m$  = altura média, em m;

$H_i$  = altura média entre as curvas de nível, em m;

$A_i$  = área entre curvas de nível correspondentes à  $H_i$ , em km<sup>2</sup>;

$A$  = área da bacia hidrográfica;

$Z_m$  = altitude média, em m;

$Z_{mín}$  = altitude mínima, em m.

A única diferença entre estes dois parâmetros corresponde ao facto de a altura média considerar a cota mínima do terreno em sua composição. Contudo, para bacias hidrográficas cuja cota mínima coincida com o nível do mar, ambos os parâmetros possuirão o mesmo valor.

#### Coefficiente de Massividade

O coeficiente de massividade representa a razão da altitude média pela área da bacia hidrográfica. Segundo Borsato (2005), este índice busca, através da relação supracitada, caracterizar a bacia hidrográfica quanto à distribuição de terras baixas e altas, de modo que valores inferiores a 0,5 correspondem a bacias com distribuição maior de terras baixas. Este índice pode ser obtido através da Equação 19.

$$Cms = \frac{Hm}{A}$$

Equação 19

Onde:

Cms = coeficiente de massividade, em m/km<sup>2</sup>;

Hm = altura média, em m;

A = área da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>.

### Coeficiente Orográfico

O coeficiente orográfico pode ser obtido através do produto entre a altitude média da bacia hidrográfica e o coeficiente de massividade (Tschiedel & Pickbrenner & Marcuzzo, 2012), Equação 20.

$$Co = Hm \times Cms$$

Equação 20

Onde:

Co = coeficiente orográfico, m<sup>2</sup>/km<sup>2</sup>;

Hm = altura média, em m;

Cms = coeficiente de massividade, em m/km<sup>2</sup>.

### Perfil Longitudinal do Curso de Água

O perfil longitudinal de um curso de água estabelece a relação entre o desenvolvimento deste canal com a respetiva altimetria durante toda a sua extensão. A elaboração gráfica do perfil longitudinal pode ser feita a partir de mapas topográficos, desde que apresentem curvas de nível suficientes para que se consiga uma conformação topográfica (Costa & Lança, 2011; Lousada & Camacho, 2018). Entretanto, assim como a hipsometria, este processo pode ser facilitado através da utilização de *softwares* SIG e *Microsoft Excel*, conforme pode ser verificado na Figura 48.

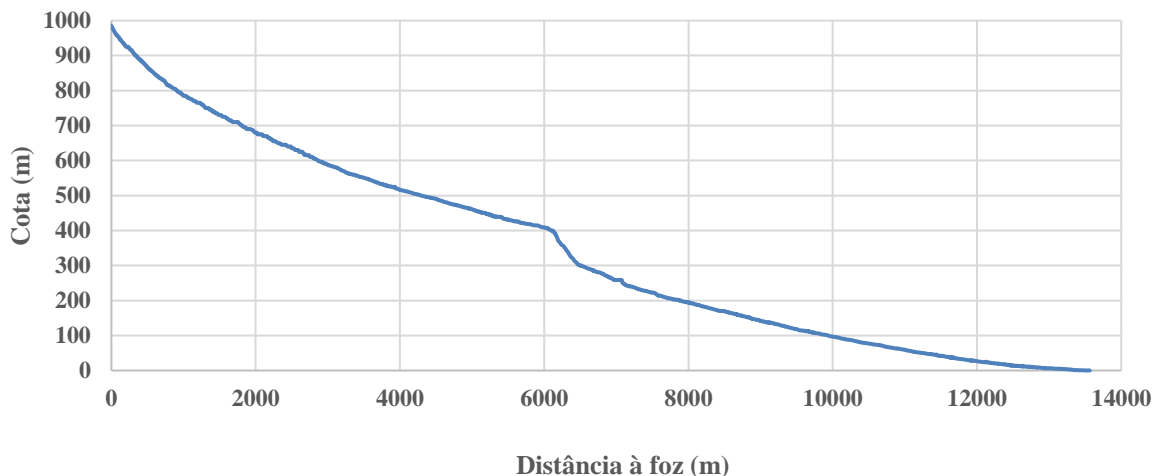


Figura 48 - Perfil longitudinal da ribeira de Machico. (Fonte: Autor, 2020).

### Declives da Bacia Hidrográfica

O declive do terreno, nomeadamente a relação altimétrica com o comprimento do curso de água principal da bacia hidrográfica contribui consideravelmente para a capacidade de escoamento das águas

(Soares & Piroli, 2019). Neste sentido, quanto maior for o canal em declive, maior será a capacidade de escoamento superficial e conseqüentemente o arrastamento de outros materiais para jusante (Mota, 1995).

*“A declividade influencia na infiltração e nos processos erosivos fluviais e pluviais, assim como na tipologia da vegetação [...] contribui para a formação do solo e serve de indicador na definição de áreas de risco e restrição de uso [...] a declividade dos rios pode ser associada à velocidade de escoamento e transporte de sedimentos (Soares & Piroli, 2019)”.*

Evidenciada a importância dos declives numa bacia hidrográfica e a significativa influência no escoamento superficial, torna-se fulcral uma caracterização mais completa deste parâmetro. Os estudos de Rodrigues & Guimarães & Moreira (2011); Camacho (2015); Gonçalves (2016); Lousada & Camacho (2018) e Moura (2019) apontam os seguintes índices a serem determinados:

- **Declive Médio do Curso de Água Principal:** obtido através da razão entre a variação da cota máxima e mínima do canal pelo seu respectivo comprimento, conforme sugere a Equação 21;

$$D_m = \frac{H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n}}{L} \quad \text{Equação 21}$$

Onde:

$D_m$  = declive médio do curso de água principal, em m/m;

$H_{m\acute{a}x}$  = cota máxima do curso de água principal, em m;

$H_{m\acute{i}n}$  = cota mínima do curso de água principal, em m.

- **Declive Equivalente do Curso de Água Principal:** refere-se a uma reta hipotética que ao interceptar o perfil longitudinal o dividiria em duas partes com áreas iguais, podendo ser obtido através da Equação 22;

$$D_{eq} = \frac{Z_{eq} - Z_{m\acute{i}n}}{L} \times 100 \quad \text{Equação 22}$$

Onde:

$D_{eq}$  = declive equivalente, em %;

$Z_{eq}$  = altitude equivalente, em m;

$Z_{m\acute{i}n}$  = altitude mínima, em m.

$$Z_{eq} = \frac{1}{L} \times \sum_{i=0}^{n-1} (Z_i + Z_{i+1}) \times (X_{i+1} - X) - Z_{m\acute{i}n} \quad \text{Equação 23}$$

Onde:

$L$  = comprimento do curso de água principal, em m;

$Z_i$  = altitude do trecho “i”, em m;

$Z_{i+1}$  = altitude do trecho subsequente “i+1”, em m;

$X_{i+1}$  = comprimento do trecho subsequente “i+1”, em m;

$X$  = comprimento do trecho “i”, em m;

$Z_{m\acute{i}n}$  = altitude mínima, em m.

- **Declive 10-85:** refere-se a um parâmetro que elimina os trechos do canal em estudo onde geralmente estão situados os declives mais acentuados, sendo estes compreendidos nos 10% iniciais e 15% finais do comprimento do canal. Este indicador pode ser obtido pela Equação 24;

$$D_{10-85} = \frac{Z_{85} - Z_{10}}{0,75 \times L}$$

Equação 24

Onde:

$D_{10-85}$  = declive 10-85, em m/km;

$Z_{85}$  = altitude do curso de água à 85% do seu comprimento, em m;

$Z_{10}$  = altitude do curso de água à 10% do seu comprimento, em m;

$L$  = comprimento do curso de água principal, em km.

- **Índice de Relevo da Bacia:** obtido através da razão entre a diferença da cota máxima e mínima da bacia hidrográfica e o seu respetivo comprimento, sendo obtido através da Equação 25;

$$I_{\text{Relevo}} = \frac{H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}}{1000 \times L_B}$$

Equação 25

Onde:

$I_{\text{Relevo}}$  = índice de relevo, em m/m;

$H_{\text{máx}}$  = altura máxima da bacia hidrográfica, em m;

$H_{\text{mín}}$  = altura mínima da bacia hidrográfica, em m;

$L_B$  = comprimento da bacia hidrográfica, em m.

Através dos *softwares* SIG é possível a elaboração de mapas de declividades, Figura 49 e Figura 50, os quais permitem analisar e decidir o melhor uso e aproveitamento a fornecer ao solo (Soares & Piroli, 2019).

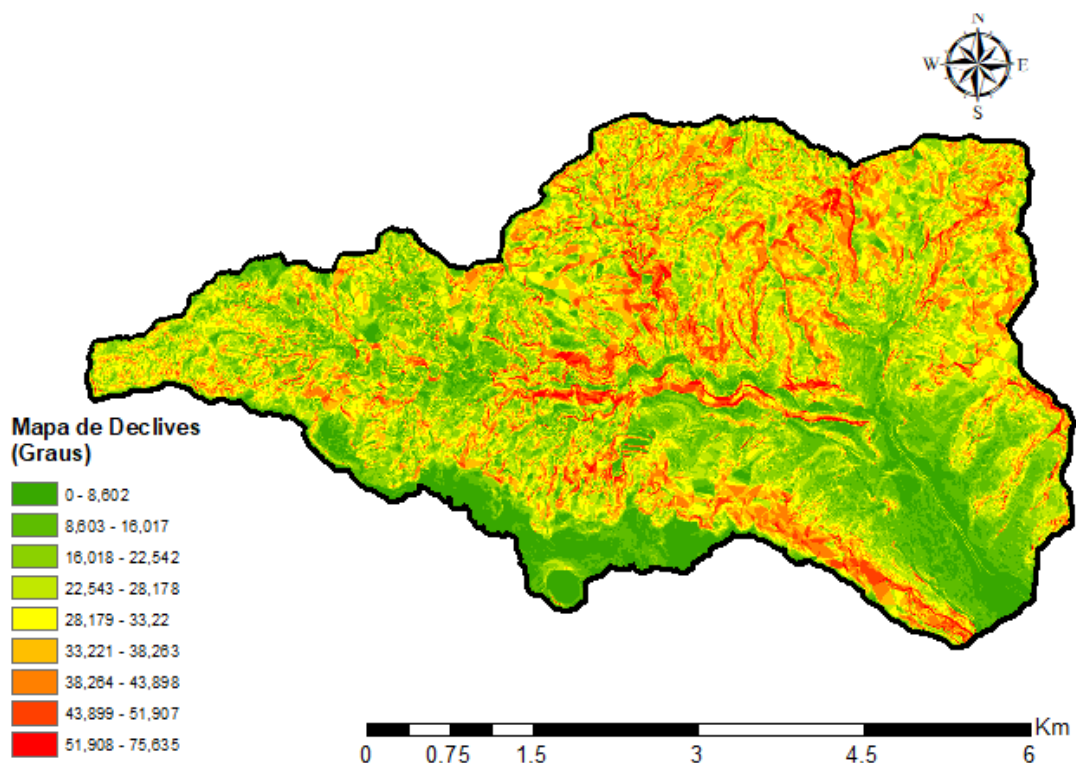


Figura 49 - Mapa de declive em graus da bacia hidrográfica de Machico. (Fonte: Autor, 2020).

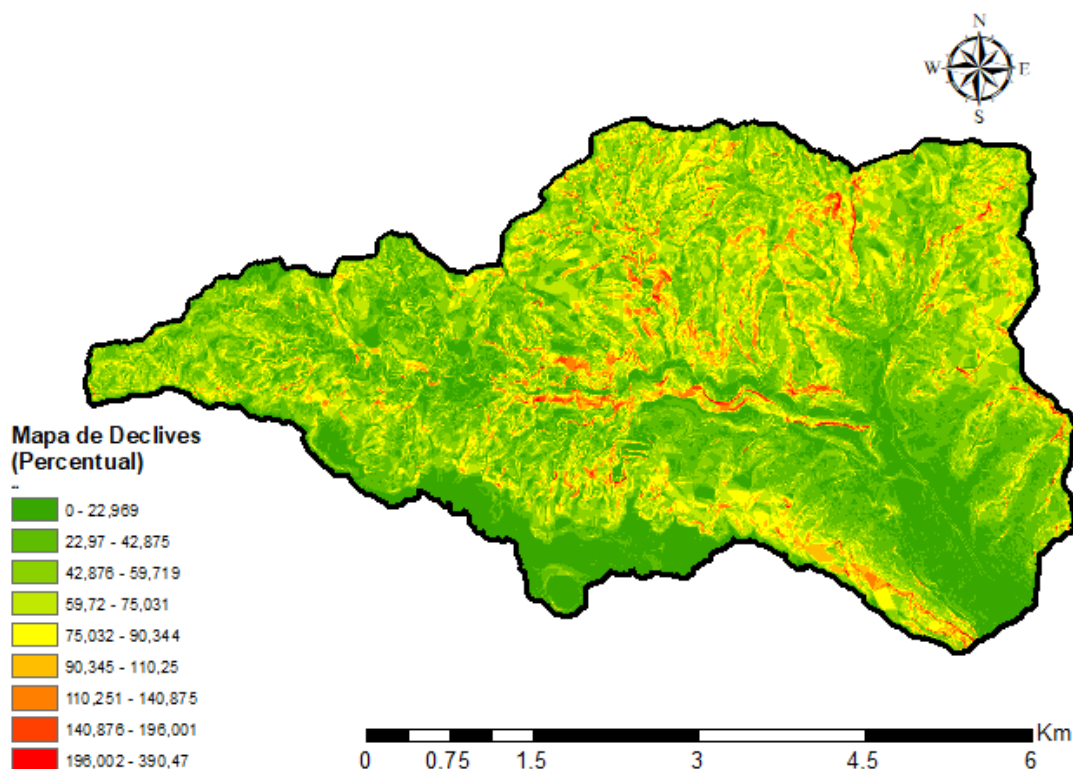


Figura 50 - Mapa de declive em percentagem da bacia hidrográfica de Machico. (Fonte: Autor, 2020).

*“A determinação do declive médio da bacia hidrográfica encontra-se hoje facilitada com recurso aos softwares SIG e à cartografia digital. Os softwares SIG, possibilitam a obtenção do Modelo Digital do Terreno (MDT), a partir dos elementos topográficos e da rede hidrográfica, e daí, determinar um valor de declive associado a cada uma das malhas constituintes do MDT (Rodrigues & Guimarães & Moreira, 2011)”.*

### 3.1.2. Características hidrológicas da bacia hidrográfica

A hidrologia como ciência está direcionada para a representação dos processos físicos que ocorrem numa bacia hidrográfica. A representação matemática destes processos evoluiu dentro de dois aspetos principais: o determinístico para os fenómenos físicos que podem ser descritos por equações diferenciais que retratam o comportamento do processo; e o estocástico onde estão envolvidos os aspetos probabilísticos das variáveis (Tucci, 1993b). Ainda de acordo com Tucci (1993b), “[...] a hidrologia aplicada está voltada para os diferentes problemas que envolvem a utilização dos recursos hídricos, preservação do meio ambiente e ocupação da bacia”, estando em primeiro caso envolvidos os aspetos da disponibilidade hídrica, regularização do caudal, planeamento, operação e gerenciamento dos recursos hídricos. Entretanto, “[...] nenhum processo hidrológico é puramente determinístico, isto é, não é possível determinar com exatidão a realização desse processo, pois ele está sujeito à ação de fatores aleatórios (Guimarães, 2011)”.

Apesar deste facto estabelecer uma aparente dificuldade no planeamento e gestão de qualquer sistema hidrológico, pois para planear e gerir é fulcral conhecer o comportamento futuro dos processos que integram este sistema, esta dificuldade pode ser superada ao considerar o processo hidrológico como estocástico, ou seja, processos gerenciados pelo menos em parte por fatores aleatórios (Guimarães, 2011).

### Caracterização das Precipitações

A caracterização das precipitações intensas pode ser efetuada através de dois métodos (Rodrigues & Guimarães & Moreira, 2011):

1. **Descritivo:** nesta metodologia são identificados, na série de dados, os valores referentes ao primeiro máximo na unidade de tempo em estudo e em unidades de tempo múltiplas, os quais são ajustados à *posteriori* por uma função do tipo  $h = a \times t^n$ , sendo “h” a altura em milímetros, “t” o tempo e “a” e “n” são constantes características da localidade adquiridas pelo método dos mínimos quadrados após logaritmação, e correspondente à implementação dos valores máximos de precipitação associados à duração de acordo com a reta traçada em papel logarítmico;
2. **Estatístico:** nesta abordagem, os máximos de precipitação em cada intervalo de tempo começam a ser ajustados a uma lei de densidade de probabilidade – *e.g.* Lei de Gumbel – para depois se ajustar a curva de possibilidade udométrica, aos valores gerados para cada frequência de duração.

Conforme sugerido por Guimarães (2011), as barreiras impostas no âmbito determinístico podem ser superadas ao considerar o sistema hidrológico estocástico. As principais distribuições estatísticas utilizadas em hidrologia para ajuste de caudais máximos são: Empírica, Log-Normal, Gumbel e Log-Pearson III (Tucci, 1993c). Neste contexto, de acordo com Rodrigues & Guimarães & Moreira (2011), “[...] a lei estatística mais aplicada em Portugal aos estudos das cheias tem sido a distribuição de Gumbel”, sendo, portanto, a lei estatística considerada no presente estudo.

### Precipitação Expectável - Distribuição de Gumbel

Para a hidrologia, a Distribuição de Gumbel é utilizada primordialmente através da “Análise Frequencial por Fatores de Frequência”, que consiste em estimar um valor expectável de precipitação (ou outro fenómeno) para um determinado tempo de recorrência<sup>15</sup>. De acordo com Guimarães (2011) e Gonçalves & Lousada (2020), esta metodologia pode ser aplicada pela Equação 26.

$$P_{est} = P_m + S' \times K_t \quad \text{Equação 26}$$

Onde:

$P_{est}$  = precipitação diária máxima anual estimada, em mm;

$P_m$  = precipitação média, em mm;

$S'$  = desvio padrão amostral, em mm;

$K_t$  = fator de frequência, adimensional.

Sendo:

$$S' = \left( \frac{\sum (X_i - X_m)^2}{n'} \right)^{0,5} \quad \text{Equação 27}$$

Onde:

$X_i$  = valor amostral, em mm;

$X_m$  = média amostral, em mm;

---

<sup>15</sup> O “tempo de recorrência” ou “período de retorno” refere-se à quantidade de tempo expectável para que um fenómeno seja igualado ou superado. Nota-se que este parâmetro serve tanto para que uma cheia extrema seja igualada ou superada ou para que uma seca extrema seja igualada ou superada.

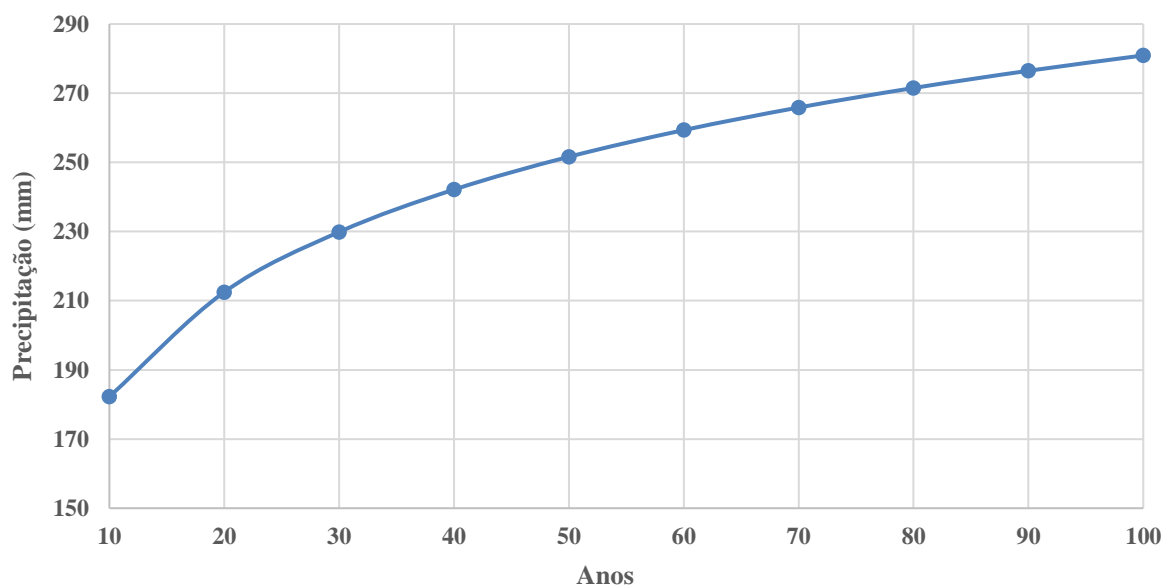
$n'$  = quantidade amostral.

$$Kt = -\frac{6^{0,5}}{\pi} \cdot \left\{ 0,577216 + \ln \left( \ln \left( \frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right) \right\} \quad \text{Equação 28}$$

Onde:

$Tr$  = tempo de recorrência, em anos.

Através das equações apresentadas, torna-se possível a elaboração da curva de precipitação expectável de acordo com o tempo de recorrência, onde é possível verificar a evolução da precipitação ao longo dos anos, conforme a Figura 51.



**Figura 51 - Precipitação diária máxima anual expectável para bacia hidrográfica do Machico. (Fonte: Autor, 2020)<sup>16</sup>.**

Neste sentido, torna-se possível inferir que no âmbito da hidrologia “[...] o estudo estatístico é a projeção do que ocorrerá no futuro em termos de realizações desta variável (Lanna, 1993)”.

### Intensidade de Precipitação

A intensidade de precipitação pode ser definida como a razão entre a precipitação por sua duração (Rodrigues & Guimarães & Moreira, 2011; Guimarães, 2011; Camacho, 2015; Lousada & Camacho, 2018). E conforme sugerido anteriormente por Mano (2008) e Lencastre & Franco (2006), a duração das chuvadas nas análises de bacias hidrográficas deve ser no mínimo igual ao tempo de concentração da referida bacia. Portanto, a intensidade de precipitação de uma bacia hidrográfica pode ser obtida através da equação (Vieira *et al.*, 2016; Gonçalves & Lousada, 2020).

$$I = \frac{Pest \times k}{tc} \quad \text{Equação 29}$$

Onde:

<sup>16</sup> Análise efetuada com base em dados amostrais de precipitação diária máxima anual do SNIRH, estes, medidos entre 1998 e 2014.

I = intensidade de precipitação, em mm/h;  
 Pest = precipitação diária máxima anual estimada, em mm;  
 tc = tempo de concentração, em horas;  
 k = coeficiente de repartição temporal, adimensional.

Sendo<sup>17</sup>:

$$k = 0,181 \times \ln(tc) + 0,4368 \quad \text{Equação 30}$$

O coeficiente de repartição temporal torna-se necessário uma vez que a precipitação diária máxima anual estima uma chuvada para 24 horas. Entretanto, como a duração da precipitação será igualada ao tempo de concentração da bacia, considerar a totalidade da precipitação para análise de escoamento do curso de água principal seria demasiado conservativo e originaria o sobredimensionamento das estruturas hidráulicas (Gonçalves & Lousada, 2020).

### Caudal de Ponta de Cheia

O caudal máximo de um curso de água ou caudal de ponta de cheia pode ser entendido como o valor associado a um risco de ser igualado ou ultrapassado. Este parâmetro “[...] é utilizado na previsão de enchentes e no projeto de obras hidráulicas tais como condutos, canais, bueiros entre outras [...] e torna-se [...] necessário para o controlo e atenuação das cheias numa determinada área, dimensionamento de obras hidráulicas de drenagem urbana, perímetro de irrigação, diques e descarregadores de barragens (Tucci, 1993c)”.

De acordo com Sokolov et al. (1975), quando uma grande cheia pode causar danos catastróficos à vida humana e às propriedades, a cheia de projeto deve ser estimada com base na precipitação máxima provável. Tucci (1993c) corrobora ao afirmar que os caudais “[...] devem reproduzir condições críticas possíveis de ocorrer com um determinado risco [...] essas condições são identificadas dentro das mais desfavoráveis”.

Referente às metodologias de cálculo dos caudais de ponta de cheia, Rodrigues & Guimarães & Moreira (2011); Camacho (2015) e Moura (2019) inferem que a escolha do tipo de fórmulas a utilizar deve considerar a sua essência intrínseca, sendo que as equações empíricas possuem como característica elementar a experiência acumulada e a área da bacia em estudo, enquanto as cinemáticas possuem a noção de tempo de concentração e precipitação crítica.

Entre as metodologias empíricas adequadas a este estudo têm-se:

- **Forti:** metodologia que se limita a bacias hidrográficas com áreas inferiores a 1000 km<sup>2</sup>, podendo ser calculada pela Equação 31;

$$Q_{[\text{Forti}]} = A \times \left( b \times \frac{500}{125 + A} \right) + c \quad \text{Equação 31}$$

Onde:

$Q_{[\text{Forti}]}$  = caudal de ponta de cheia, em m<sup>3</sup>/s;

A = área da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>;

b = 2,35 para precipitação máxima diária inferior a 200 mm e 3,25 para valores superiores a 200 mm;

c = 0,5 para precipitação máxima diária inferior a 200 mm e 1 para valores superiores a 200 mm.

<sup>17</sup> Esta equação é válida apenas para análises de intensidade de precipitação com tempo de recorrência de 100 anos, conforme o considerado no presente estudo.

- **Pagliaro:** metodologia cuja aplicabilidade corresponde a bacias hidrográficas com áreas inferiores a 1000 km<sup>2</sup>, e pode ser obtida pela Equação 32.

$$Q_{[\text{Pagliaro}]} = A \times \left( \frac{2900}{90 \times A} \right) \quad \text{Equação 32}$$

Onde:

$Q_{[\text{Pagliaro}]}$  = caudal de ponta de cheia, em m<sup>3</sup>/s;

A = área da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>.

No que se refere às metodologias cinemáticas adequadas a este estudo, têm-se:

- **Racional:** consiste na metodologia mais utilizada em todo o globo, apresentando resultados aceitáveis e seguros desde que seja utilizada dentro de suas limitações, podendo ser determinada através da Equação 33.

$$Q_{[\text{Racional}]} = \frac{C \times I \times A}{3,6} \quad \text{Equação 33}$$

Onde:

$Q_{[\text{Racional}]}$  = caudal de ponta de cheia, em m<sup>3</sup>/s;

C = coeficiente de escoamento superficial, de acordo com a Tabela 7;

I = intensidade de precipitação, em mm/h;

A = área da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>.

O coeficiente de escoamento superficial designa-se pelo percentual do volume precipitado que possuirá fluxo superficial, e “[...] depende da natureza dos solos e da cobertura vegetal (Rodrigues & Guimarães & Moreira, 2011)”. Através de análises experimentais, Chow (1964) propôs o coeficiente de escoamento superficial com base no cenário urbanístico encontrado, conforme a Tabela 7.

**Tabela 7 - Coeficiente de escoamento superficial. (Fonte: Autor, 2020 adaptado de Chow, 1964).**

Zonas Urbanísticas		
Ocupação do Solo		Coeficiente de Escoamento Superficial
Áreas 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
Áreas Comerciais	Centro da cidade	0,70 – 0,95
	Periferia	0,50 – 0,70
Áreas Residenciais	Vivendas no centro da cidade	0,30 – 0,50
	Vivendas na periferia	0,25 – 0,40
	Prédios de apartamentos	0,50 – 0,70
Áreas 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
	Em betão	0,80 – 0,95
	Em tijolo	0,70 – 0,85
Passeios		0,85 – 0,85
Telhados		0,75 – 0,95
Baldios		0,10 – 0,30

No que se refere às limitações desta metodologia, apesar de não haver um consenso mundial em relação à dimensão das bacias hidrográficas que constituem o limite de aplicabilidade da fórmula racional, em Portugal tem sido empregue, e com resultados satisfatórios, em bacias hidrográficas cuja área seja inferior a 25 km<sup>2</sup> (Lencastre & Franco, 1992).

- **Giandotti:** metodologia cuja aplicabilidade se foca em bacias hidrográficas com áreas inferiores a 300 km<sup>2</sup> (Quintela, 1982; Moura, 2019). Este método consiste na aplicação da Equação 34.

$$Q_{[\text{Giandotti}]} = \frac{\lambda \times A \times P_{\text{máx}}}{tc} \quad \text{Equação 34}$$

Onde:

$Q_{[\text{Giandotti}]}$  = caudal de ponta de cheia, em m<sup>3</sup>/s;

$\lambda$  = coeficiente de redução, conforme a Tabela 8;

A = área da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>;

$P_{\text{máx}}$  = altura de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração, em mm;

tc = tempo de concentração, em horas.

Através da Tabela 8 estão indicados os valores do coeficiente de redução e o coeficiente de escoamento superficial equivalente (Quintela, 1982; Lencastre & Franco, 1992).

**Tabela 8 - Coeficiente de redução. (Fonte: Autor, 2020 adaptado de Lencastre & Franco, 1992).**

A (km <sup>2</sup> )	$\lambda$	“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

Quintela (1982) verificou que as bacias hidrográficas com áreas compreendidas entre 300 e 500 km<sup>2</sup> possuem um coeficiente de escoamento superficial equivalente igual ou superior à unidade, o que denota uma incongruência, uma vez que se trata de um coeficiente de redução. Lencastre & Franco (1992) e outros autores recomendam para este caso a utilização de um  $\lambda = 0,244$ , correspondendo ao coeficiente de escoamento superficial de 0,81.

- **Mockus:** metodologia limitada a bacias hidrográficas com tempo de concentração inferior a 4 horas, sendo calculada pela Equação 35.

$$Q_{[\text{Mockus}]} = \frac{2,08 \times A \times P_{\text{útil}}}{\sqrt{tc} + 0,6 \times tc} \quad \text{Equação 35}$$

Onde:

$Q_{[\text{Mockus}]}$  = caudal de ponta de cheia, em m<sup>3</sup>/s;

A = área da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>;

$P_{\text{útil}}$  = precipitação útil, em cm;

tc = tempo de concentração, em horas.

Sendo:

$$P_{\text{útil}} = P_{\text{est}} \times C \quad \text{Equação 36}$$

Onde:

Pest = precipitação diária máxima anual estimada, em mm;

C = coeficiente de escoamento superficial, adimensional.

A precipitação útil corresponde justamente à precipitação que não será infiltrada ou evaporada e escoará superficialmente até à foz da bacia hidrográfica.

### 3.1.3. Medida de mitigação das cheias

As cheias constituem um fenómeno da natureza, e se o ser humano a considera uma calamidade é “[...] porque habita ou cultiva em terras inundáveis que constituem elementos regulares das águas correntes, cuja função é simples e conhecida: reter uma parte da água das chuvas ou das enchentes para fazer lentamente a entrega ao curso de água (Lopes, 2014)”, sendo, portanto um problema estabelecido pelos caprichos da atividade antrópica (Santos, 2002).

Até certo tempo atrás, o princípio elementar da drenagem urbana era o conceito convencional do rápido afastamento da causa dos problemas, ou seja, afastar o caudal excedente da sua origem. Este princípio de rápido escoamento, mesmo que eficiente em um aspeto, transfere a problemática de um ponto para o outro, não combatendo de facto a origem do problema: a ação humana sobre a bacia hidrográfica (Tucci & Porto & Barros, 1995; Parkinson *et al.*, 2003; Gonçalves & Lousada, 2020).

De forma a combater este conceito ultrapassado, surge então um outro princípio para a drenagem urbana, desta vez com uma abordagem mais moderna e ambiental do problema, utilizando o conceito de armazenamento/retardamento para prevenir ou mitigar os efeitos da urbanização e melhor distribuir os caudais ao longo do tempo, conservando as características hidrológicas naturais da bacia hidrográfica (Nakazone & Porto, 2005).

Com base nesta premissa surgem então outras técnicas de mitigação dos impactos das cheias, embora através de conceitos simples e utilizados há muito tempo, com aplicações voltadas principalmente para irrigação e abastecimento de água, consistindo na implementação de bacias de detenção. Este mecanismo possui como finalidade única e específica o controlo de cheias urbanas (Nakazone & Porto, 2005). Portanto, “[...] as bacias de detenção podem ser definidas como um mecanismo de armazenamento, regularização e controlo dos escoamentos superficiais provenientes de uma precipitação em determinada bacia hidrográfica (Gonçalves & Lousada, 2020)”.

Conforme sugerido por Reis (2015) e Gonçalves & Lousada (2020), as estruturas de mitigação de cheias contribuem para a regularização do volume de água afluente à linha principal, permitindo o controlo da evolução morfológica do curso de água e a redução da degradação do leito devida ao processo de erosão, ocasionado pelo transporte dos sólidos.

#### Dimensionamento da Bacia de Detenção

Primeiramente, torna-se necessário a verificação da necessidade de implementação da bacia de detenção, a qual pode ser feita pela análise da capacidade de escoamento da zona crítica de escoamento do curso de água principal (Vieira *et al.*, 2016; Gonçalves & Lousada, 2020), calculada pela Equação 37.

$$FR = \frac{Q_p}{Q_m} \times 100$$

Equação 37

Onde:

FR = *Fill Rate*, em percentagem;

Qp = caudal precipitado, em m<sup>3</sup>/s;

Qm = capacidade de escoamento da foz, em m<sup>3</sup>/s.

O *Fill Rate*

consiste no grau de preenchimento da foz após uma precipitação. Portanto, caso o FR seja superior à 100%, sugere que o caudal precipitado apresentará excedência em relação à capacidade de escoamento a jusante.

No que se refere à capacidade de escoamento da foz, Qm, esta pode ser determinada através da metodologia de Manning-Strickler, Equação 38.

$$Q_m = \left(\frac{1}{n}\right) \times A \times R^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i} \quad \text{Equação 38}$$

Onde:

A = área da secção de escoamento da foz, em m<sup>2</sup>;

R = raio hidráulico, em m;

i = declive médio da região da foz, em m/m.

n = coeficiente de rugosidade do leito, em m<sup>-1/3</sup>s.

Sendo<sup>18</sup>:

$$R = \frac{B + 2 \times h}{A_m} \quad \text{Equação 39}$$

Onde:

B = largura da secção de escoamento da foz, em m;

h = altura da secção de escoamento da foz, em m;

A<sub>m</sub> = área da secção de escoamento da foz, em m<sup>2</sup>.

O coeficiente de rugosidade corresponde à resistência que o leito impõe ao escoamento devido ao atrito (Gonçalves, 2016). Neste sentido, quanto mais liso for o material que compõe o leito, menor o atrito e menor a perda de energia cinética, a qual é expressa pela Equação 40.

$$E_c = \frac{m \times v^2}{2} \quad \text{Equação 40}$$

Onde:

E<sub>c</sub> = energia cinética, em joules;

m = massa da água, em kg;

v = velocidade de escoamento, em m/s.

Analisando a expressão anterior, verifica-se que a perda de energia cinética provocará uma redução proporcional à raiz quadrada da velocidade de escoamento, uma vez que a massa se mantém constante. Ao correlacionar este facto com a Lei da Continuidade, Equação 41, verifica-se que, para que um determinado caudal seja escoado na sua totalidade, a redução da velocidade significa necessariamente o acréscimo da área da secção de escoamento.

---

<sup>18</sup> Esta equação é aplicável apenas para secções retangulares. Para outras secções pode ser feita a relação “Área Molhada / Perímetro Molhado”, seguindo a geometria de interesse.

$$Q = A_s \times v$$

Equação 41

Onde:

Q = caudal, em m<sup>3</sup>/s;A<sub>s</sub> = área da secção, em m<sup>2</sup>;

v = velocidade de escoamento, em m/s.

Uma vez que as dimensões do canal estão limitadas ao fundo e suas laterais, o acréscimo da secção de escoamento só pode ser feito através do aumento do nível da água, o que tende a ocasionar o transbordo do curso de água e a consequente inundação local. Portanto, torna-se fulcral determinar um coeficiente de rugosidade que seja o mais próximo da realidade, e preferencialmente, considerar uma situação ainda mais desfavorável de modo a estimar a deposição de sedimentos ao longo do tempo e a perda das características iniciais do material de revestimento. Com base na execução de experiências laboratoriais é possível inferir o coeficiente de rugosidade dos mais variados materiais, conforme apresentado na Tabela 9.

**Tabela 9 - Coeficientes de rugosidade de Manning-Strickler. (Fonte: Cirilo, 2001; Gonçalves, 2016)**

<b>Coeficientes de Rugosidade de Manning-Strickler</b>				
<b>Natureza do Fundo</b>	<b>Muito Boa</b>	<b>Boa</b>	<b>Regular</b>	<b>Má</b>
Alvenaria de pedra argamassada	0.017	0.020	0.025	0.030
Alvenaria de pedra aparelhada	0.013	0.014	0.015	0.017
Alvenaria de pedra seca	0.025	0.033	0.033	0.035
Alvenaria de tijolos	0.012	0.013	0.015	0.017
Calhas metálicas lisas (semicirculares)	0.011	0.012	0.013	0.016
Canais abertos em rocha (irregular)	0.035	0.040	0.045	-
Canais c/ fundo em terra e talude c/ pedras	0.028	0.030	0.033	0.035
Canais c/ leito pedregoso e talude vegetado	0.025	0.030	0.035	0.040
Canais com revestimento de betão	0.012	0.014	0.016	0.018
Canais de terra (retilíneos e uniformes)	0.017	0.020	0.023	0.025
Canais dragados	0.025	0.028	0.030	0.033
Condutos de barro (drenagem)	0.011	0.012	0.014	0.017
Condutos de barro vitrificado (esgoto)	0.011	0.013	0.015	0.017
Condutos de prancha de madeira aplainada	0.010	0.012	0.013	0.014
Gabião	0.022	0.030	0.035	-
Superfícies de argamassa de cimento	0.011	0.012	0.013	0.015
Superfícies de cimento alisado	0.010	0.011	0.012	0.013
Tubo de ferro fundido revestido c/ alcatrão	0.011	0.012	0.013	-
Tubo de ferro fundido sem revestimento	0.012	0.013	0.014	0.015
Tubos de bronze ou de vidro	0.009	0.010	0.012	0.013
Tubos de betão	0.012	0.013	0.015	0.016
Tubos de ferro galvanizado	0.013	0.014	0.015	0.017
Córregos e rios limpos retilíneos e uniformes	0.025	0.028	0.030	0.033
Córregos e rios limpos retilíneos e uniformes c/ pedras e vegetação	0.030	0.033	0.035	0.040
Córregos e rios limpos retilíneos e uniformes c/ meandros e poços	0.035	0.040	0.045	0.050
Margens espaiadas c/ pouca vegetação	0.050	0.060	0.070	0.080
Margens espaiadas c/ muita vegetação	0.075	0.100	0.125	0.150

*“Para se efetuar um projeto mais conservativo, deve-se especificar um certo grau de controle para um número de cheias de diferentes portes, não se permitindo que em nenhuma delas, se tenha o caudal máximo superior ao caudal que ocorria na bacia hidrográfica correspondente na condição prévia ao desenvolvimento (Porto et al., 1993)”.*

Porto *et al.* (1993) sugere que um dos critérios de dimensionamento das bacias de detenção estabelece que o controlo do caudal efluente deve ser igual ou inferior a 85% da capacidade de escoamento correspondente às condições da bacia hidrográfica antes da implementação da medida. Outro critério sugerido pelo referido autor indica que é necessário o dimensionamento de um descarregador para garantir o escoamento de caudais extremos, sem que ocorra a rotura da estrutura.

Entretanto, para o presente estudo a implementação de um dispositivo descarregador torna-se objeto indispensável por outra razão. Para este caso, a proposta refere-se à regularização do caudal até que este esteja abaixo ou igual a 85% da capacidade de escoamento da foz, servindo, portanto, como dispositivo de segurança e dispositivo de controlo. Quintela (2005), Matias (2006), Vieira *et al.* (2016), Gonçalves & Lousada (2020) indicam o descarregador tipo *Cipolletti* para bacias de detenção, uma vez que este se caracteriza por apresentar secção trapezoidal com os lados inclinados na relação 1/4, de forma a evitar o efeito de contração, sendo dimensionado pela Equação 42.

$$Q_s = 1,86 \times L_{sd} \times H_d^{1,5} \quad \text{Equação 42}$$

Onde:

$Q_s$  = caudal de saída do descarregador, em  $m^3/s$ ;

$L_{sd}$  = largura da soleira do descarregador, em m;

$H_d$  = altura da água acima da cota da soleira do descarregador, em m.

Referente à bacia de detenção, de acordo com o Decreto-Regulamentar n.º 23/95, de 1995, um dos métodos mais pragmáticos para a determinação do volume de armazenamento consiste no método simplificado ou método Holandês, sendo este considerado no Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RGSPDADAR).

O volume de armazenamento da bacia pelo método Holandês corresponde à diferença entre o volume de água precipitado e o volume de saída do descarregador (Vieira, 2014; Vieira *et al.*, 2016, Gonçalves & Lousada, 2020), Equação 43.

$$V_a = V_p - V_s \quad \text{Equação 43}$$

Onde:

$V_a$  = volume de armazenamento, em  $m^3$ ;

$V_p$  = volume precipitado, em  $m^3$ ;

$V_s$  = volume de saída do descarregador, em  $m^3$ .

Sendo o volume caracterizado pelo produto do caudal pela duração da precipitação, ou seja, o tempo de concentração, tem-se:

$$V_a = (Q_p - Q_s) \times t_c \times 3600 \quad \text{Equação 44}$$

Onde:

$Q_p$  = caudal precipitado, em  $m^3/s$ ;

$Q_s$  = caudal de saída do descarregador, em  $m^3/s$ ;

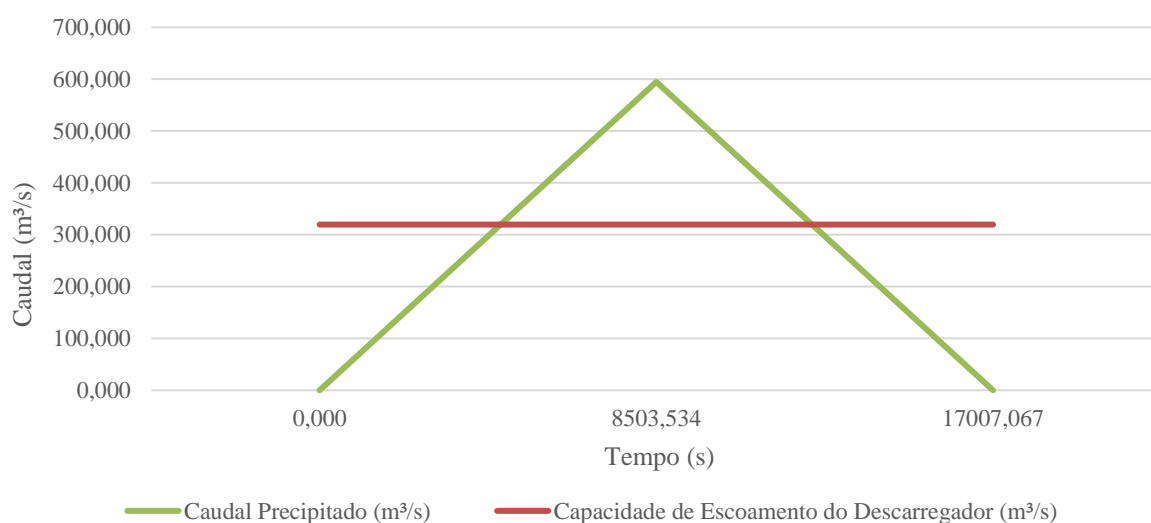
$t_c$  = tempo de concentração, em horas.

As dimensões da bacia de detenção variam de acordo com as dimensões do canal em análise, sendo coerente estabelecer valores que correspondam à realidade local com o menor impacto possível, ou seja, tentar ao máximo conservar a largura e altura da secção de escoamento (Gonçalves & Lousada, 2020).

Outra metodologia que será implementada consiste no conceito do Hidrograma Triangular Simplificado (HTS), o qual “[...] é elaborado admitindo que o pico do hidrograma corresponde ao caudal de ponta, e ocorre no fim do tempo de crescimento, sendo, por simplificação, este valor tomado igual ao tempo de concentração da bacia (Vieira, 2014)”.

Segundo Lima & Silva & Raminhos (2006) e Vieira (2014), o tempo de base do hidrograma corresponde à duração da afluência do escoamento para a bacia de detenção – *i.e.* a soma dos tempos de ascensão e recessão do hidrograma. Os referidos autores ainda sugerem que a metodologia admite alguma arbitrariedade na escolha do tempo de base, portanto, para este estudo adotar-se-á que o hidrograma seja simétrico e o tempo base apresenta-se como duas vezes o valor do tempo de concentração.

Uma vez que haverá a implementação de um descarregador para o controlo do caudal precipitado, o volume de água a ser regularizado consiste na diferença de áreas do hidrograma triangular simplificado e o hidrograma de escoamento do descarregador, conforme sugere a Figura 52.



**Figura 52 - Método HTS. (Fonte: Autor, 2020).**

Nota-se que a capacidade de escoamento do descarregador é constante, e não haverá armazenamento enquanto o caudal precipitado não atingir este valor. Portanto, o volume a ser armazenado corresponde apenas à área do gráfico acima da linha de interseção do descarregador, podendo ser obtido através de geometria simples, Equação 45.<sup>19</sup>

$$V_a = \frac{(Q_p - Q_s) \times (2 \times t_c - 2 \times [Q_s / \{Q_p / t_c\}])}{2} \tag{Equação 45}$$

Onde:

$V_a$  = volume de armazenamento, em  $m^3$ ;

$Q_p$  = caudal precipitado, em  $m^3/s$ ;

$Q_s$  = caudal de saída do descarregador, em  $m^3/s$ ;

$t_c$  = tempo de concentração, em s.

<sup>19</sup> A Equação 45 foi elaborada através da análise geométrica do HTS, considerando o tempo de base como duas vezes o valor do tempo de concentração. Caso esta relação seja alterada, esta equação perde a aplicabilidade e deve ser revista de acordo com a nova configuração.

## CAPÍTULO 4

# OBTENÇÃO DE DADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS

#### 4.1. OBTENÇÃO DOS DADOS

Para a utilização das metodologias de caracterização apresentadas no capítulo anterior, torna-se necessário a obtenção dos parâmetros geomorfológicos das bacias hidrográficas em estudo. Com recurso ao *software ArcGIS* executou-se este processo, com base nos ficheiros MDT fornecidos pelo LREC-RAM, cuja a resolução é de 5 m e projeção espacial “Madeira 1936 UTM 28N”. Em seguida, será demonstrado o procedimento utilizado.

##### Características Geomorfológicas e Fisiográficas da Bacia Hidrográfica

Primeiramente, através da janela de ferramentas do *software ArcGIS*, procedeu-se: “*ArcToolBox*” → “*Spatial Analyst Tools*” → “*Hydrology*” → “*Fill*”. Através desta ferramenta fez-se a introdução do ficheiro MDT para que fosse corrigida qualquer imperfeição advindas dos “*sinks*” do modelo, ou seja, qualquer depressão incongruente tende a ser preenchida por este processo. Nota-se que todos os ficheiros foram guardados de acordo com o nome do respetivo processo final, uma vez que o processo se caracteriza por ser acumulativo em determinados pontos. Portanto, este ficheiro designou-se por “*Fill*”.

Posteriormente, fez-se: “*ArcToolBox*” → “*Spatial Analyst Tools*” → “*Hydrology*” → “*Flow Direction*”. Este processo utiliza as análises matriciais dos metadados que constituem o ficheiro “*Fill*” para a o mapeamento do relevo e indicação da direção do escoamento, nomeando-se por “*Flow\_Dir*”, Figura 53. O *software ArcGIS* não permite a utilização de um nome muito extenso para os ficheiros, sendo necessário abreviá-los convenientemente.

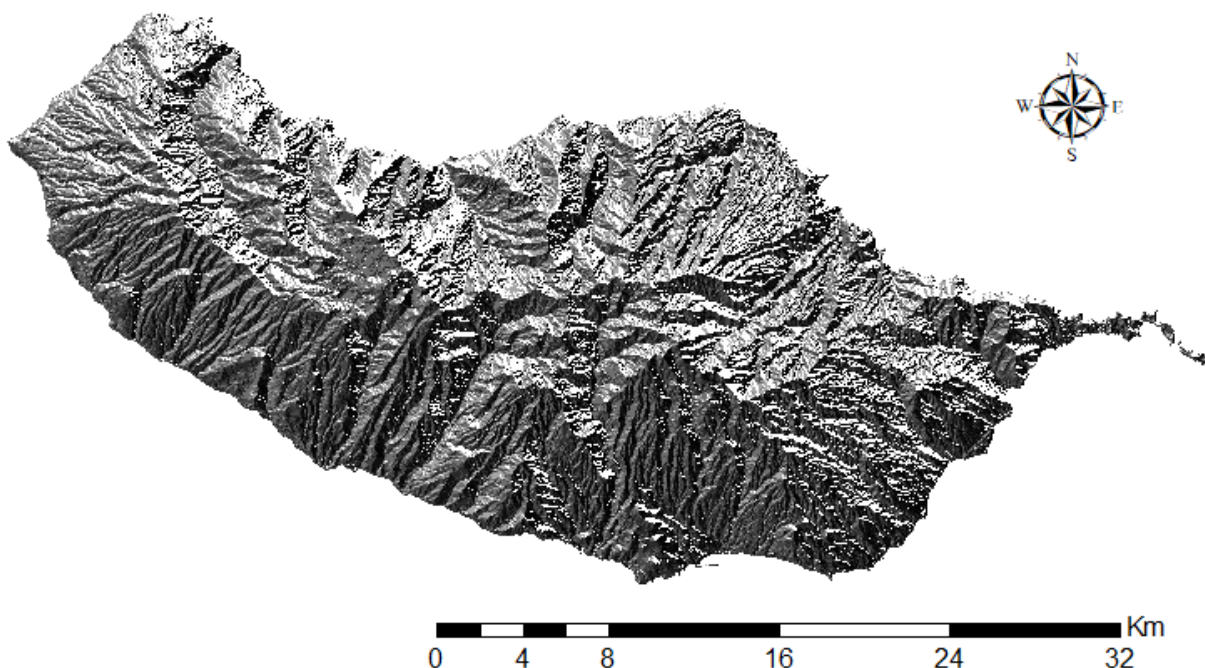


Figura 53 - Flow Direction. (Fonte: Autor, 2020).

Em seguida, fez-se: “*ArcToolBox*” → “*Spatial Analyst Tools*” → “*Hydrology*” → “*Flow Accumulation*”. Este procedimento utiliza o ficheiro “*Flow\_Dir*” para calcular o fluxo acumulado com o peso acumulativo de todas as células matriciais que fluem para cada célula descendente. O ficheiro “*Flow\_Acc*” será de grande importância para a determinação dos cursos de água e a sua respetiva classificação. Entretanto, trata-se de um ficheiro meramente constituído de metadados, onde a sua aparência visual não sugere nenhuma informação sobre as bacias hidrográficas.

Os processos anteriores procedem a preparação do ficheiro inicial para a segregação em bacias hidrográficas. O próximo passo consiste em: “ArcToolBox” → “Spatial Analyst Tools” → “Hydrology” → “Basin”. Após este procedimento torna-se possível a visualização de todas as bacias hidrográficas presentes no ficheiro, Figura 54.

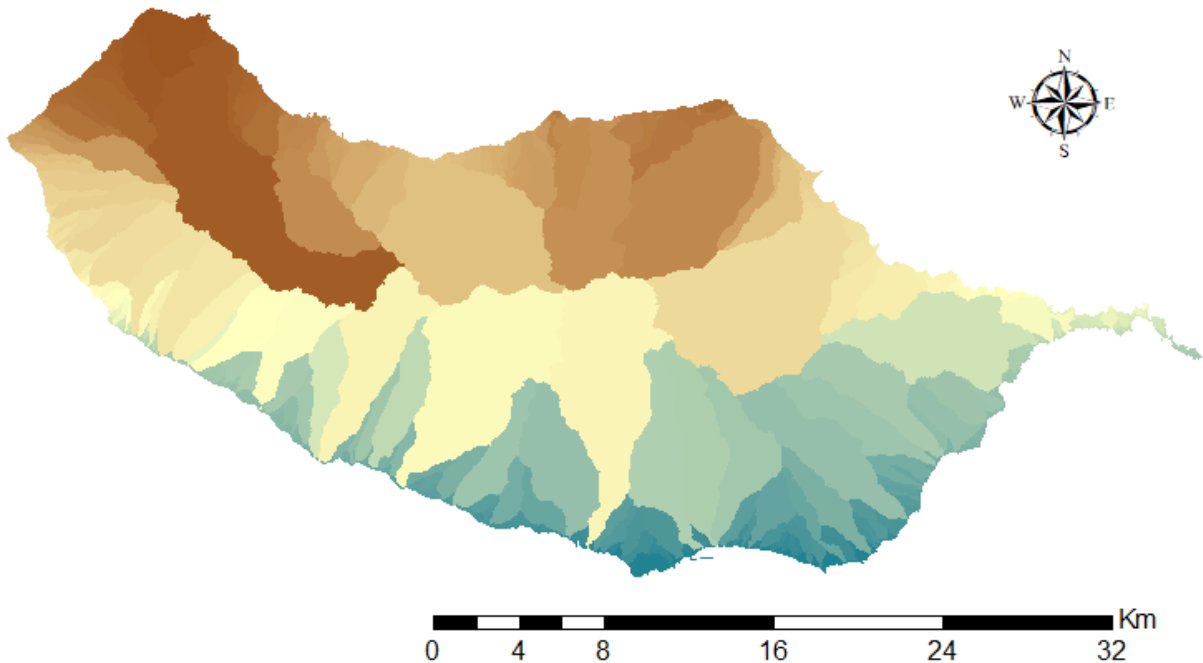


Figura 54 - Bacias hidrográficas. (Fonte: Autor, 2020).

Entretanto, será necessário o isolamento de cada uma das bacias para uma melhor análise dos parâmetros. Para isso, primeiramente é preciso estabelecer os cursos de água de modo a conseguir identificar exatamente a zona da foz. A identificação dos cursos de água consiste em: “ArcToolBox” → “Spatial Analyst Tools” → “Map Algebra” → “Raster Calculator”. Esta ferramenta permite o delineamento dos cursos de água, Figura 55, através de uma equação condicional do ficheiro “Flow\_Acc”, a Equação 46.

$$\text{Con}(\text{"Flow\_Acc"} > 500,1)$$

Equação 46

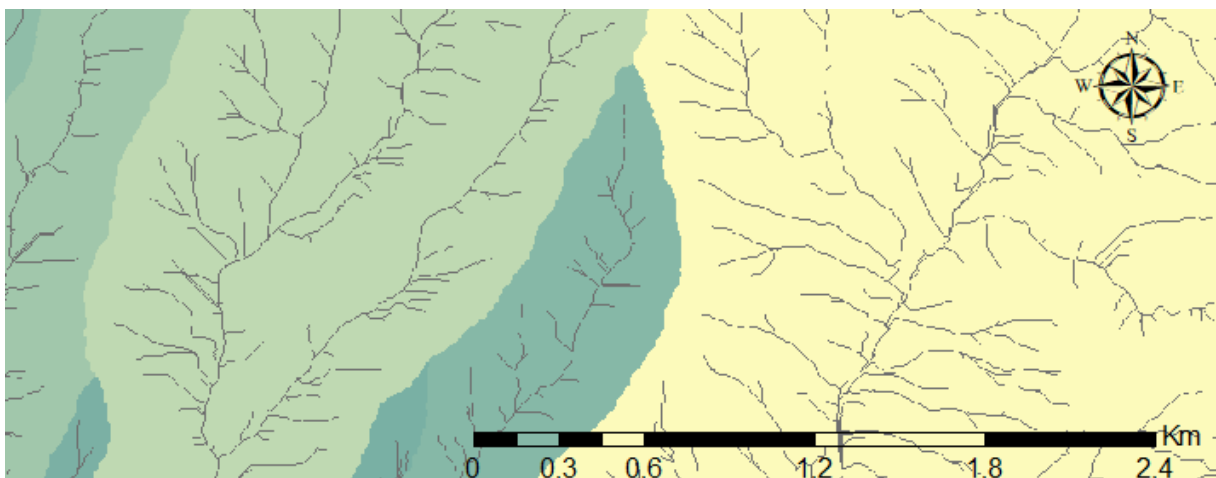


Figura 55 - Cursos de água. (Fonte: Autor, 2020).

Após a delimitação dos cursos de água, para o isolamento da bacia hidrográfica de interesse torna-se necessário estabelecer o ponto correspondente à foz, por meio de: “Catalog” → Apertar com o botão direito sobre a pasta onde se está a guardar os ficheiros → “New” → “Shapefile” → Selecionar “Feature File: Point” → Apertar “Edit” → “Projected Coordinate Systems” → “UTM” → “Oceans” → Escolher “Madeira 1936 UTM Zone 28N”. Este procedimento estabelece a referência espacial do ficheiro, que deve ser igual à que consta no ficheiro MDT. Após isto, foi criado o ficheiro nomeado “Foz”, onde será criado o ponto de representação das coordenadas da foz da bacia hidrográfica de interesse. Para a marcação do ponto faz-se: “Create Features” → Selecionar “Point” → Selecionar precisamente a foz da bacia hidrográfica.

Com isto, tem-se os ficheiros necessários para o isolamento da bacia hidrográfica de interesse. Este processo consiste em: “ArcToolBox” → “Spatial Analyst Tools” → “Hydrology” → “Watershed”. Por fim, a bacia hidrográfica está isolada e a obtenção dos dados fisiográficos da mesma podem ser efetuados, Figura 56.

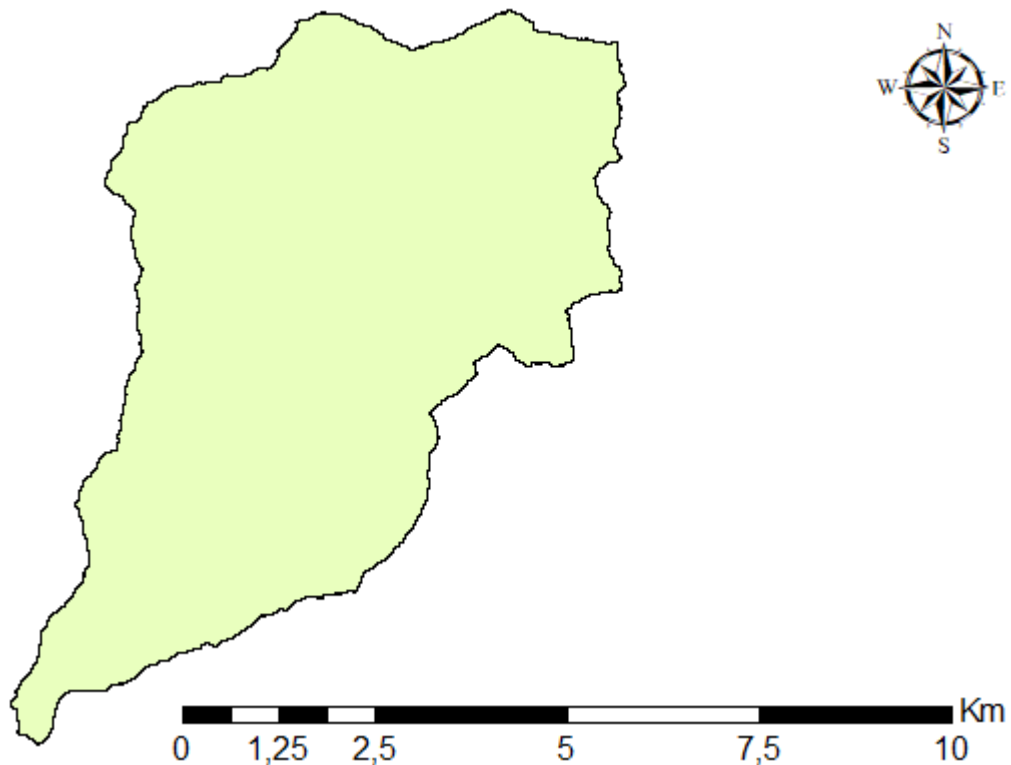


Figura 56 - Bacia hidrográfica da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).

Os primeiros parâmetros de interesse consistem na área e perímetro, entretanto, estes dados só podem ser obtidos através de ficheiros vetoriais, enquanto todos os ficheiros obtidos anteriormente estão em formato “raster”. Para a conversão dos formatos, faz-se: “ArcToolBox” → “Conversion Tools” → “From Raster” → “Raster to Polygon”. O primeiro ficheiro a ser convertido será o “Watershed”, o qual contempla a disposição espacial da bacia hidrográfica. Após esta conversão, recomenda-se o recorte de todos os ficheiros “raster” com a delimitação da bacia hidrográfica de interesse, por meio de: “ArcToolBox” → “Spatial Analyst Tools” → “Extraction” → “Extract by Mask”. Neste processo serão introduzidos os ficheiros “raster” tratados anteriormente em conjunto com o ficheiro “Watershed\_Polygon”. Para este estudo, todos os ficheiros recortados passaram a possuir o nome do respetivo processo com o acréscimo do sufixo “ext”, o que sugere a extração dos dados para a delimitação da bacia hidrográfica, como exemplo: “Fill\_ext”.

No que se refere à determinação da área e perímetro da bacia hidrográfica, procede-se: *Selecionar “Open Attribute Table” do ficheiro “Watershed\_Polygon” → “Add Field” → Inserir a denominação “Área” e seleccionar “Float” → Repetir o processo com a denominação “Perímetro”*. Com isso, foram criadas duas colunas na tabela com os respectivos nomes atribuídos. A seguir em *“Calculate Geometry”* para cada uma das colunas criadas calcula-se estes parâmetros automaticamente, Figura 57.

FID	Shape *	ID	GRIDCODE	Area	Perimetro
0	Polygon	1	0	41059700	42430

Figura 57 - Área (m<sup>2</sup>) e perímetro (m) da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor).

Relativamente à classificação dos cursos de água, o *software ArcGIS* efetua rapidamente este processo através do ficheiro *“Stream\_ext”* criado a partir do *“Extract by Mask”* feito com as delimitações da bacia hidrográfica e as linhas de água delineadas no *“Raster Calculator”*. O processo de classificação consiste em: *“ArcToolBox” → “Spatial Analyst Tools” → “Hydrology” → “Stream Order”*. Fez-se este processo uma vez para cada classificação, *Strahler e Shreve*, conforme pode ser visto na Figura 58 e Figura 59.

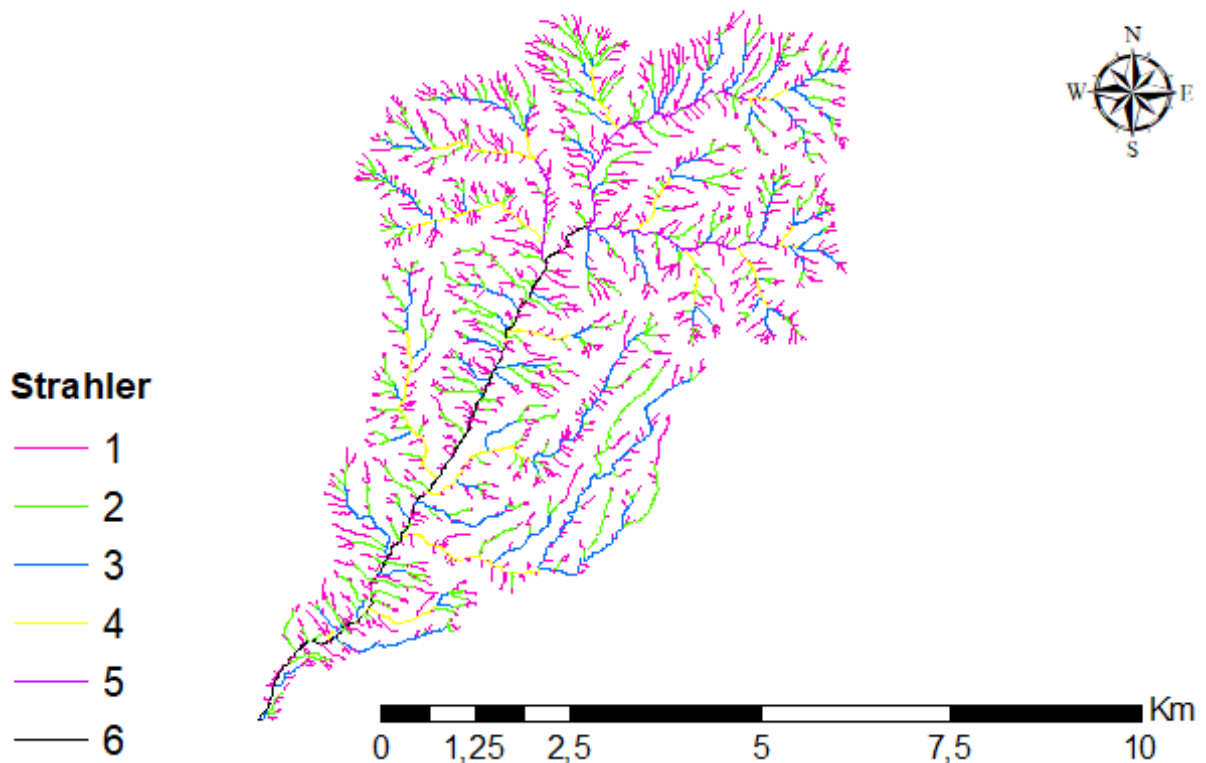


Figura 58 - Classificação de Strahler da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).

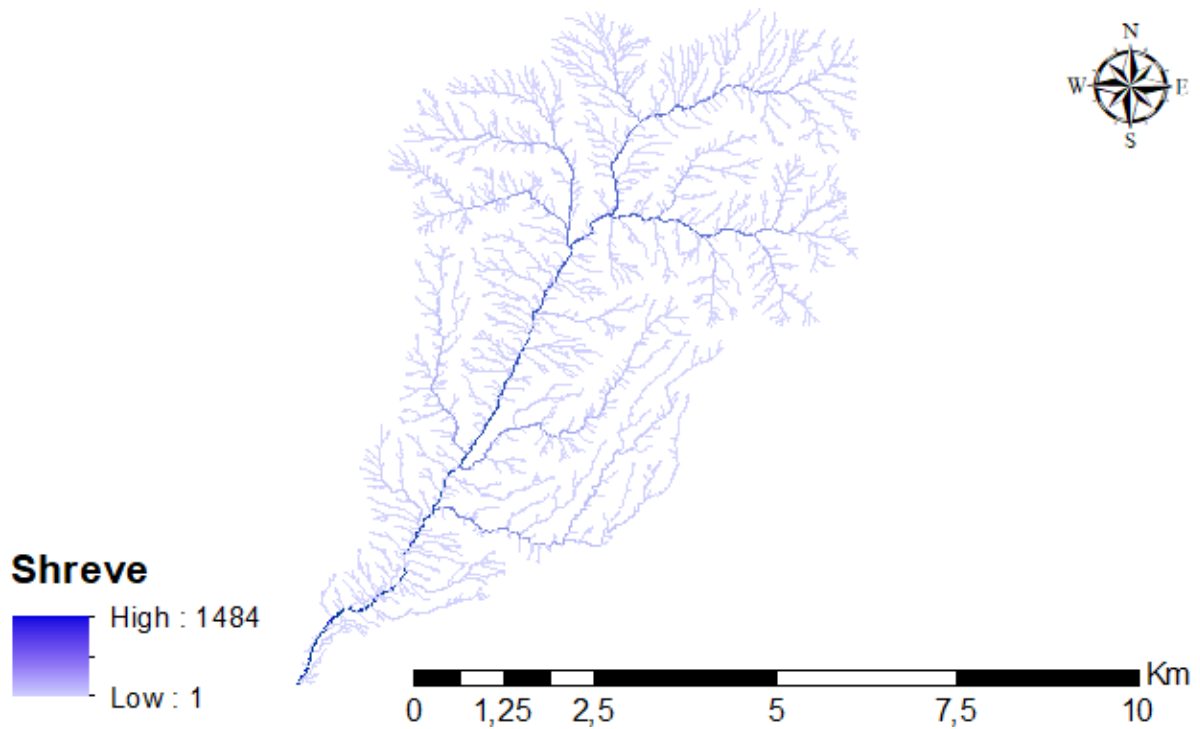


Figura 59 - Classificação de Shreve da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).

Os mapas de declives foram elaborados com base no ficheiro “*Fill\_ext*”, através da diretriz: “*ArcToolBox*” → “*Spatial Analyst Tools*” → “*Surface*” → “*Slope*”. Obteve-se então os mapas de declives em graus e percentagem, conforme a Figura 60 e Figura 61, respetivamente.

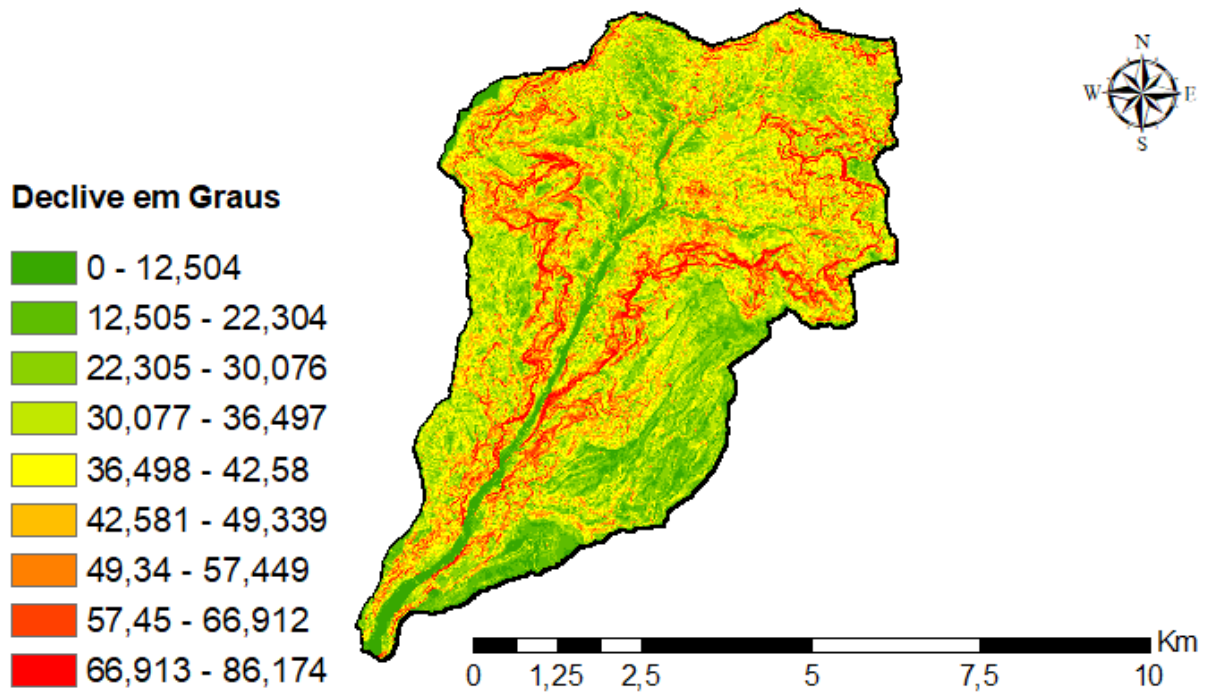


Figura 60 - Mapa de declives em graus da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).

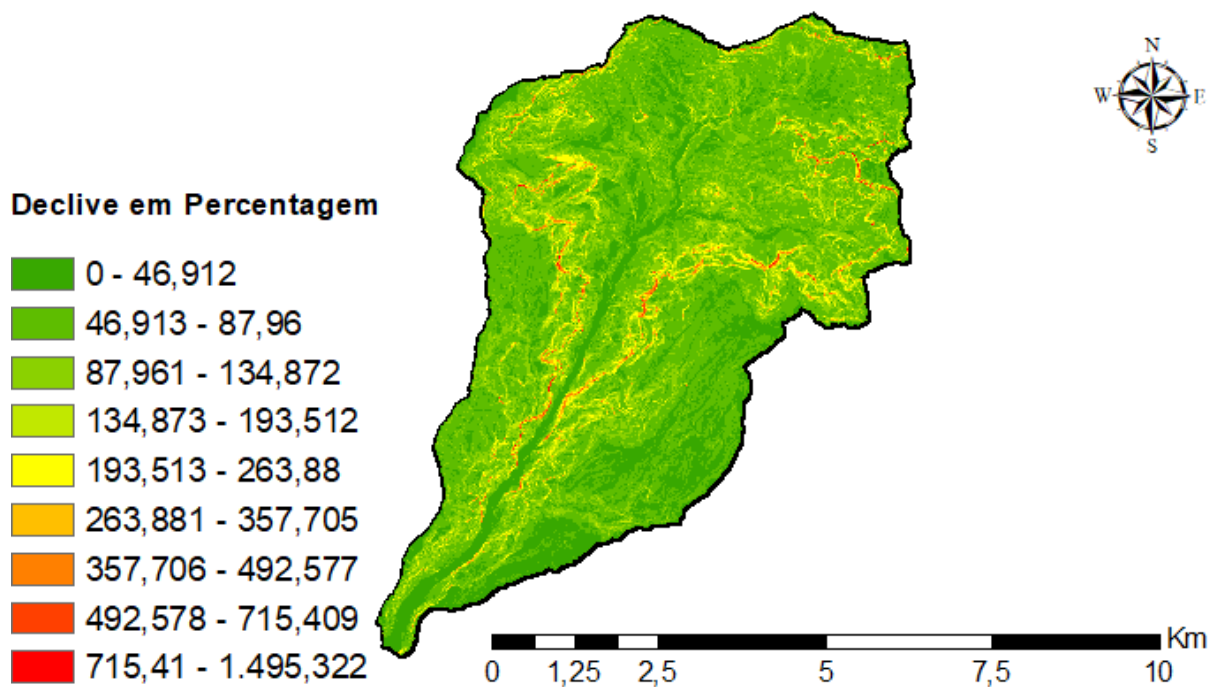


Figura 61 - Mapa de declive em percentagem da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).

Para o comprimento total do curso de água, efetuou-se a conversão do ficheiro raster “*Stream\_ext*” para vetorial, “*Stream\_Polyline*”, através do processo: “*Conversion Tools*” → “*From Raster*” → “*Raster to Polyline*”. Primeiramente, verificou-se o comprimento do somatório dos cursos de água através do “*Open Attribute Table*”, e posteriormente, através das ferramentas de edição foram retirados todos os cursos de água afluentes, até que permanecesse apenas o curso de água principal. Feito isso, verificou-se novamente o comprimento em “*Open Attribute Table*”, sendo este, correspondente apenas ao respetivo curso de água principal, conforme a Figura 62.

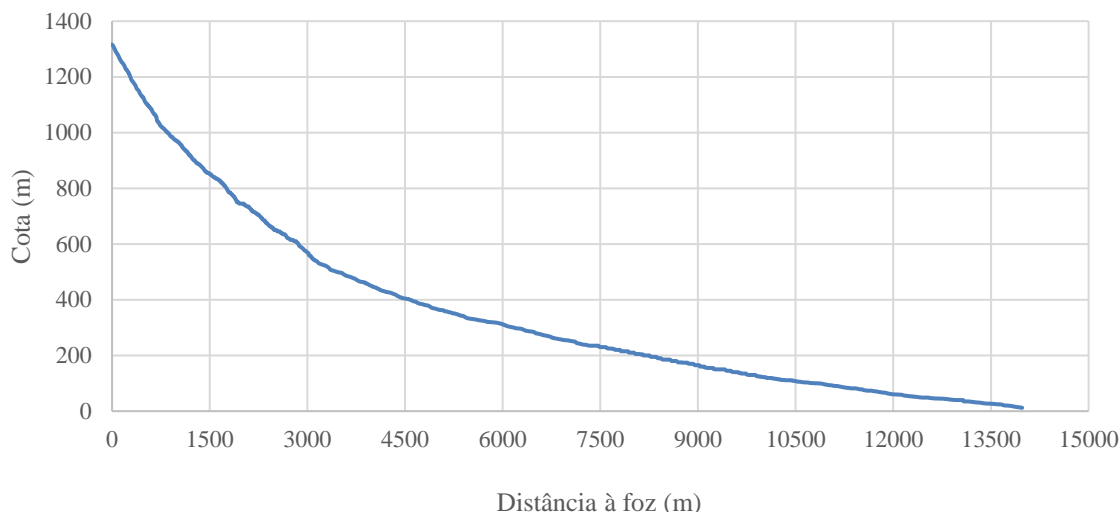
FID	Shape *	ARCID	GRID CODE	FROM NODE	TO NODE	Comp
0	Polyline ZM	276	1	251	252	14619,1

Perfil\_Int (0 out of 1 Selected)

Figura 62 - Comprimento do curso de água principal da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).

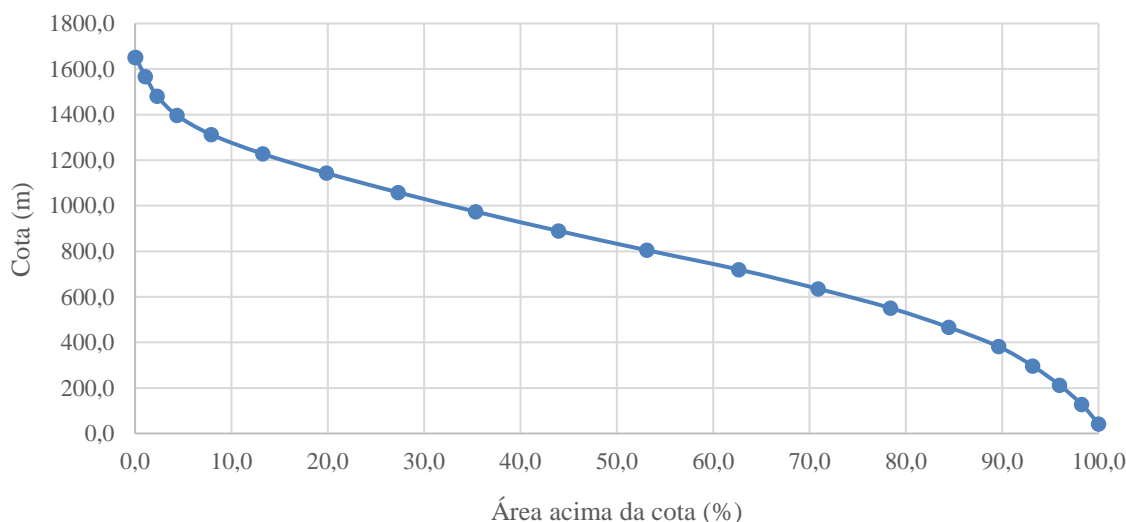
Feito isso, procedeu-se à determinação do perfil longitudinal do curso de água principal, através da interpolação dos ficheiros vetoriais e matriciais. Para tal, foi necessário unificar todas as secções que compõem o curso de água principal (uma vez que o *software ArcGIS* apresenta as linhas através de trechos vinculados por nós), sendo este processo relativamente simples: “*Editor*” → Selecionou-se todos os trechos → “*Merge*”. Com o perfil longitudinal unificado, fez-se: “*3D Analyst Tools*” → “*Functional Surface*” → “*Interpolate Shape*”.

Através do processo supracitado, criou-se outro ficheiro designado por “*Perfil Interpolado*”, que possui tanto os valores lineares do curso de água principal no plano, com os respetivos valores altimétricos. Para a elaboração do gráfico, fez-se: “*Select Features*” → Seleccionou-se o perfil longitudinal interpolado → “*Profile Graph*” → Apertar com o botão direito no gráfico elaborado pelo *software ArcGIS* → “*Advanced Properties*” → “*Data*”. Finalizado este procedimento, será apresentada toda a relação de comprimento e altitude, a qual pode ser exportada para um ficheiro *Excel* para a elaboração do gráfico de acordo com a preferência do utilizador, conforme apresentado na Figura 63.



**Figura 63 - Perfil longitudinal do curso de água principal da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).**

Por fim, para a elaboração da curva hipsométrica, fez-se: “*ArcToolBox*” → “*Spatial Analyst Tools*” → “*Reclass*” → “*Reclassify*” → “*Classify*” → Foram utilizadas 20 classes. Posteriormente, procedeu-se: “*ArcToolBox*” → “*Spatial Analyst Tools*” → “*Zonal*” → “*Zonal Statistics as Table*”. Com o ficheiro de reclassificação efetuado anteriormente foi possível elaborar uma tabela com valores de área entre curvas de nível, entretanto, esta tabela precisa ser convertida para formato *Excel* para a elaboração do gráfico correspondente à curva hipsométrica. Essa conversão pode ser feita através dos seguintes passos: “*Conversion Tools*” → “*Excel*” → “*Table to Excel*”, onde posteriormente foi elaborada a curva hipsométrica que consta na Figura 64.



**Figura 64 - Curva hipsométrica da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).**

## 4.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS

À *priori*, torna-se necessário apresentar as considerações adotadas para a os cálculos dos resultados que serão apresentados posteriormente, sendo elas:

1. Uma vez que não existe uma metodologia determinística que indique os parâmetros hidrológicos e geomorfológicos de uma bacia hidrográfica com exatidão, optou-se por utilizar a média de diversas metodologias ou as metodologias mais utilizadas no âmbito global;
2. A estimativa da precipitação diária máxima anual para cada uma das bacias foi efetuada a partir da Distribuição de Gumbel, utilizando o registo udométrico específico de cada uma das bacias, quando existente. Entretanto, bacias hidrográficas como Porto da Cruz e Água de Pena não possuem registos efetuados *in loco*, sendo necessário proceder à análise a partir de registos de bacias hidrográficas mais próximas como Machico. Outro problema encontrado refere-se à grande defasagem de registos pluviométricos de algumas bacias, como Tabua e Ribeira Brava, onde a quantidade de dados obtidos são reduzidos e apresentam diversas lacunas no relatório de precipitação anual. Para este último caso, a solução adotada consiste na utilização de análises pluviométricas efetuadas na fronteira da Ribeira Brava com São Vicente, sendo estas muito mais concisas e com divergências pequenas em relação às outras estações udométricas próximas;
3. O tempo de recorrência empregue corresponde a 100 anos, sendo este um valor indicado para implementação de obras hidráulicas, com vista à mitigação dos fenómenos extremos;
4. Para o cálculo da capacidade de escoamento da foz, a largura da secção foi medida através da ferramenta “*Measure*” do *software ArcGIS*, onde os resultados obtidos aproximam-se consideravelmente do adotado em outros estudos para a mesma região. Referente à altura, de modo a ser conservativo, foram consideradas alturas aproximadas do leito do canal até ao nível da rua, de forma a deixar a proteção existente acima deste nível como margem de segurança;
5. As aplicações de medidas de mitigação de cheias foram efetuadas apenas para bacias hidrográficas cujo *Fill Rate* fosse superior a 85%, conforme sugerido no enquadramento teórico;
6. Não foram consideradas a capacidade de escoamento das redes de drenagem existentes, uma vez que o estudo pretende simular o colapso total das mesmas;
7. A implementação do descarregador situa-se próxima da foz, nomeadamente nos trechos finais onde o declive passa a ser muito reduzido e a capacidade de escoamento comprometida, além de ser o trecho que receberá maior contribuição da bacia hidrográfica e possui maior índice de urbanização;
8. Considerou-se que o curso de água principal possui dimensões constantes e secção retangular, apesar de haver alargamentos em determinados pontos, servindo também como margem de segurança;
9. Não foram considerados o arrastamento de partículas como rochas, areias, argilas ou vegetação que possam depositar a jusante e obstruir parte da secção de escoamento;
10. O estudo apresenta-se como uma simulação de situação de cheia extrema, de forma a apresentar argumentos hidrológicos e geomorfológicos que expliquem os porquês das catástrofes ocorridas na região de estudo.

Como forma de simplificação, todos os parâmetros geomorfológicos obtidos no *software ArcGIS* e através das metodologias apresentadas foram compilados resumidamente através da Tabela 10.

Tabela 10 - Tabela resumo. (Fonte: Autor, 2020).

Tabela Resumo	Funchal			Machico				Ribeira Brava		São Vicente
	São João	Santa Luzia	João Gomes	Machico	Canical	Porto da Cruz	Água de Pena	Ribeira Brava	Tabua	São Vicente
Área (km <sup>2</sup> )	14,653	14,254	12,743	24,649	2,607	5,658	3,056	41,059	8,809	38,262
Perímetro (km)	31,640	31,130	30,480	34,700	10,010	13,930	13,010	42,430	22,530	37,790
Índice de Gravelius	2,332	2,326	2,487	1,972	1,749	2,487	2,099	1,868	2,141	1,723
Índice de alongamento	15,025	14,941	17,388	10,122	7,482	17,388	11,771	8,856	12,334	7,198
Fator de forma	0,153	0,146	0,174	0,311	0,291	0,723	0,181	0,298	0,151	0,513
Altitude média (m)	733,035	830,434	845,115	406,385	282,540	307,103	365,120	785,765	720,321	747,086
Altura média (m)	733,035	830,434	845,115	406,385	282,540	307,103	365,120	785,765	720,321	747,086
Comprimento do curso de água principal (km)	12,370	12,254	11,509	12,071	3,939	4,189	4,306	14,619	9,272	10,813
Altitude máxima do curso de água principal (m)	1660,060	1676,920	1536,223	984,999	542,919	661,990	700,599	1316,030	1547,650	1556,270
Declive médio do curso de água principal (m/m)	0,134	0,137	0,133	0,082	0,138	0,158	0,163	0,090	0,167	0,144
Altura equivalente do curso de água principal (m)	1275,945	1283,414	1391,780	689,772	373,511	351,568	677,979	681,446	1239,665	830,773
Declive equivalente (%)	10,314	10,473	12,215	17,557	9,480	8,392	15,745	4,661	13,369	7,686
Declive 10-85 (m/km)	142,599	150,041	158,081	69,282	124,553	148,253	178,265	97,449	204,824	160,625
Índice de relevo	0,180	0,180	0,187	0,121	0,207	0,180	0,179	0,144	0,206	0,199
Declive médio da bacia (Graus)	25,100	27,859	24,611	25,704	24,096	33,079	18,563	36,852	33,079	34,850
Declive médio da bacia (%)	49,726	59,494	48,636	50,540	46,300	68,500	35,100	83,822	69,174	79,070
Hierarquização de Strahler (Ordem)	5,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	4,000	6,000	4,000	6,000
Número de cursos de água	475,000	634,000	568,000	833,000	51,000	100,000	52,000	1668,000	335,000	2020,000
Comprimento total dos cursos de água (km)	79,531	79,037	68,914	146,129	13,873	34,700	40,300	332,220	46,151	238,685
Hierarquização de Shreve (Magnitude)	230,000	265,000	193,000	418,000	40,000	84,000	41,000	1484,000	173,000	708,000
Relação de bifurcação média	4,567	4,884	4,809	5,169	3,391	4,273	3,302	4,286	4,172	4,492
Tempo de concentração	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kirpich (horas)	0,999	0,985	0,947	1,188	0,410	0,408	0,412	1,325	0,736	0,877
Témez (horas)	2,972	2,940	2,816	3,206	1,239	1,265	1,285	3,640	2,290	2,648
Giandotti (horas)	1,564	1,452	1,356	2,354	0,920	1,127	0,880	2,121	1,201	1,873
Média (horas)	1,845	1,792	1,707	2,249	0,856	0,933	0,859	2,362	1,409	1,799
Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	5,428	5,545	5,408	5,928	5,321	6,133	13,187	8,091	5,239	6,238
Percurso médio sobre o terreno (km)	0,046	0,045	0,046	0,042	0,047	0,041	0,019	0,031	0,048	0,040
Sinousidade	1,281	1,252	1,370	1,396	1,453	1,499	1,090	1,272	1,262	1,299
Densidade hídrica (unidades/km <sup>2</sup> )	32,417	44,479	44,573	33,794	19,563	17,674	17,016	40,624	38,029	52,794
Altura máxima da bacia (m)	1762,380	1785,000	1595,740	1080,950	620,000	761,630	737,300	1693,400	1573,400	1715,000
Comprimento da bacia (m)	9797,660	9896,670	8553,390	8908,760	2991,508	2797,400	4109,428	11741,600	7649,000	8637,100
Diretriz (m)	9660,100	9786,690	8403,270	8646,860	2710,590	2794,030	3951,140	11492,300	7346,100	8323,190
Caudal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Forti (m <sup>3</sup> /s)	185,155	180,589	163,076	292,306	25,309	76,027	41,836	442,849	115,787	419,096
Pagliario (m <sup>3</sup> /s)	406,044	396,499	359,681	623,486	81,639	171,530	95,237	908,531	258,540	865,103
Racional (m <sup>3</sup> /s)	237,112	235,061	216,927	379,424	24,969	100,202	56,606	531,782	95,355	594,284
Giandotti (m <sup>3</sup> /s)	213,446	217,818	211,107	280,141	72,650	267,483	164,196	560,848	201,727	822,796
Mockus (m <sup>3</sup> /s)	239,941	238,351	220,747	379,090	27,323	108,324	61,914	529,792	165,218	602,432
Média (m <sup>3</sup> /s)	256,340	253,663	234,308	390,889	46,378	144,713	83,958	594,760	167,325	660,742

Análise Geométrica

Inicialmente, procedeu-se à análise individual dos parâmetros para cada uma das bacias, sem correlacioná-los, de modo a verificar a importância de cada um dos parâmetros na análise final de propensão às cheias.

O primeiro parâmetro a ser estudado refere-se à área da bacia hidrográfica, a qual possui papel primordial para a análise do volume de água escoado para a foz, Tabela 11, onde podem ser classificadas como Muito Grande > 20 km<sup>2</sup>; Grande > 10 km<sup>2</sup>; Média > 1 km<sup>2</sup> e Pequena < 1 km<sup>2</sup> (Beck *et al.*, 2013).

**Tabela 11 - Análise das áreas. (Fonte: Autor, 2020).**

Concelho	Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Dimensão	Propensão
<b>Funchal</b>	São João	14,653	Grande	Alta
	Santa Luzia	14,254	Grande	Alta
	João Gomes	12,743	Grande	Alta
<b>Machico</b>	Machico	24,649	Muito Grande	Muito Alta
	Canical	2,607	Média	Baixa
	Porto da Cruz	5,658	Média	Baixa
	Água de Pena	3,056	Média	Baixa
<b>Ribeira Brava</b>	Ribeira Brava	41,059	Muito Grande	Muito Alta
	Tabua	8,809	Média	Média
<b>São Vicente</b>	São Vicente	38,262	Muito Grande	Muito Alta

Nota-se que o parâmetro de análise da dimensão é arbitrário, podendo variar de acordo com o tipo de análise a ser efetuado (Beck *et al.*, 2013), assim como a propensão às cheias. Neste caso, a análise dimensional e de propensão às cheias foi feita através da comparação com as próprias bacias hidrográficas em estudo, onde há uma discrepância significativa entre determinadas bacias. As bacias hidrográficas com propensão “Muito Alta” receberam esta classificação devido à elevada área de contribuição, apesar de possuir um índice de urbanização médio. Já as bacias do Funchal receberam a classificação “Alta” devido ao elevado índice de urbanização, mesmo que as áreas estejam pouco acima da classificação “Média”. Por fim, as bacias hidrográficas com propensão “Baixa” além de possuírem áreas reduzidas, apresentam um índice de urbanização relativamente baixo.

No que se refere à forma geométrica das bacias hidrográficas em estudo, obteve-se os valores apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12 - Análise da geometria. (Fonte: Autor).**

Concelho	Bacia	K <sub>c</sub>	K <sub>L</sub>	K <sub>F</sub>	Geometria	Propensão
<b>Funchal</b>	São João	2,332	15,025	0,153	Muito Alongada	Baixa
	Santa Luzia	2,326	14,941	0,146	Muito Alongada	Baixa
	João Gomes	2,487	17,388	0,174	Muito Alongada	Baixa
<b>Machico</b>	Machico	1,972	10,122	0,331	Alongada	Média
	Canical	1,749	7,842	0,291	Muito Alongada	Baixa
	Porto da Cruz	2,487	17,388	0,723	Pouco Alongada	Alta
	Água de Pena	2,099	11,771	0,181	Muito Alongada	Baixa
<b>Ribeira Brava</b>	Ribeira Brava	1,868	8,856	0,298	Alongada	Média
	Tabua	2,141	12,334	0,151	Muito Alongada	Baixa
<b>São Vicente</b>	São Vicente	1,723	7,198	0,513	Pouco Alongada	Alta

Além dos parâmetros indicados, outro fator que contribuiu para classificação quanto à geometria foi o aspeto visual da bacia, os quais podem ser verificados nas figuras em anexo deste estudo. A análise visual torna-se importante pois os parâmetros numéricos podem apresentar um conflito entre si na

classificação. Conforme supracitado no enquadramento teórico, quanto maior o alongamento de uma bacia hidrográfica, menor a propensão às cheias. Neste indicativo, as bacias hidrográficas que denotam uma maior atenção referem-se a São Vicente e Porto da Cruz.

Análise da Rede de Drenagem

Para a rede de drenagem, obteve-se principalmente os valores expressos na Tabela 13.

**Tabela 13 - Análise da rede de drenagem. (Autor, 2020).**

Concelho	Bacia	D <sub>D</sub>	D <sub>H</sub>	S	Quantificação	Propensão
<b>Funchal</b>	São João	5,428	32,417	1,281	Elevada	Alta
	Santa Luzia	5,545	44,479	1,252	Elevada	Alta
	João Gomes	5,408	44,573	1,370	Elevada	Alta
<b>Machico</b>	Machico	5,928	33,794	1,396	Elevada	Alta
	Canical	5,231	19,563	1,453	Elevada	Alta
	Porto da Cruz	6,133	17,674	1,499	Elevada	Alta
	Água de Pena	13,187	17,016	1,090	Elevada	Alta
<b>Ribeira Brava</b>	Ribeira Brava	8,091	40,624	1,272	Elevada	Alta
	Tabua	5,239	38,029	1,262	Elevada	Alta
<b>São Vicente</b>	São Vicente	6,238	52,794	1,299	Elevada	Alta

Através da Tabela 13 verifica-se que todas as bacias hidrográficas apresentam elevada densidade de drenagem, o que sugere uma tendência ao escoamento superficial e debilidade de infiltração, aumentando a propensão às cheias. Já para a densidade hídrica, as bacias hidrográficas com menor área – i.e. Canical, Porto da Cruz e Água de Pena – possuem valores significativamente menores em relação às demais bacias em estudo, entretanto, ainda são indicadores de alta propensão às cheias. Referente à sinuosidade, apresentou-se com classificação “Fraca” apenas a bacia hidrográfica da Água de Pena, classificação “Forte” apenas para o Porto da Cruz e “Moderada” para todas as restantes bacias.

Caudal de Ponta de Cheia

A primeira etapa para a verificação dos caudais de ponta de cheia corresponde ao tratamento dos dados pluviométricos através da Distribuição de Gumbel para obtenção da precipitação diária máxima, com um tempo de recorrência de 100 anos para cada uma das bacias hidrográficas, Tabela 14.

**Tabela 14 - Precipitação diária máxima estimada para 100 anos. (Fonte: Autor, 2020).**

Concelho	Bacia	Precipitação (mm)	Amostras
<b>Funchal</b>	São João	258,770	16
	Santa Luzia	258,770	16
	João Gomes	258,770	16
<b>Machico</b>	Machico	280,916	16
	Canical	145,018	12
	Porto da Cruz	280,916	16
	Água de Pena	280,916	16
<b>Ribeira Brava</b>	Ribeira Brava	366,521	16
	Tabua	366,521	16
<b>São Vicente</b>	São Vicente	366,521	16

Posteriormente, calculou-se a intensidade de precipitação de acordo com a precipitação diária máxima e o tempo de concentração das respetivas bacias hidrográficas, Tabela 15.

**Tabela 15 - Coeficiente de repartição temporal (k) e intensidade de precipitação. (Autor, 2020)**

Concelho	Bacia	k	Intensidade (mm/h)
<b>Funchal</b>	São João	0,554	77,673
	Santa Luzia	0,548	79,156
	João Gomes	0,539	81,712
<b>Machico</b>	Machico	0,592	73,887
	Canical	0,407	68,960
	Porto da Cruz	0,424	127,510
	Água de Pena	0,408	133,365
<b>Ribeira Brava</b>	Ribeira Brava	0,601	93,252
	Tabua	0,502	77,938
<b>São Vicente</b>	São Vicente	0,549	111,830

Para a metodologia de Forti, é necessário a atribuição dos parâmetros “b” e “C” com base na precipitação diária máxima local. Com base na Tabela 14, foram utilizados os valores presentes na Tabela 16.

**Tabela 16 - Coeficientes (b) e (C) utilizados para fórmula de Forti. (Autor, 2020)**

Concelho	Bacia	b	C
<b>Funchal</b>	São João	3,250	1,000
	Santa Luzia	3,250	1,000
	João Gomes	3,250	1,000
<b>Machico</b>	Machico	3,250	1,000
	Canical	2,350	0,500
	Porto da Cruz	3,250	1,000
	Água de Pena	3,250	1,000
<b>Ribeira Brava</b>	Ribeira Brava	3,250	1,000
	Tabua	3,250	1,000
<b>São Vicente</b>	São Vicente	3,250	1,000

Para as metodologias que consideram o coeficiente de escoamento superficial, utilizou-se os valores representados na Tabela 17.

**Tabela 17 - Coeficiente de escoamento superficial utilizado. (Fonte: Autor, 2020).**

Concelho	Bacia	C	Descrição
<b>Funchal</b>	São João	0,750	Área Comercial – Centro da Cidade
	Santa Luzia	0,750	Área Comercial – Centro da Cidade
	João Gomes	0,750	Área Comercial – Centro da Cidade
<b>Machico</b>	Machico	0,750	Área Comercial – Centro da Cidade
	Canical	0,500	Área Residencial – Centro da Cidade
	Porto da Cruz	0,500	Área Residencial – Centro da Cidade
	Água de Pena	0,500	Área Residencial – Centro da Cidade
<b>Ribeira Brava</b>	Ribeira Brava	0,500	Área Residencial – Centro da Cidade
	Tabua	0,500	Área Residencial – Centro da Cidade
<b>São Vicente</b>	São Vicente	0,500	Área Residencial – Centro da Cidade

Por fim, para o coeficiente específico da equação de Giandotti, utilizou-se 0,346 para todas as bacias hidrográficas, e com a média de todas as metodologias procedeu-se à verificação do *Fill Rate* e dimensionamento dos dispositivos de mitigação de cheias, caso necessário, conforme a Tabela 18.

Tabela 18 - Análise e dimensionamento dos dispositivos de mitigação. (Autor, 2020).

Capacidade de Escoamento da Foz										
Parâmetro	Funchal			Machico				Ribeira Brava		São Vicente
	São João	Santa Luzia	João Gomes	Machico	Caniçal	Porto da Cruz	Água de Pena	Ribeira Brava	Tabua	São Vicente
Largura (m)	10,000	10,000	10,000	24,000	10,000	10,000	10,000	20,000	10,000	40,000
Altura (m)	4,000	4,000	4,000	3,000	4,000	4,000	4,000	4,500	3,000	3,000
Coefficiente de Rugosidade das Paredes	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Coefficiente de Rugosidade do Leito	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040
Coefficiente de Rugosidade Médio	0,031	0,031	0,031	0,036	0,031	0,031	0,031	0,034	0,033	0,037
Inclinação da Foz (m/m)	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
Capacidade da Foz (m³/s)	218,946	218,946	218,946	358,512	218,946	218,946	218,946	566,645	140,359	608,172
Fill Rate	117%	116%	107%	109%	21%	66%	38%	105%	119%	109%
Bacia de Detenção - Método Holandês										
Largura do Descarregador (m)	8,000	8,000	8,000	22,000	-	-	-	18,000	8,500	38,500
Altura do Descarregador (m)	4,000	4,000	4,000	3,000	-	-	-	4,500	3,000	3,000
Caudal de Saída do Descarregador (m³/s)	119,040	119,040	119,040	212,627	-	-	-	319,598	82,151	372,096
Fill Rate Pós-Bacia	54%	54%	54%	59%	-	-	-	56%	59%	61%
Volume de Armazenamento (m³)	911912,357	868614,549	708173,182	1443537,982	-	-	-	2339850,381	432023,695	1869725,519
Largura da Bacia de Detenção (m)	10,000	10,000	10,000	24,000	-	-	-	20,000	10,000	40,000
Altura da Bacia de Detenção (m)	4,000	4,000	4,000	3,000	-	-	-	4,500	3,000	3,000
Comprimento da Bacia de Detenção (m)	22797,809	21715,364	17704,330	20049,139	-	-	-	25998,338	14400,790	15581,046
% do Comprimento do Canal	184%	177%	154%	166%	-	-	-	178%	155%	144%
Bacia de Detenção - Hidrograma Triangular Simplificado										
Largura do Descarregador (m)	8,000	8,000	8,000	22,000	-	-	-	18,000	8,500	38,500
Altura do Descarregador (m)	4,000	4,000	4,000	3,000	-	-	-	4,500	3,000	3,000
Caudal de Saída do Descarregador (m³/s)	119,040	119,040	119,040	212,627	-	-	-	319,598	82,151	372,096
Fill Rate Pós-Bacia	54%	54%	54%	59%	-	-	-	56%	59%	61%
Volume de Armazenamento (m³)	488434,952	460988,300	348385,758	658317,224	-	-	-	1082517,205	219914,592	816790,860
Largura da Bacia de Detenção (m)	10,000	10,000	10,000	24,000	-	-	-	20,000	10,000	40,000
Altura da Bacia de Detenção (m)	4,000	4,000	4,000	3,000	-	-	-	4,500	3,000	3,000
Comprimento da Bacia de Detenção (m)	12210,874	11524,707	8709,644	9143,295	-	-	-	12027,969	7330,486	6806,590
% do Comprimento do Canal	99%	94%	76%	76%	-	-	-	82%	79%	63%
Alteração do Coeficiente de Rugosidade										
Largura (m)	10,000	10,000	10,000	24,000	-	-	-	20,000	10,000	40,000
Altura (m)	4,000	4,000	4,000	3,000	-	-	-	4,500	3,000	3,000
Coefficiente de Rugosidade das Paredes	0,012	0,012	0,012	0,012	-	-	-	0,012	0,012	0,012
Coefficiente de Rugosidade do Leito	0,030	0,030	0,030	0,030	-	-	-	0,030	0,030	0,030
Coefficiente de Rugosidade Médio	0,022	0,022	0,022	0,026	-	-	-	0,024	0,023	0,028
Inclinação da Foz (m/m)	0,010	0,010	0,010	0,010	-	-	-	0,010	0,010	0,010
Capacidade da Foz (m³/s)	309,620	309,620	309,620	488,881	-	-	-	784,339	196,200	822,371
Fill Rate Pós-Alteração	83%	82%	76%	80%	-	-	-	76%	85%	80%

### Capacidade de Escoamento da Foz

Para a determinação da capacidade de escoamento da foz foi necessário estabelecer os parâmetros que satisfaçam a equação de Manning-Strickler. A secção de escoamento foi definida com base na medição efetuada no *software ArcGIS* e a inclinação com base na redução considerável do declive próximo à foz.

Referente ao coeficiente de rugosidade, utilizou-se a média ponderada, uma vez que há uma significativa diferença do material presente no leito e nas paredes do canal, como pode ser visto na Figura 65.



**Figura 65 - Ribeira de Santa Luzia. (Fonte: Autor, 2020).**

Verifica-se que as paredes apresentam um revestimento com boa conservação, enquanto no leito há uma grande presença de sedimentos e vegetação, o que reduzirá consideravelmente a capacidade de escoamento do canal. Apesar do enquadramento da Figura 65 não ser a foz, a presença de vegetação e sedimentos no curso de água estende-se por praticamente todo o seu comprimento.

Portanto, com um pensar favorável à segurança, foram utilizados coeficientes de rugosidade com características semelhantes, porém em estados de conservação ainda mais desfavoráveis, sendo eles:

1. **Parede:** alvenaria de pedra argamassada em boa condição, onde  $n=0,020$ ;
2. **Leito:** canais com leito pedregoso e talude vegetado em má condição, onde  $n=0,040$ ;

Estabelecidos estes parâmetros, calculou-se a capacidade de escoamento da foz de cada uma das bacias hidrográficas e, ao comparar com o caudal precipitado, obteve-se a indicação da necessidade ou não de implementação de dispositivos de mitigação de cheias.

Através da Tabela 18, avalia-se que as bacias que necessitam intervenção são: São João, Santa Luzia, João Gomes, Machico, Ribeira Brava, Tabua e São Vicente. Todas estas bacias hidrográficas que apresentaram problemas constam no relatório de risco da DROTA, enquanto as bacias não problemáticas não constam, inferindo a fiabilidade dos dados obtidos no presente estudo.

Bacia de Detenção – Método Holandês

O dimensionamento da bacia de detenção para cada uma das bacias hidrográficas problemáticas mostrou-se efetiva para o controlo do caudal na foz, conforme pode ser visto na Tabela 19. Nota-se que o dimensionamento foi efetuado apenas para bacias hidrográficas cujo o caudal precipitado representasse mais do que 85% da capacidade da foz, ou seja, FR>85%.

**Tabela 19 - Fill Rate com o método Holandês (Fonte: Autor, 2020).**

Concelho	Bacia	FR (%) Antes	FR (%) Depois
<b>Funchal</b>	São João	117%	54%
	Santa Luzia	116%	54%
	João Gomes	107%	54%
<b>Machico</b>	Machico	109%	59%
	Caniçal	21%	-
	Porto da Cruz	66%	-
	Água de Pena	38%	-
<b>Ribeira Brava</b>	Ribeira Brava	105%	56%
	Tabua	119%	59%
<b>São Vicente</b>	São Vicente	109%	61%

A proposta deste estudo visa causar o menor impacto possível no canal existente e seus arredores. Neste sentido, optou-se por não alterar as dimensões da secção transversal das ribeiras, tanto em largura quanto em altura. Portanto, a única variável dimensional da bacia de detenção foi o seu comprimento, e com base nessa premissa, obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 20.

**Tabela 20 - Comprimento da bacia de detenção pelo método Holandês. (Fonte: Autor, 2020).**

Concelho	Bacia	Comp. da Bacia de Detenção (km)	Comp. do Curso de Água (km)
<b>Funchal</b>	São João	22,797	12,370
	Santa Luzia	21,715	12,254
	João Gomes	17,704	11,509
<b>Machico</b>	Machico	20,049	12,071
	Caniçal	-	-
	Porto da Cruz	-	-
	Água de Pena	-	-
<b>Ribeira Brava</b>	Ribeira Brava	25,998	14,619
	Tabua	14,400	9,272
<b>São Vicente</b>	São Vicente	15,581	10,813

Apesar de efetiva no controlo do caudal, a bacia de detenção não será aplicável pelo método Holandês, uma vez que o volume armazenado pela bacia de detenção é demasiado alto e necessitaria de um comprimento muito superior ao que o curso de água principal possui.

Segundo David & Carvalho (2008), “[...] o método Holandês não entra em consideração com o atraso e com o amortecimento do hidrograma de cheia, o que leva a um sobredimensionamento da estrutura [...]”, conforme apresentado na Figura 66.

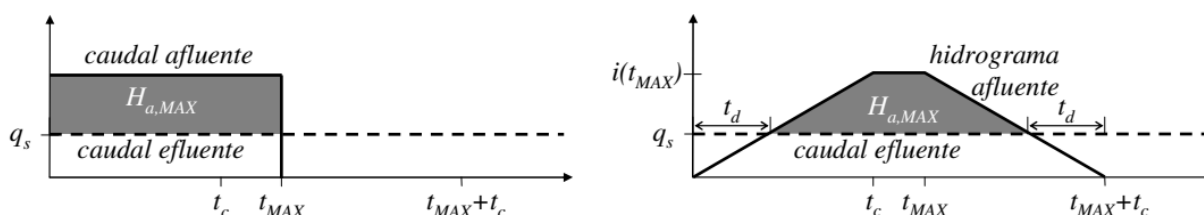


Figura 66 - Representação do sobredimensionamento da metodologia. (Fonte: David & Carvalho, 2008).

Observa-se que no método Holandês o armazenamento inicia-se imediatamente a seguir à precipitação, o que não corresponde à realidade, pois o armazenamento iniciará apenas quando o caudal escoado para jusante da bacia hidrográfica for superior à capacidade de escoamento do descarregador. Portanto, após a verificação de não aplicabilidade desta metodologia para este caso específico, procedeu-se ao dimensionamento pelo método HTS.

#### Bacia de Detenção – Hidrograma Triangular Simplificado

Os valores de *Fill Rate* permanecem os mesmos da metodologia anterior, uma vez que não foram alteradas as dimensões dos descarregadores, conforme apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 - *Fill Rate* com o método HTS. (Fonte: Autor, 2020).

Concelho	Bacia	FR (%) Antes	FR (%) Depois
Funchal	São João	117%	54%
	Santa Luzia	116%	54%
	João Gomes	107%	54%
Machico	Machico	109%	59%
	Caniçal	21%	-
	Porto da Cruz	66%	-
	Água de Pena	38%	-
Ribeira Brava	Ribeira Brava	105%	56%
	Tabua	119%	59%
São Vicente	São Vicente	109%	61%

Os comprimentos das bacias de detenção alteraram consideravelmente, conforme exposto na Tabela 22.

Tabela 22 - Comprimento da bacia de detenção pelo método HTS. (Fonte: Autor, 2020).

Concelho	Bacia	Comp. da Bacia de Detenção (km)	Comp. do Curso de Água (km)
Funchal	São João	12,210	12,370
	Santa Luzia	11,524	12,254
	João Gomes	8,709	11,509
Machico	Machico	9,143	12,071
	Caniçal	-	-
	Porto da Cruz	-	-
	Água de Pena	-	-
Ribeira Brava	Ribeira Brava	12,027	14,619
	Tabua	7,330	9,272
São Vicente	São Vicente	6,806	10,813

Assim como o método Holandês, o controlo de caudal pelo método HTS apresentou-se efetivo. Entretanto, os comprimentos encontrados para as bacias de detenção são inferiores ao comprimento do curso de água principal, o que denota a aplicabilidade da metodologia.

Apesar de aplicável, os comprimentos de algumas bacias de detenção apresentam-se muito próximos ao comprimento do curso de água – *e.g.* São João e Santa Luzia – não propiciando uma margem de segurança considerável.

#### Alteração do Coeficiente de Rugosidade

Como forma de sugerir uma outra abordagem de mitigação de cheias sem a aplicação da bacia de detenção, procedeu-se à análise da capacidade de escoamento da foz com a alteração do coeficiente de rugosidade.

Para esta verificação utilizou-se os seguintes coeficientes de rugosidade:

1. **Paredes:** superfícies com argamassa de cimento em boa condição, com  $n=0,012$ ;
2. **Leito:** canais com leito pedregoso e talude vegetado em boa condição, com  $n=0,030$ .

Optou-se por permanecer com a característica de vegetação nos leitos uma vez que a remoção completa da cobertura vegetal teria de ser muito frequente. Entretanto, considera-se que o leito permaneça em boas condições e com uma vegetação menos densa do que se encontra atualmente. Referente às paredes, a manutenção não deverá ser constante uma vez que o desgaste por abrasão ocorreria apenas com a presença de grandes volumes de água com sedimentos de granulometria significativa. Portanto, com a alteração dos coeficientes de rugosidade obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 23.

**Tabela 23 - Fill Rate com a alteração do coeficiente de rugosidade. (Fonte: Autor, 2020).**

Concelho	Bacia	FR (%) Antes	FR (%) Depois
<b>Funchal</b>	São João	117%	83%
	Santa Luzia	116%	82%
	João Gomes	107%	76%
<b>Machico</b>	Machico	109%	80%
	Caniçal	21%	-
	Porto da Cruz	66%	-
	Água de Pena	38%	-
<b>Ribeira Brava</b>	Ribeira Brava	105%	76%
	Tabua	119%	85%
<b>São Vicente</b>	São Vicente	109%	80%

A alteração do coeficiente de rugosidade dos canais apresentou-se como uma medida efetiva para mitigação dos efeitos das cheias, onde todos os *Fill Rate* se estabelecem dentro do critério previamente abordado – *i.e.* o caudal precipitado corresponde a menos que 85% da capacidade de escoamento da foz.

Por fim, ressalva-se que ambas metodologias aplicáveis – *i.e.* método HTS e alteração do coeficiente de rugosidade – podem ser trabalhadas em conjunto, de modo a reduzir o comprimento da bacia de detenção através da otimização da capacidade de escoamento da foz.

**CAPÍTULO 5**  
**DISCUSSÃO E CONCLUSÃO**

## 5.1. DISCUSSÃO

O presente estudo, elaborado como critério fundamental para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil pela Universidade da Madeira, teve como propósito elementar a análise de medidas mitigadoras de cheias para regiões com elevado risco, seguindo as diretrizes apresentadas pelos conceitos de planeamento urbano e ordenamento territorial.

Com base em uma extensa revisão bibliográfica, verificou-se que as cheias pluviais se estabelecem como um dos fenómenos extremos com maior intensificação nos últimos tempos, provocando diversas catástrofes naturais em todo o globo. Referente à Ilha da Madeira, a região possui um preocupante histórico de cheias, as quais causaram inúmeras perdas humanas e materiais. Como forma de entender a presença cada vez mais frequente destes eventos, vinculados ao conceito de ordenamento territorial, analisou-se que a diminuição do intervalo entre eventos extremos está totalmente atrelada às mudanças climáticas globais e regionais, bem como a densificação da malha urbana de forma desordenada.

À *posteriori*, foram enunciados os aspetos que compõem o conceito de ordenamento territorial e planeamento urbano, de modo a entender a necessidade de implementação de medidas estruturais e não estruturais para prevenção ou mitigação dos impactos gerados por fenómenos naturais, nomeadamente as cheias. Entretanto, devido à urgência na tomada de medidas pragmáticas para evitar catástrofes a curto prazo, o presente estudo visou apresentar principalmente medidas estruturais que não dependam dos aspetos demasiado burocráticos e que originariam uma vasta discussão para a sua implementação. Com base nesta premissa, sugeriu-se a implementação de uma bacia de detenção nas ribeiras que apresentassem elevado risco de cheias.

Para a análise do risco foram utilizados dois parâmetros elementares: constar no relatório de risco da DROTA e através do cálculo dos indicadores hidrológicos e geomorfológicos, possuírem uma capacidade de escoamento inferior ao volume de água precipitado. Através do terceiro capítulo, foram elucidadas todas as metodologias e indicadores utilizados, os quais contaram com a programação de folhas de cálculo desenvolvidas com o *software Microsoft Excel*.

A obtenção dos dados referentes às bacias hidrográficas em estudo – *i.e.* São João, Santa Luzia, João Gomes, Machico, Caniçal, Porto da Cruz, Água de Pena, Ribeira Brava, Tabua e São Vicente – fez-se através do tratamento do ficheiro MDT fornecido pelo LREC, por meio do *software ArcGIS*. No quarto capítulo foi apresentada uma síntese do método utilizado para proceder este tratamento, demonstrando textualmente e graficamente as diretrizes adotadas.

Ainda no quarto capítulo, foram apresentados os resultados obtidos por meio da utilização das metodologias supracitadas, tanto ao nível de caracterização geomorfológica das bacias hidrográficas quanto ao dimensionamento das bacias de detenção. Os resultados obtidos para análise de risco foram satisfatórios, uma vez que houve uma absoluta concordância com o relatório de risco proposto pela DROTA.

No que se refere às bacias de detenção, uma das metodologias (método Holandês) apresentou valores satisfatórios no âmbito do controlo dos caudais, porém, não aplicáveis de acordo com o princípio de redução de impactos adotados no estudo, uma vez que necessitaria alterar a secção transversal do curso de água por um longo comprimento e causaria impactos indesejáveis para as estruturas urbanas adjacentes. Entretanto, a metodologia HTS apresentou-se com a mesma eficiência de controlo de caudais e aplicável a nível de impactos, sendo o comprimento do curso de água principal de todas as bacias hidrográficas suficientes para implementação da medida sem a alteração da secção transversal.

Por fim, a última medida proposta (alteração do coeficiente de rugosidade) apresentou resultados ainda mais satisfatórios em comparação com as duas metodologias anteriores, sendo de fácil implementação e de simples manutenção.

## 5.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação foi elaborada com base em cinco objetivos fundamentais, e que serviram como diretriz para a concretização do presente estudo, sendo eles:

1. Caracterizar e desenvolver ferramentas de modelação numérica unidimensional de escoamentos em linhas de água (ribeiras), com aplicação a um trecho da ribeira de cada um dos concelhos da RAM (Funchal, Machico, Ribeira Brava, e São Vicente). Este trecho irá reunir uma série de dados físicos relevantes, apresentando riscos que exigem um diagnóstico tão preciso quanto possível. Esta modelação é complementada com análises de sensibilidade a diversos parâmetros, – *e.g.* coeficientes de rugosidade do leito (Manning-Strickler); condições de fronteira a montante; índice de urbanização local; dimensões das bacias hidrográficas; densidade de drenagem; tempo de concentração; análise probabilística de cheias com base no histórico etc;

O presente estudo obteve de forma satisfatória a caracterização de dez bacias hidrográficas – *i.e.* São João, Santa Luzia, João Gomes, Machico, Caniçal, Porto da Cruz, Água de Pena, Ribeira Brava, Tabua e São Vicente – pertencentes aos concelhos supracitados, apresentando resultados consideravelmente próximos a outras bibliografias para cada um dos parâmetros geomorfológicos e hidrológicos calculados. Os cálculos destes parâmetros foram procedidos através de referências de renome e com vasta utilização no âmbito global, sugerindo a fiabilidade dos valores obtidos. Estes parâmetros foram processados através da obtenção dos dados basilares por meio do *software ArcGIS*, e aplicados às diversas metodologias propostas, por meio das folhas de cálculos elaboradas no *software Microsoft Excel*.

Para a determinação da capacidade de escoamento da foz foram utilizadas condições ainda mais desfavoráveis, de modo que a análise seja válida a longo prazo caso nenhuma medida de mitigação seja tomada.

2. Análise dos parâmetros calculados para a verificação da suscetibilidade às cheias de cada uma das bacias hidrográficas estudadas;

As análises dos parâmetros de suscetibilidade às cheias apresentaram valores muito coerentes, corroborando com o relatório de risco elaborado pela DROTA. As bacias de São João, Santa Luzia, João Gomes, Machico, Ribeira Brava, Tabua e São Vicente apresentaram valores de *Fill Rate* superiores ao limite recomendado, sendo necessário o dimensionamento da bacia de detenção e do descarregador para o controlo do caudal a jusante de cada uma destas bacias hidrográficas.

Em contrapartida, as bacias do Caniçal, Porto da Cruz e Água de Pena não apresentaram grande suscetibilidade às cheias, portanto, não sendo necessário a adoção de medidas de mitigação no presente momento. Uma vez que haja a expansão da malha urbana destas localidades futuramente, tornar-se-á importante efetuar uma nova análise.

3. Verificação da necessidade de implementação de uma bacia de detenção para o controlo e regularização do caudal na foz (e o respetivo dimensionamento, caso necessário);

O dimensionamento da bacia de detenção foi elaborado por meio de duas metodologias: método Holandês e método HTS. Ambas metodologias foram implementadas com base na diferença do caudal precipitado e o caudal de saída do descarregador, sendo o tempo de enchimento a variável principal.

No método Holandês, considera-se que a bacia de detenção inicia o armazenamento imediatamente após o início da precipitação, desconsiderando o amortecimento do hidrograma e originando o sobredimensionamento do dispositivo. A principal vantagem desta metodologia consiste na facilidade de aplicação, onde são utilizados apenas três parâmetros: caudal precipitado, caudal de saída do

descarregador e tempo de concentração da bacia hidrográfica. Devido ao sobredimensionamento, esta metodologia não se apresentou como aplicável para os casos práticos em estudo.

Já o método HTS considera o amortecimento do hidrograma de cheia, onde o tempo de enchimento corresponde ao tempo em que o descarregador escoar um caudal superior à sua capacidade. Esta metodologia apesar de possuir uma análise um pouco mais complexa em relação ao método Holandês, não apresenta grandes problemas caso seja estabelecido um tempo de base do hidrograma como duas vezes o valor do tempo de concentração. Por fim, devido à consideração do amortecimento do hidrograma, o HTS apresentou-se como aplicável aos casos práticos em estudo.

#### 4. Articulação dos modelos propostos com as diretrizes de planeamento urbano em vigor na RAM;

As bacias de detenção estão enquadradas como medidas estruturais de planeamento urbano. No que se refere a RAM, medidas semelhantes foram adotadas como a artificialização dos cursos de água presentes dentro do perímetro urbano, como forma de estabelecer uma contenção física aos caudais mais extremos. A implementação de uma bacia de detenção nestes casos seria muito facilitada, sendo necessário apenas a construção do descarregador e artificialização de parte do curso de água até que atinja o comprimento dimensionado.

A principal articulação aos modelos de planeamento urbano da RAM fez-se na resolução de problemáticas urbanas através da confirmação das áreas de risco delimitadas pela DROTA, e a implementação de medidas de mitigação como bacias de detenção e alteração do coeficiente de rugosidade do canal.

#### 5. Análise do impacto territorial pelo modelo proposto.

A análise do impacto territorial fez-se necessariamente através da verificação de aplicabilidade dos modelos propostos e a não alteração das dimensões da secção transversal do curso de água. Caso contrário, seria necessário efetuar o alargamento desta secção de escoamento, o que ocasionaria a modificação de estruturas urbanas adjacentes – *e.g.* ruas, pontes, edificações etc. – e consequentemente, na paralisação de operação destas estruturas.

### 5.3. FUTURAS LINHAS DE INVESTIGAÇÃO

Devido à impossibilidade de explorar todas as vertentes que compõem uma análise mais completa e efetiva nesta dissertação, outros estudos podem ser efetuados de forma a complementar ou otimizar os resultados aqui obtidos, sendo eles:

- I. Análise da capacidade de infiltração do solo que compõe o curso de água principal;
- II. Análise da capacidade de escoamento do sistema hidráulico urbano implementado, de modo a reduzir o volume de armazenamento das bacias de detenção;
- III. Análise da deposição de sedimentos de acordo com a velocidade de arrastamento presente no curso de água principal;
- IV. Verificação da deterioração das paredes do canal artificial por abrasão, e a análise do tempo máximo para proceder às manutenções;
- V. Análise da perspectiva de crescimento urbano dos concelhos em estudo e a sua influência no acréscimo de caudal;
- VI. Elaboração do orçamento de implementação das medidas de mitigação do presente estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## Referências

Albino, D. & Prado, B. (2003). *Material de aula confeccionado para a disciplina de Climatologia*. p. 4, 2003.

Alencar, R. (2017). *O ciclo da água*. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=d3uImUU3kv4>

Amado, M. J. N. (2002). *O Processo de Planeamento Urbano Sustentável*. Dissertação para a obtenção do grau académico de Doutor em Ciências da Engenharia do Ambiente na Especialidade de Planeamento e Ordenamento do Território. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Barichivichi, J. & Gloor, E. & Peylin, P & Brienen, R. & Schöngart, J. & Espinoza, J. & Pattnayak, K. (2018). *Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation*. Science Advances: eaat8785.

Barros, L. L. & Steinke, V. A. (2009). *Análise morfológica automatizada para bacia do Rio Maranhão*. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal. P.4655-4661.

Bartholomé, 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

Baud, P. & Bourgeat, S. & Bras, C. (1999). *Dictionnaire de Géographie*. Vol. 89. Plátano Editora, Lisboa.

BBC News (2010). *Inundação na Ilha da Madeira*. Disponível em: [http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk\\_news/8526587.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/8526587.stm)

Beck, H. E. & Bruijnzeel, L. A. & Van Dijk, A. I. J. M. & McVicar, T. R. & Scatena, F. N. & Schellekens, J. (2013). *The impact of forest regeneration on streamflow in 12 mesoscale humid tropical catchments*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 17, 2613-2635, 2013. DOI: 10.5194/hess-17-2613-2013.

Bertoni, J. C. & Tucci, C. E. M. (1993). *Precipitação*. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.

Borrego, C. & Lopes, M. & Ribeiro, I. & Carvalho, A. (2009). *As alterações climáticas: uma realidade transformada em desafio*. Revista Debater a Europa, N.º 1, junho/dezembro, 15-40.

Borsato, F. H. (2005). *Caracterização física das bacias de drenagem do município de Maringá e os postos de combustíveis como potenciais poluidores*. Dissertação elaborada para a obtenção do grau de Mestre em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá.

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.

Camacho, R. F. (2015). *Caracterização, Simulação (à escala) e Modelação do Escoamento em Canais Artificiais. Aplicação a caso de estudo*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil pela Universidade da Madeira, Funchal, Portugal.

Campana, N. A. & Tucci, C. E. M. (1994). *Estimativa de área impermeável de microbacias urbanas*. Caderno de Recursos Hídricos, v.12, n. 2, p. 79-94.

- Canholi, A. (2005). *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Carvalho, A. e Brandão, J. (1991). *Geologia do Arquipélago da Madeira*. Publicação do Museu Nacional de História Natural (Mineralogia e Geologia) da Universidade de Lisboa.
- Carvalho, A. e Brandão, J. (1991). *Geologia do Arquipélago da Madeira*. Publicação do Museu Nacional de História Natural (Mineralogia e Geologia) da Universidade de Lisboa.
- Castanho, R. A. C. & Fernández, J. C. & Loures, L. & Pozo, L. F. (2017). *Evolución del procedimiento de planeamiento urbano en la península ibérica y sus huellas en el paisaje urbano. Retos de futuro*. Revista Científica Monfragüe Desarrollo Resiliente, Volumen VIII, n. 2. ISSN 2340-5457.
- Castanho, R. & Lousada, S. & Gómez, J. M. N. & Escorcio, P. & Cabezas, J. & Pozo-Fernández, L. & Loures, L. (2019a). *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.
- Castanho, R. A. C. & Naranjo Gómez, J. M. & Pysz, J. K. (2019). *Assessing Land Use Changes in Polish Territories: Patterns, Directions and Socioeconomic Impacts on Territorial Management*. Sustainability 2019, 11, 1354. DOI: 10.3390/su11051354.
- Castanho, R. A. C. & Fernández, J. C. & Loures, L. & Pozo, L. F. (2017). *Evolución del procedimiento de planeamiento urbano en la península ibérica y sus huellas en el paisaje urbano. Retos de futuro*. Revista Científica Monfragüe Desarrollo Resiliente, Volumen VIII, n. 2. ISSN 2340-5457.
- Castanho, R. & Lousada, S. & Gómez, J. M. N. & Escorcio, P. & Cabezas, J. & Pozo-Fernández, L. & Loures, L. (2019a). *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.
- Castanho, R. A. C. & Naranjo Gómez, J. M. & Pysz, J. K. (2019). *Assessing Land Use Changes in Polish Territories: Patterns, Directions and Socioeconomic Impacts on Territorial Management*. Sustainability 2019, 11, 1354. DOI: 10.3390/su11051354.
- Cazenave, A. & Dominh, K. & Rabinowicz, M. (1988). *geoid and depth anomalies over ocean swells and troughs: evidence of an increasing trend of the geoid to depth ratio with age of plate*. J. Geophys. Res., 93, 8064-8077.
- Cetesb (2018). *Cheia costeira em Santos*. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/2018/04/02/cidade-de-santos-e-escolhida-para-piloto-sobre-extremos-climaticos/>
- Chevallier, P. (1993). *Aquisição e Processamento de Dados*. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.
- Chow, V. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- Chow, V. T. (1956). *Hydrologic Studies of Floods in the United States*, Inter. Assoc. Sci. Hydrol., Publ. nº 42, 134-170.
- Christofoletti, A. (1980). *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher.
- Christofoletti, A. (1981). *Geomorfologia Fluvial*. São Paulo: Edgard Blücher.

## Referências

Cirilo. (2001). *Tabelas Coeficientes de Manning*.

Comissão Europeia (2019). *Breve panorâmica sobre o mercado de trabalho*. Portugal – Região Autónoma da Madeira. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eures/main.jsp?catId=438&acro=Imi&lang=pt&countryId=PT&regionId=PT3&nuts2Code=PT30&nuts3Code=PT300&regionName=Regi%C3%A3o%20Aut%C3%B3noma%20da%20Madeira>

CEOT (1983). *Carta Europeia do Ordenamento do Território*. Conselho da Europa.

Costa Lobo, M. & Pardal, S. C. & Correia, P. V. & Lobo, M. S. (1990). *Normas Urbanísticas. Volume I – Princípios e Conceitos Fundamentais*. Direção-Geral do Ordenamento do Território e Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Costa, T. & Lança, R. (2011). *Capítulo I. Hidrologia de Superfície*. Faro: Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve. Obtido de [http://w3.ualg.pt/~rlanca/sebenta-hidaplicada/sebenta\\_de\\_hidraulica\\_aplicada\\_2011\\_03\\_01.pdf](http://w3.ualg.pt/~rlanca/sebenta-hidaplicada/sebenta_de_hidraulica_aplicada_2011_03_01.pdf)

David, L. M. & Carvalho, R. F. (2008). *Bacias de Retenção para Controlo de Cheias: Reflexão sobre os métodos de dimensionamento*. 13º Encontro Nacional de Saneamento Básico.

Debo, T. N. & Reese, A. J. (1995). *Municipal Storm Water Management*. Lewis Publishers.

DGT (2019). *Plano Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT)*. Direção Geral do Território.

DREM (2020). *Saldo migratório mais positivo não evitou ligeira quebra da população residente na RAM*. Direção Regional de Estatística da Madeira. Disponível em: <https://estatistica.madeira.gov.pt/download-now/social/popcondsoc-pt/demografia-pt/demografia-noticias-pt/2065-14-06-2019-em-2018-o-saldo-migratorio-mais-positivo-nao-evitou-ligeira-quebra-da-populacao-residente-na-ram.html>. Acesso em: 10/02/2020.

EEA (2005). *Alterações climáticas e cheias fluviais na Europa*. Agência Europeia do Ambiente 2005/01, Copenhagen.

Fadigas, L. (2015). *Urbanismo e Território - As Políticas Públicas*; Editorial Estampa: Lisboa, Portugal.

Fadigas, L. (2017). *Território e Poder: O uso, as políticas e ordenamento*. Lisboa: Manuel Robalo.

Fernandes, M. J. P. (2009). *Riscos no Concelho da Ribeira Brava: Movimentos de vertente cheias rápidas e inundações*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Dinâmicas Sociais e Riscos Naturais pela Universidade de Coimbra.

Ferreira A. (1955). *O clima de Portugal. Açores e Madeira*. INMG, Fasc VIII, 64 pp.

Ferreira, C. W. & Lima, C. S. & Cavalcanti, L. C. S. & Santos, A. H. O. (2010). *Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do açude Cachoeira II, no município de Serra Talhada – PE, Brasil*. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra.

Franco, E. & Fill, H. (2004). *Dimensionamento de bacias de detenção das águas pluviais com base no método racional*. 2004. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pósgraduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

- Freitas, M. & Andrade, C. (2007). *Alterações Climáticas e Impactos na Linha de Costa*. XXIX Curso de Actualização de Professores em Geociências (pp. 35-43). Escola Superior de Educação de Lisboa.
- Gama, A. & Dimuccio, L. A. (s.d.). *Geomorfologia: a construção de uma identidade*. In: Riscos Naturais, Antrópicos e Mistos. p. 779-796.
- Gaspar, J. M. B. (1995). *O Novo Ordenamento do Território*. Geografia e Valores. Centro de Estudos Geográficos. Universidade de Lisboa.
- Gaspar, M. A. & Portela, M. M. (2002). *Contribuição para a caracterização dos recursos hídricos na ilha da Madeira*. Modelos para avaliação do escoamento superficial”. 6º Congresso da Água, Porto.
- Guedes, L. J. S. (2014). *Riscos de Cheias e inundações. Estudo de um caso: Esposende*. Trabalho escrito no âmbito da disciplina da UC de Geologia Ambiental, Lic. Em Geologia – UMinho, 2014/2015. Universidade do Minho.
- Gonçalves, J. (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 para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil pela Universidade da Madeira, Funchal, Portugal.
- Gonçalves, L. B.; Lousada, S. A. N. (2020). *Análise Probabilística de Cheias e o Uso de Bacias de Detenção como Medida Mitigadora: Aplicação à Bacia de Santa Luzia*. Revista Científica Monfragüe Desarrollo Resiliente, Volumen XIII, ISSN: 2340-5457.
- Gonçalves, L. B. & Lousada, S. A. N. & Cabezas, J. (2019). *Análise teórico-prática da precisão dos descarregadores retangulares e triangulares: Otimização das simulações à escala para os caudais em bacias de detenção*. Livro de Resumos, Universidade de Évora, Novembro de 2019. ISBN: 978-972-778-134-8.
- Guimarães, R. C. (2017). *Capítulo 2 - Bacia Hidrográfica*. In: Guimarães, R. C., Shahidian, S. e Rodrigues, C. M. (Editores). *Hidrologia Agrícola*, 2ª edição. ISBN: 978-989-8550-40-8. ECT e ICAAM. Évora, 5-22.
- Heezen, B. & Tharp, M. & Ewing, M. (1963). *The Floors of the Oceans, 1: The North Atlantic*. Geol. Soc. Am. Sp. Paper.
- Hipólito, J. R., & Vaz, Á. C. (2011). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. (J. J. Ramos, Ed.) (1a Edição., pp. 504–506; 513–520). Lisboa, Portugal: IST Press.
- Hiruma, S. T. & Ponçano, W. L. (1994). *Densidade de drenagem e sua relação com os fatores geomorfológicos na área do Alto Rio Pardo, SP e MG*. Rev. IG. São Paulo, 15(1/2), 49-57.
- Hough, M. (1998). *Naturaleza y ciudad: Planificación urbana y procesos ecológicos*. Barcelona: Gustavo Gilli.
- INSMART (2020). *Pluviógrafo*. Disponível em: <http://www.insmart.com.br/>
- IST (2018). *Hidrologia e Recursos Hídricos. Balanço hidrológico de uma bacia hidrográfica*. Lisboa: IST. Instituto Superior Técnico.

## Referências

- Inocêncio, V. A. A. (2015). *O Ordenamento do Território e o Sistema de Ordenamento do Território Português: Do Planeamento dos Recursos Hídricos ao Ordenamento e Gestão dos Recursos Aquícolas em Águas Interiores*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre de Estudos em Direito na Área de Especialização em Ciências Jurídico-Forenses. Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Justi Junior, J. (2013). *Interpretações Legais, Ambientais e Proposta Metodológica para Determinação do Regime de Fluxo de Canais de Drenagem nas Bacias Hidrográficas*. Dissertação de Mestrado. 125p. Curitiba-PR.
- Justi Junior, J. & Andreoli, C. V. (2015). *Uso de dados climáticos e hidrológicos como subsídio na determinação do regime de fluxo de canais de drenagem*. Revista Brasileira de Geomorfologia. Vol. 16, n. 1. ISSN: 2236-5664.
- Knorek, R. & Julião, R. P. (2017). *Ordenamento Territorial da União Europeia e o Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT) de Portugal*. VIII Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional. Territórios, Redes e Desenvolvimento Regional: Perspectivas e Desafios. Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.
- Lanna, A. E. (1993). *Elementos de Estatística e Probabilidades*. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.
- Larara, D. (2020). *Bacias hidrográficas, padrões de drenagem e delimitação de bacias*. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/293923/>
- Laughton, A. Roberts, D. G. & Graves, R. (1975). *Mid – Atlantic Ridge to Southwest Europe, Bathymetry of The Northeast Atlantic*. Tauton May, Londres. DOI: 10.1016/0011-7471(75)90084-4.
- LBPOTU (1998). *Lei de Bases da Política de Ordenamento do Território e de Urbanismo*. Lei n.º 48/98.
- Lehner, B. Döll, P. & Alcamo, J. & Henrichs, T. & Kaspar, F. (2006). *Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis*. Springer (2006): Climatic Change, 75: 273-299. DOI: 10.1007/s10584-006-6338-4.
- Lencastre, A. & Franco, F. M. (1992). *Lições de Hidrologia*. 2ª Edição. Lisboa: Universidade Nova. Faculdade de Ciências e Tecnologias. ISBN: 972-595-079-8.
- Lencastre A. & Franco F. M. (2003). *Lições de Hidrologia*. Fundação Armando Lencastre, Lisboa.
- Lencastre, A., & Franco, F. M. (2006). *Lições de Hidrologia*. 3ª edição revista. Lisboa: Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- Lima, H. M. & Silva, E. S. & Raminhos, C. (2006). *Bacias de retenção para gestão do escoamento: métodos de dimensionamento e instalação*. Revista Escola de Minas, Vol. 59. Brasil: Escola de Minas.
- Lima, W. P. (2008). *Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas*. USP. Piracicaba.
- Lopes, A. L. B. (2014). *Sanear, prever e embelezar”: o engenheiro Saturnino de Brito, o urbanismo sanitário e o novo projeto urbano do PRR para o Rio Grande do Sul (1908-1929)*. Porto Alegre: Armazém Digital, 2014
- Loureiro, J. J. M. (1984). *Monografia hidrológica da ilha da Madeira*. Recursos Hídricos 5 (2). 53-71.

- Lustrino, M. & Wilson, M. (2007). *The circum-Mediterranean anorogenic Cenozoic igneous province*. Earth Sci. Revi. 81, 1-65.
- Loures, L. (2011). *Planning and Design in Post-industrial Landscapes: East Bank Arade River – Lagoa, Case Study*. Ph.D Thesis. University of Algarve, Portugal.
- Lousada, S. A. N. & Camacho, R. (2018). *Hidrologia, recursos hídricos e ambiente - Aulas Teóricas*. Vol. I, ISBN 978-989-8805-33-1, Universidade da Madeira. 230 p.
- Mano, E. R. (2008). *Estudo de Bacias de Retenção como solução para situações crescentes de urbanização*. Dissertação elaborada para a obtenção do grau de Mestre pela Universidade do Porto..
- Martins, M. F. & Candido, G. A. (2012). *Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para Localidades: uma proposta metodológica de construção e análise*. Revista de Gestão Social e Ambiental. ISSN: 1981-982X. DOI: 10.5773/rgsa.v6i1.229
- Mata J., (1996). *Petrologia e Geoquímica das lavas da ilha da Madeira: implicações para os modelos de evolução mantélica*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Geologia, Lisbon University, 471 pp.
- Mata, J. & Fonseca, P. E. & Prada, S. & Rodrigues, D. & Martins, S. & Ramalho, R. & Madeira, J. & Cachão, M. & Silva, C. M. & Matias, M. J. (2013). *O arquipélago da Madeira*. Geologia de Portugal II – Geologia Meso-cenozóica de Portugal. Editores: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha & Kullberg. Escolar Editora.
- Matias, M. G. (2006). *Bacias de Retenção estudo e métodos de dimensionamento*. Dissertação elaborada para a obtenção do grau de Mestre pela Universidade do Porto.
- Mendes, A. (2020). *Cheia do Rio Itapemirim*. Disponível em: <https://www.folhavitoria.com.br/geral/noticia/01/2020/cachoeiro-e-atingido-por-uma-das-maiores-enchentes-de-sua-historia>
- Merlin, P. & Choay, F. (2000). *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*. Presses universitaires de France.
- 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.
- Moreira, A. & Ramos, M. (2016). *Alterações climáticas e suas consequências: deslocamentos populacionais forçados*. The Overarching Issues of the European Space. Rethinking Socioeconomic and Environmental Problems, Porto. pp. 203-219.
- Mota, S. (1995). *Preservação e conservação de recursos hídricos*. 2. Ed. Rio de Janeiro: ABES.
- Moura, A. D. S. (2019). *Canais Artificiais e a sua Influência em Processos de Planeamento Urbano e Ordenamento Territorial*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil pela Universidade da Madeira.
- Nakazone, L. M. & Porto, R. L. L (2005). *Implantação de reservatórios de detenção em conjuntos habitacionais: a experiência da CDHU*. 2005. 287 f. Dissertação elaborada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil pela Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

## Referências

Nascimento, S. L. R. (1990). *Estudo Hidrogeológico do Paul da Serra*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre pela Universidade de Lisboa. 147 pp.

NC Division of Water Quality (2005). *Identification Methods for the Origins of Intermittent and Perennial streams*. Version 3.1. North Carolina Department of Environment and Natural Resources, Division of Water Quality. Raleigh, NC. Disponível em <http://h2o.enr.state.nc.us/ncwetlands/regcert.html>

National Geographic Portugal (2010). *Inundação na Ilha da Madeira*. Disponível em: <https://nationalgeographic.sapo.pt/natureza/grandes-reportagens/26-foto-do-dia/1127-o-tempo-anda-louco>

Néry, F. (2007). *Nomenclatura CORINE Land Cover: versão portuguesa comentada*. Instituto Geográfico Português. Lisboa.

Nesbitt, T. H. D. (1990). *Environmental planning & environmental/social ia methodology in the cross-cultural context*. Impact Assessment, 8(3): 33-43. DOI: 10.1080/07349165.1990.972653.0

Nunes, N. & Grilo, A. & Aguiar, C. & Quintal, L. & Lencastre, P. & Catanho, V. (2014). *Madeira 2020: Estratégia Regional de Especialização Inteligente*. Agência Regional para o Desenvolvimento da Investigação, Tecnologia e Inovação (ARDITI).

Oliveira, F. P. (2009). *Portugal: Território e Ordenamento, Almedina*. p. 8.

Oliveira, R. P. & Almeida, A. B. & Sousa, J. & Pereira, M. J. & Portela, M. M. & Coutinho, M. A. & Ferreira, R. & Lopes, S. (2010). *A Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira*. Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georecursos, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.

Parkinson, J. & Milograna, J. & Campos, L. C. & Campos, R. (2003). *Drenagem urbana sustentável no Brasil*. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, Loughborough University, 2003. (Relatório do workshop de 7 de maio de 2003).

Partidário, M. R. (1999). *Introdução ao Ordenamento do Território*. Universidade Aberta, Lisboa.

Pereira, M. (1997). *Os planos de Ordenamento do território: complementaridades e conflitos, Sociedade e Território*. Porto. 24: 73-78.

PGRI-RAM (2017). *Plano de Gestão de Riscos de Inundações da Região Autónoma da Madeira*. Relatório Técnico Resumido.

Porto Editora (2019). *Formação da chuva orográfica*. Disponível em: <https://www.apontamentosnanet.com/tipos-de-chuva-chuvas-orograficas-ou-relevo/>

Porto, R. L. & Filho, K. Z. & Tucci, C. E. M. & Bidone, F. (1993). *Drenagem Urbana*. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.

Prada, S. & Gaspar, A. & Sequeira, M. M. & Nunes, A. (2005). *Disponibilidades Hídricas na Ilha da Madeira*. In Book: AQUAMAC – Técnicas e métodos para a gestão sustentável da água na Macaronésia, Chapter: Disponibilidades Hídricas na Ilha da Madeira, Publisher: Instituto Tecnológico das Canarias, Cabildo de Lanzarote, Consejo Insular de Aguas de Lanzarote, Editors: Instituto Tecnológico de Canarias, pp. 261-294.

- Prada S & Serralheiro A (2000). *Stratigraphy and Evolutionary Model of Madeira Island*. Bocaçiana 200: 13 pp. Museu Municipal Funchal (Madeira).
- Quintal, R. (1999). *Aluviões na Madeira – desde o Século XIX*. Territorium, 6, 2-28.
- Quintela, A. C. (1982). *Hidráulica*. 2ª Edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Quintela, A. C. (2005). *Hidráulica*. 7ª Edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Raig (2020). *Pluviómetro de 40 litros*. Disponível em: <https://pt.raig.com/regenmesser-pluviometro-de-40-litros-em-plastico-bb26/>
- Ramos, C. (2009). *Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território*. SLIF-6. Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa. ISBN: 978-972-636-195-4.
- 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.
- Rennó, C. D. & Soares, J. V. (s.d.). *Conceitos básicos de modelagem hidrológica*. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap2\\_modelos\\_hidrologicos.pdf](http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap2_modelos_hidrologicos.pdf)
- Rocha, J. (1998). *O risco das inundações e a sua gestão*. Uma visão nacional e uma visão europeia, 4.º Congresso da Água – A água como recurso estruturante do desenvolvimento, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Lisboa.
- RJIGT – Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial.
- Rodrigues, C. & Guimarães, R. C. & Moreira, M. (2011). *Apontamentos para as aulas de Hidrologia – Departamento de Engenharia Rural*. Universidade de Évora.
- Santos, C. A. e Sobreira, F. G. (2008). *Análise morfológica como subsídio ao zoneamento territorial: o caso das bacias do Córrego Carioca, Córrego do Baçõ e Ribeirão do Carioca na região do Alto Rio das Velhas-MG*. R. Esc. Minas. n.61(1) p.77-85. Ouro Preto.
- Santos, M. C. (2002). *Águas revoltas: histórias das enchentes em Santo André*. Santo André: Semasa. PMSA.
- Santos, R. A. (2015). *Cálculo da chuva intensa pelo método das Isozonas para cidades do estado da Paraíba*. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. Santa Maria, v. 19, n. 2, mai-ago, p. 1134-1343.
- Silva, J. (2003). *Areia de Praia da Ilha do Porto Santo: Geologia, Génese, Dinâmica e Propriedades Justificativas do seu Interesse Medicinal*. 1ª Edição, Porto Santo.
- Silveira, A. L. & Louzada, J. A. & Beltrame, L. (1993). *Infiltração e Armazenamento no Solo*. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.
- Silva, C. S. & Santiago, A. (2007). *Urbanização e Inundação: Conflitos e Possibilidades*. Paisagem Ambiente: Ensaios n. 24 – São Paulo. pp. 327-334.
- Silveira, A. L. L. (1993). *Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica*. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.

## Referências

- Soares, F. B. & Piroli, E. L. (2019). *Análise da hipsometria e da declividade da bacia hidrográfica do Rio Pardo (São Paulo, Brasil) como subsídio para o planejamento ambiental da área*. XVIII-SBGFA: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Sousa, F. (2020). *Tipos de chuva*. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/tipos-chuva.htm>.
- Sousa, M. M. & Oliveira, W. (2017). *Análise morfológica da rede de drenagem do Alto Juruá/AC, extraída de MDE-SRTM*. Caminhos de Geografia, vol. 18, n, 61, Uberlândia. pp. 44-64.
- Souza, C. (2015). *Controlo da Segurança Hidráulico-Operacional da Barragem do Aproveitamento Hidroelétrico de Rebordelo*. Dissertação para satisfação parcial dos requisitos de grau de Mestre em Engenharia Civil, Universidade do Porto.
- SRA-DROTA (2017). *Identificação das Zonas Críticas a Cartografar Considerando os Impactos da Ocorrência de Inundações (Com Risco Potencial Significativo)*. Secretaria Regional do Ambiente e Direção Regional de Ordenamento do Território e Ambiente.
- SRETC, 2016. *Estratégia para o Turismo da Madeira: 2017-2021*. Secretaria Regional da Economia, Turismo e Cultura. Região Autónoma da Madeira.
- Strahler A. N. (1964). *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. Section 4 – II, in Chow, Ven Te; Maidment, D. R; Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York.
- Studart, T. M. C. (2006). *Apostila Hidrologia*. UFC. Fortaleza – CE.
- Suguió, K. e Bigarella, J. J. (1979). *Ambiente Fluvial: Ambientes de sedimentação sua interpretação e importância*. Curitiba.
- Suguió, K. & Martin, L. & Flexor, J. M. (1988). *Quaternary sea-levels of the brazilian coast: recent progress*. Episodes, 11: 203-208.
- Teodoro, V. L. & Teixeira, D. & Costa, J. L. D. & Fuller, B. B. (2007). *O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local*. Revista Brasileira Multidisciplinar – ReBraM. ISSN: 2527-2675.
- Tonello, K. C. (2005). *Análise Hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG*. Dissertação elaborada para a obtenção do grau de Mestre pela Universidade Federal de Viçosa, UFV.
- Tschiedel, A. & Pickbrenner, K. & Marcuzzo, F. F. N. (2012). *Análise hidromorfológica da sub-bacia 87*. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 11, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABRH.
- Tucci, C. E. M. (1993a). *Controle de Enchentes*. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.
- Tucci, C. E. M. (1993b). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.
- Tucci, C. E. M. (1993c). *Vazão máxima e hidrograma de projeto*. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.

Tucci, C. E. M. & Porto, R. L. & Barros, M. T. (1995). *Drenagem Urbana*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 414p.

Vasconcelos, E. L. N. (2019). *Concessão de Projeto e Gestão Otimizada de um Sistema de Rega. Aplicação à RAM*. Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil pela Universidade da Madeira. 142 p.

Vieira, I. L. S. (2014). *Análise de Bacias de Retenção*. Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil pela Universidade da Madeira, Funchal.

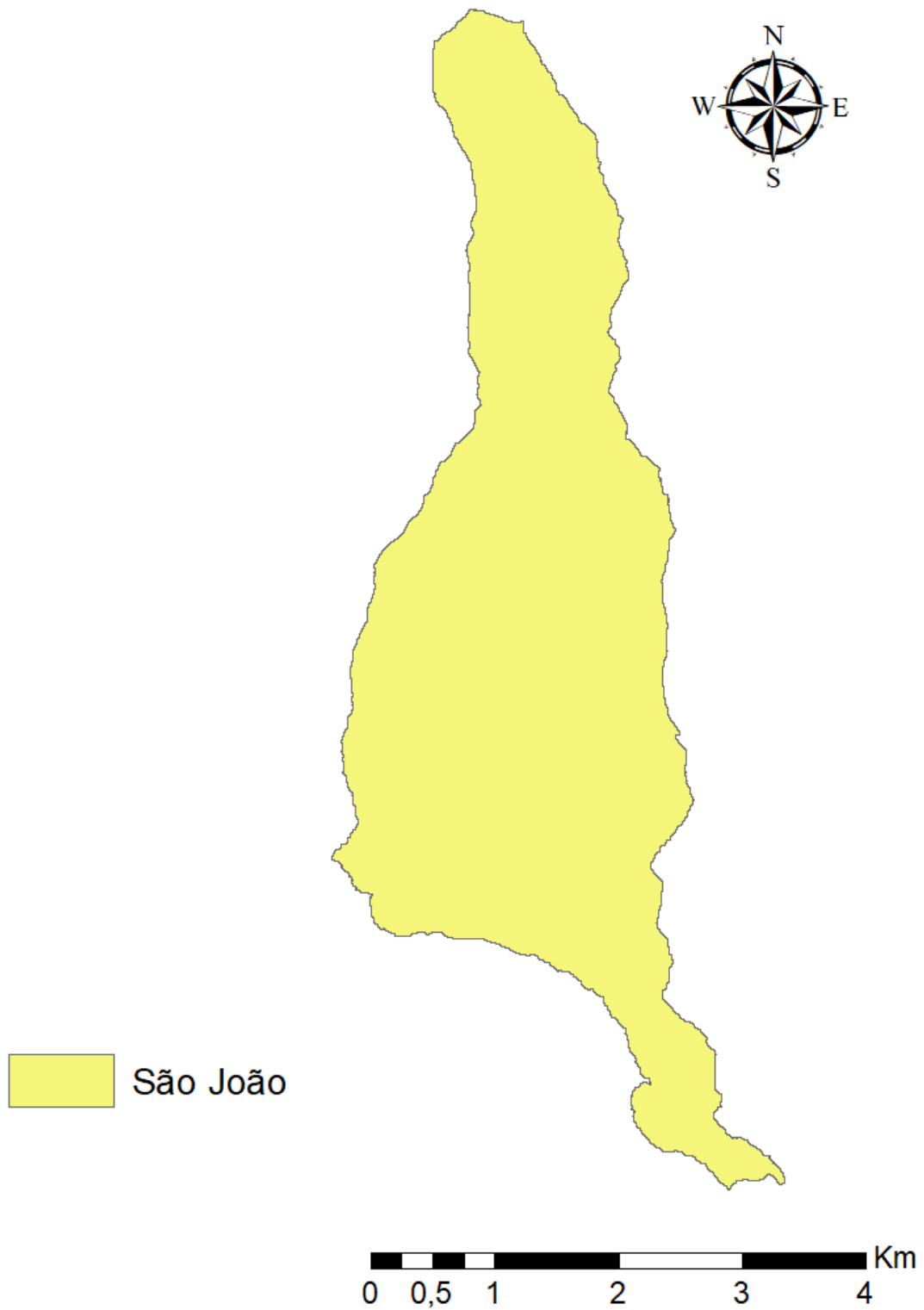
Vieira, I. L. S. & Barreto, V. & Figueira, C. & Lousada, S. & Prada, S. (2016). *The use of detention basins to reduce flash flood hazard in small and steep volcanic watersheds – a simulation from Madeira Island*. Journal of Flood Risk Management. DOI: 10.1111/jfr3.12285

Villela, S. M. & Mattos, A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. Editora Mc Graw Hill, São Paulo. 245p.

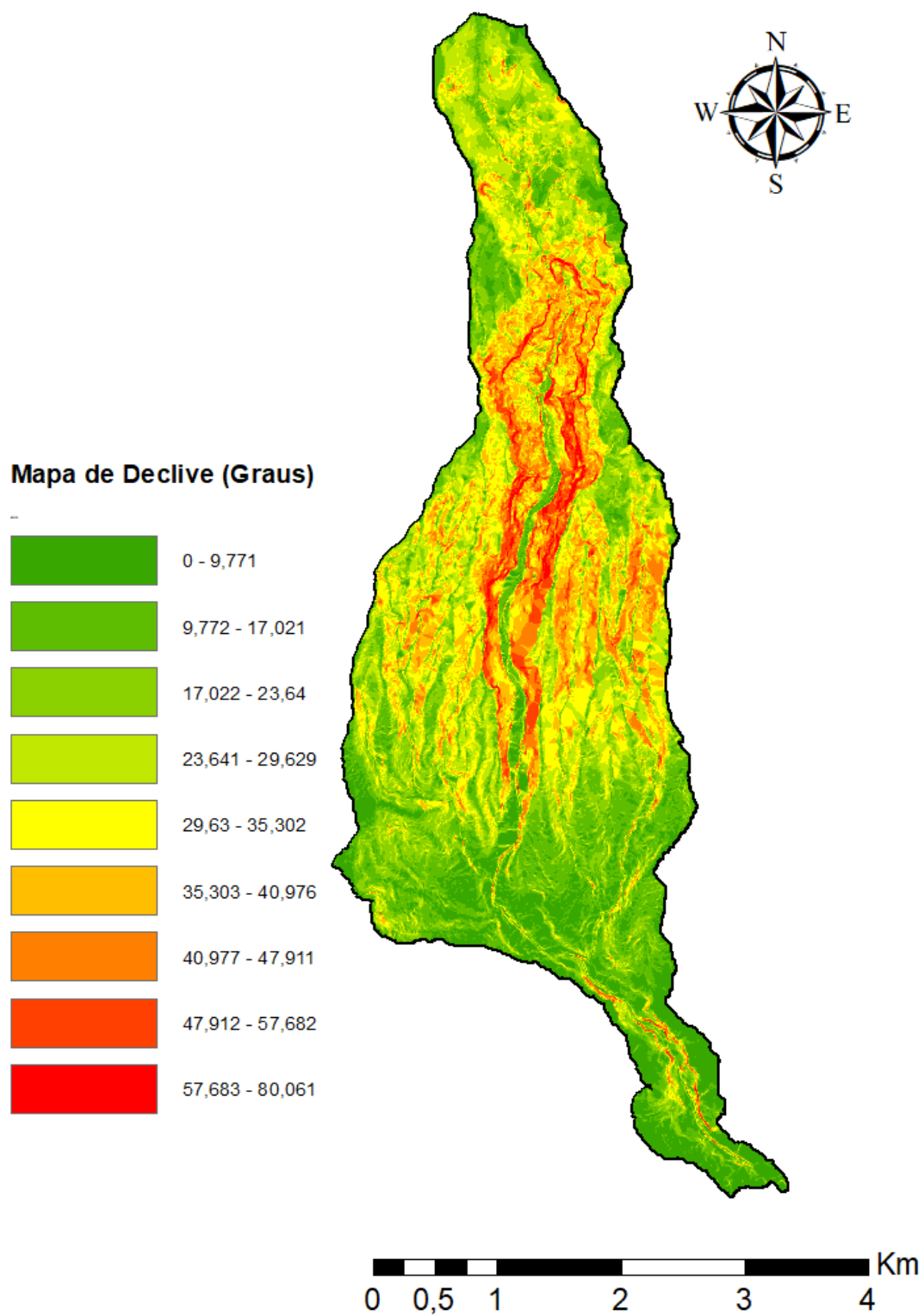
Warner, K. & Hamza, M. & Oliver-Smith, A. Renaud , F. & Julca, A. (2008). *Climate change, environmental degradation and migration*. Nat Hazards, 55 (3), 689-715.



ANEXOS



**Figura - A 1 - Bacia hidrográfica de São João. (Fonte: Autor).**



**Figura - A 2 - Mapa de declive em graus da bacia de São João. (Fonte: Autor, 2020).**

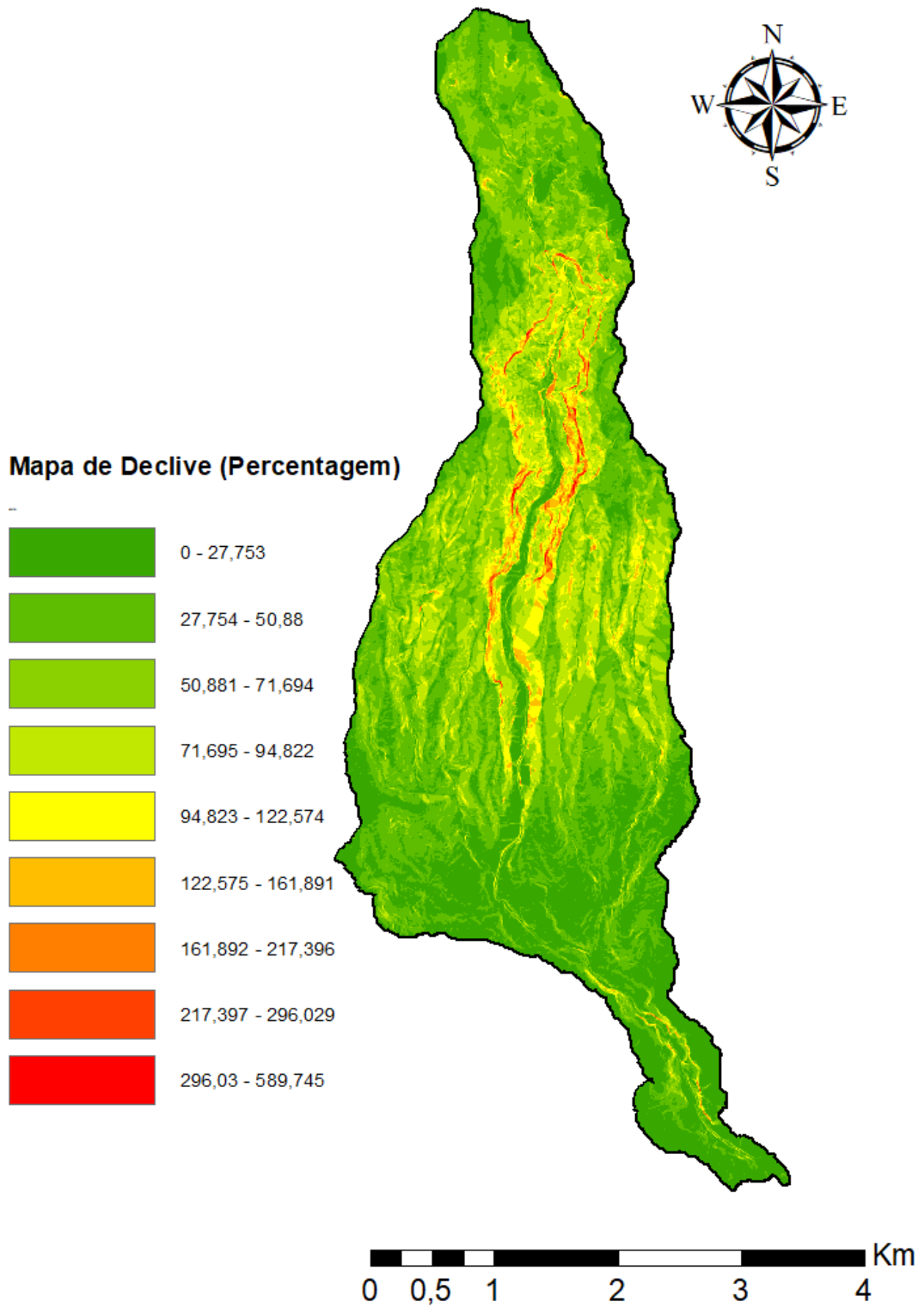


Figura - A 3 - Mapa de declive em percentagem da bacia de São João. (Fonte: Autor, 2020).

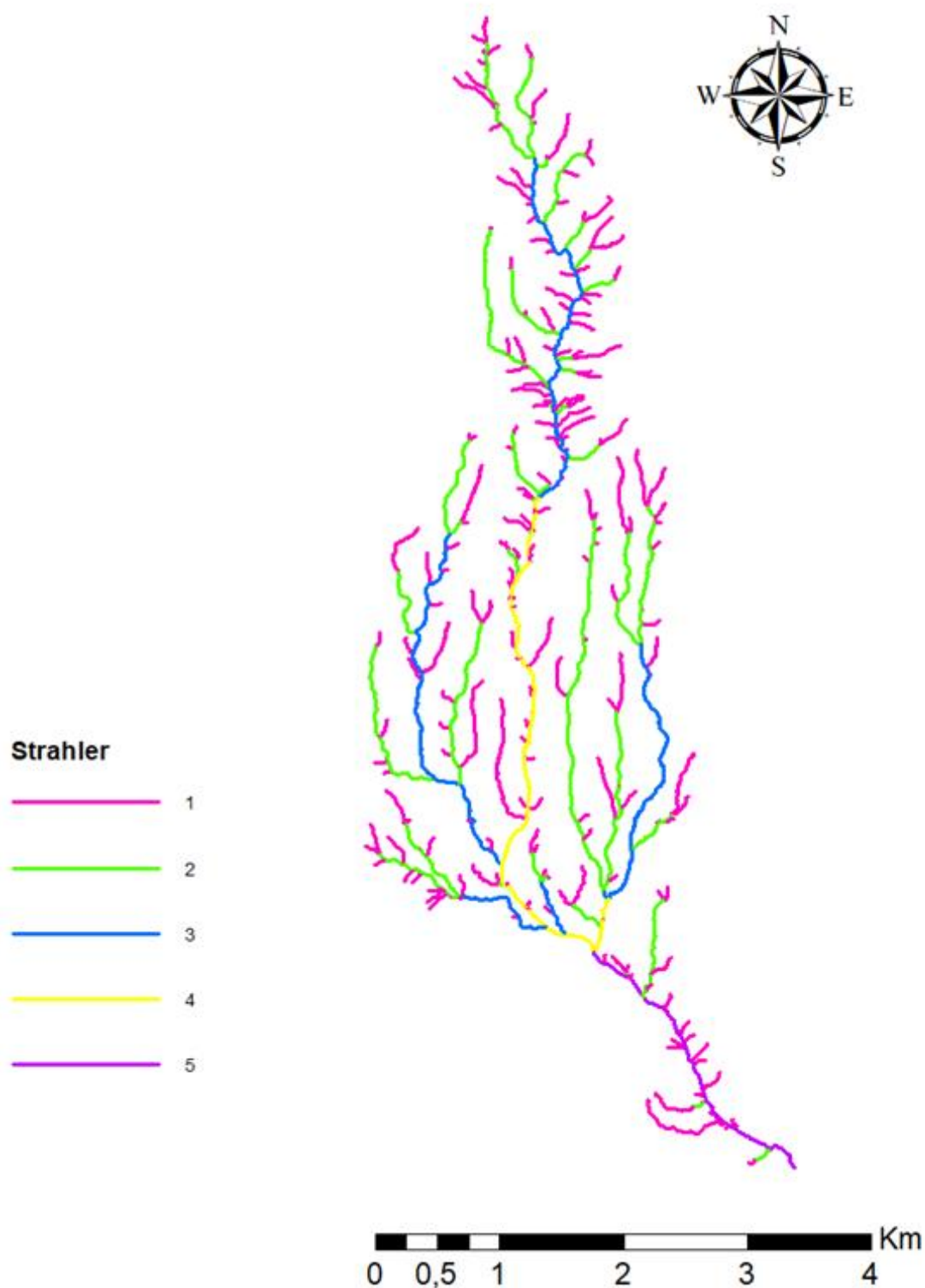


Figura - A 4 - Classificação de Strahler da bacia de São João. (Fonte: Autor, 2020).

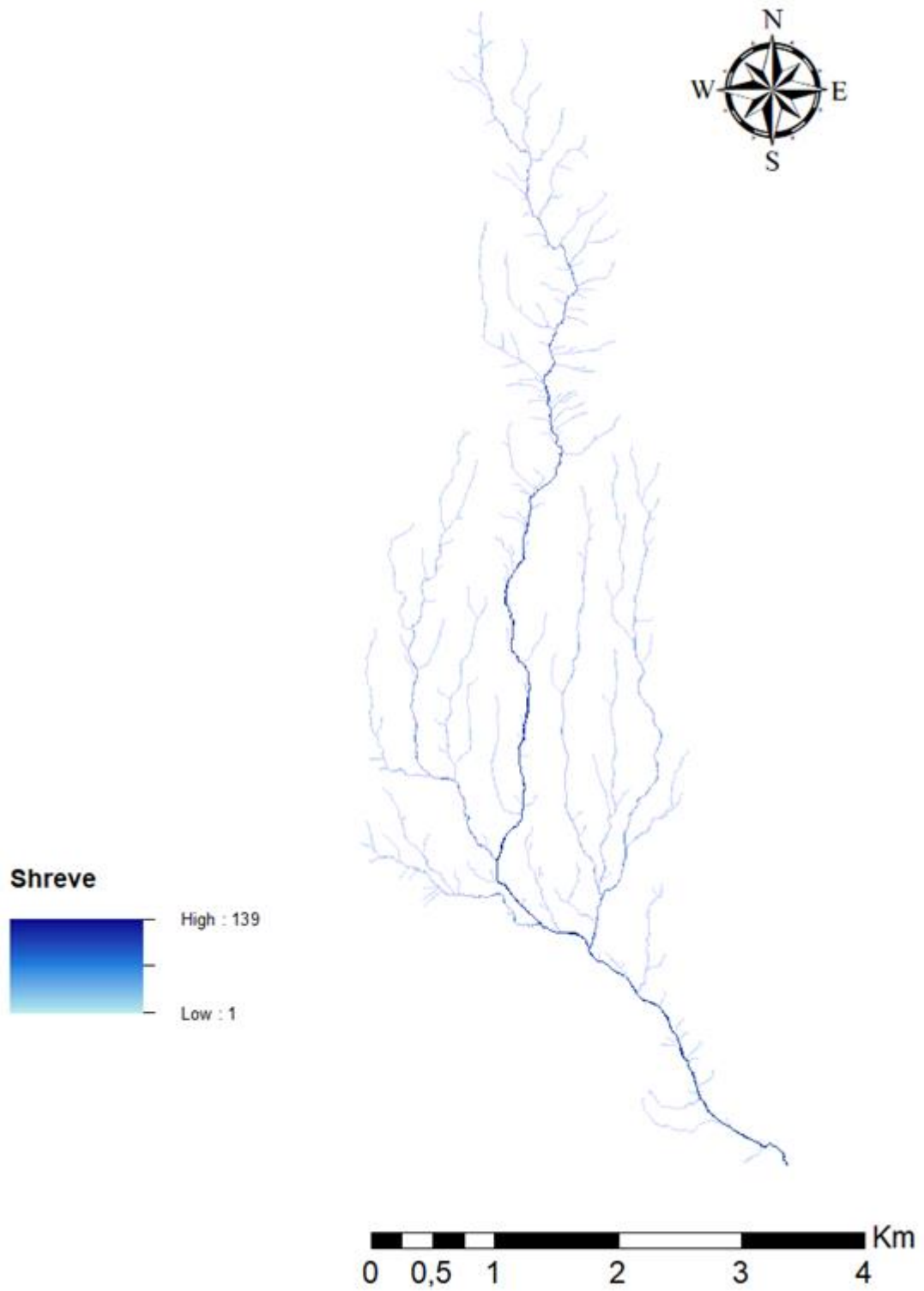
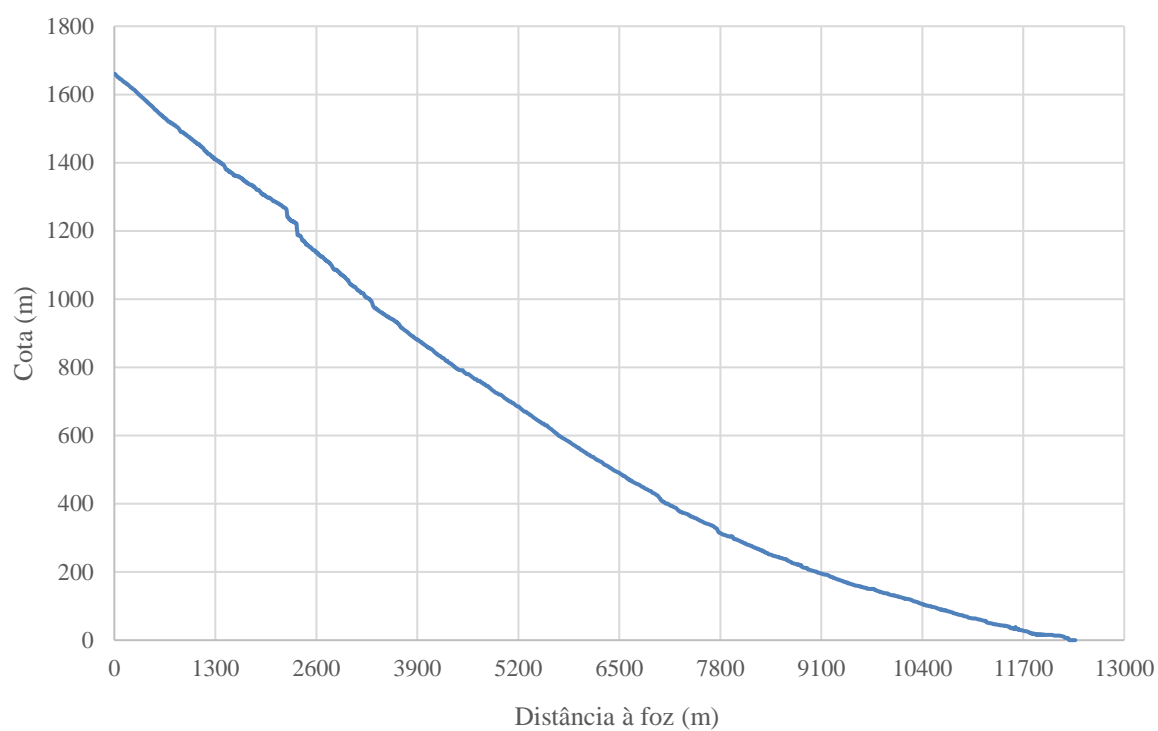
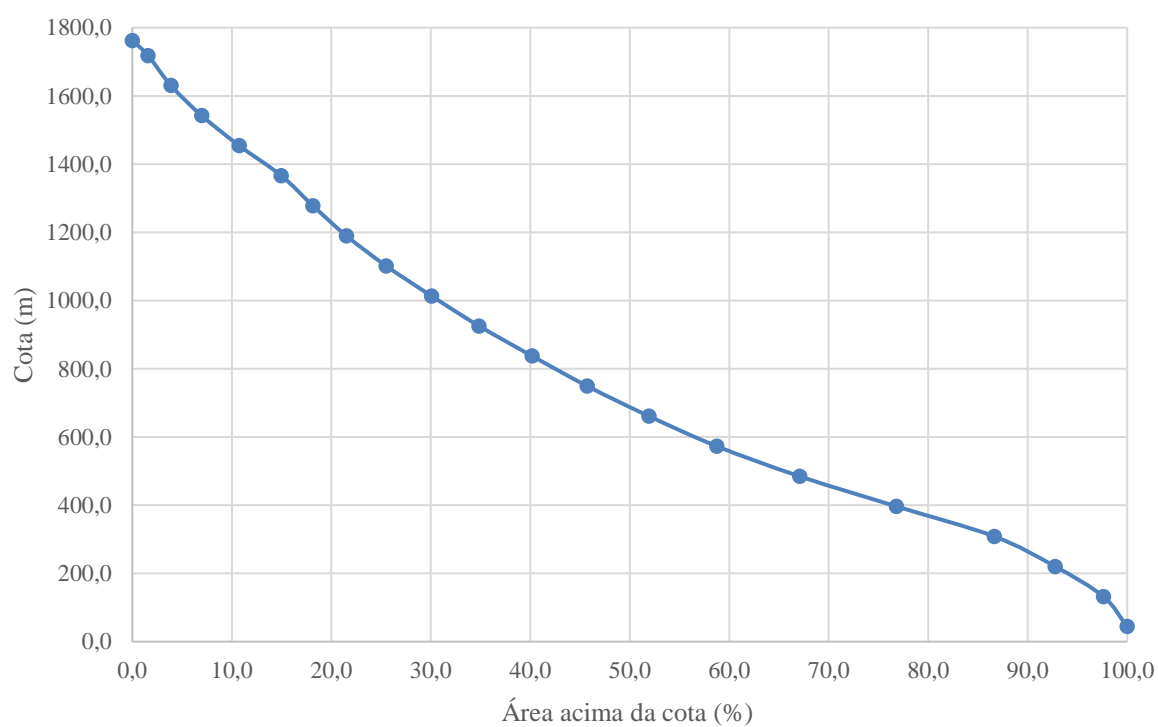


Figura - A 5 - Classificação de Shreve da bacia de São João. (Fonte: Autor, 2020).



**Figura - A 6 - Perfil longitudinal do curso de água principal da bacia de São João. (Fonte: Autor, 2020).**



**Figura - A 7 - Curva hipsométrica da bacia de São João. (Fonte: Autor, 2020).**

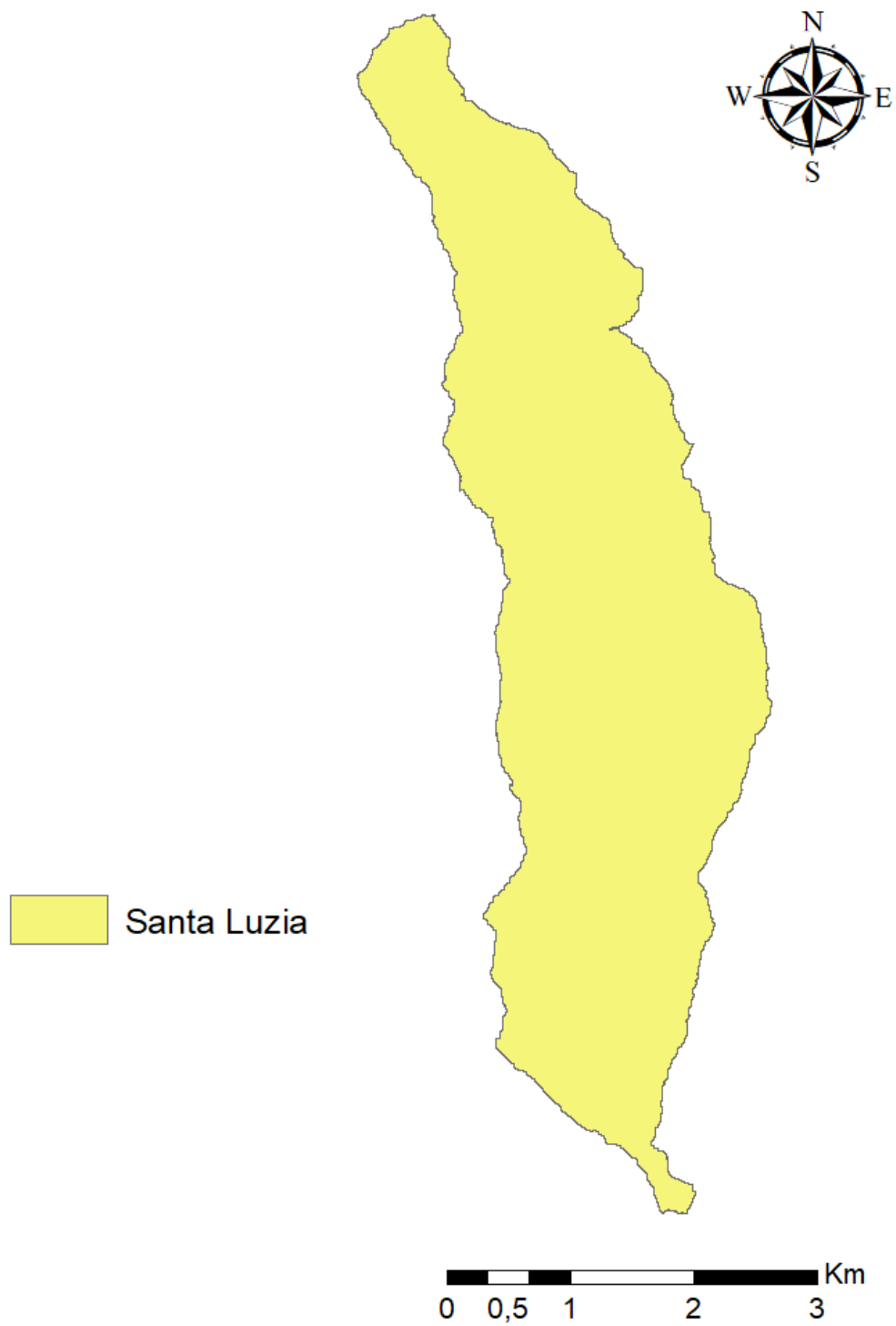


Figura - A 8 - Bacia hidrográfica de Santa Luzia. (Fonte: Autor, 2020).

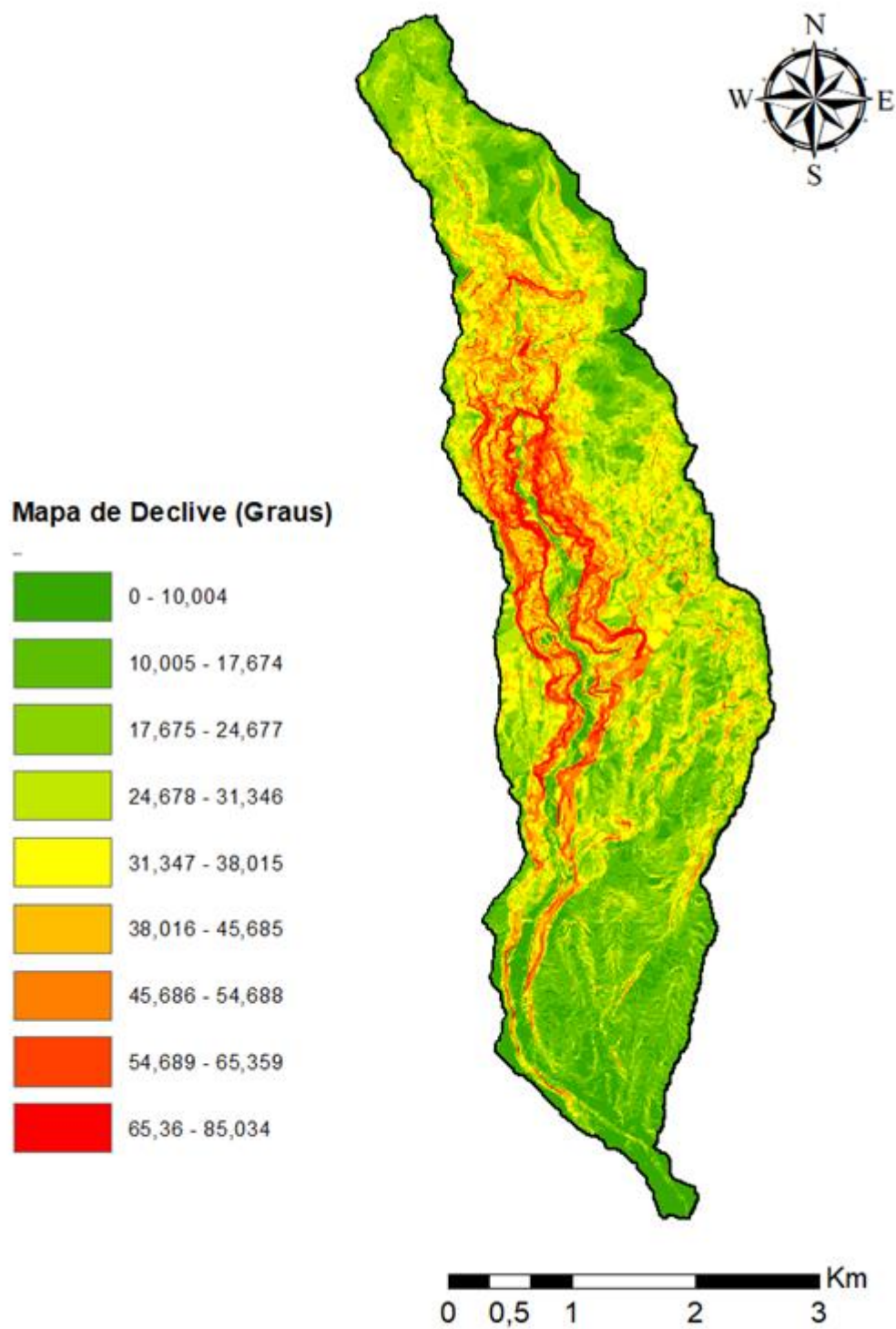


Figura - A 9 - Mapa de declive em graus da bacia de Santa Luzia. (Fonte: Autor, 2020).

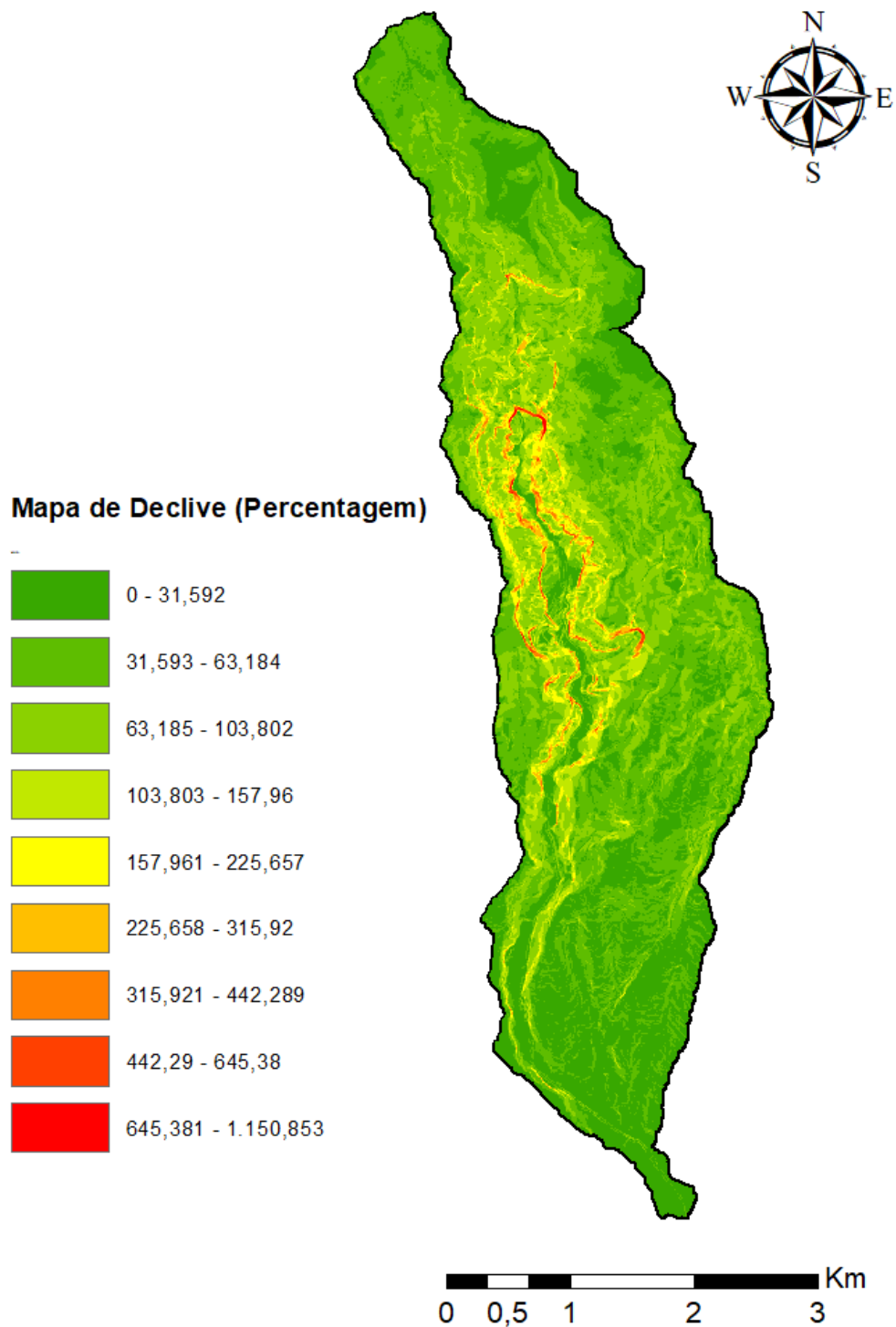


Figura - A 10 - Mapa de declive em porcentagem da bacia de Santa Luzia. (Fonte: Autor, 2020).

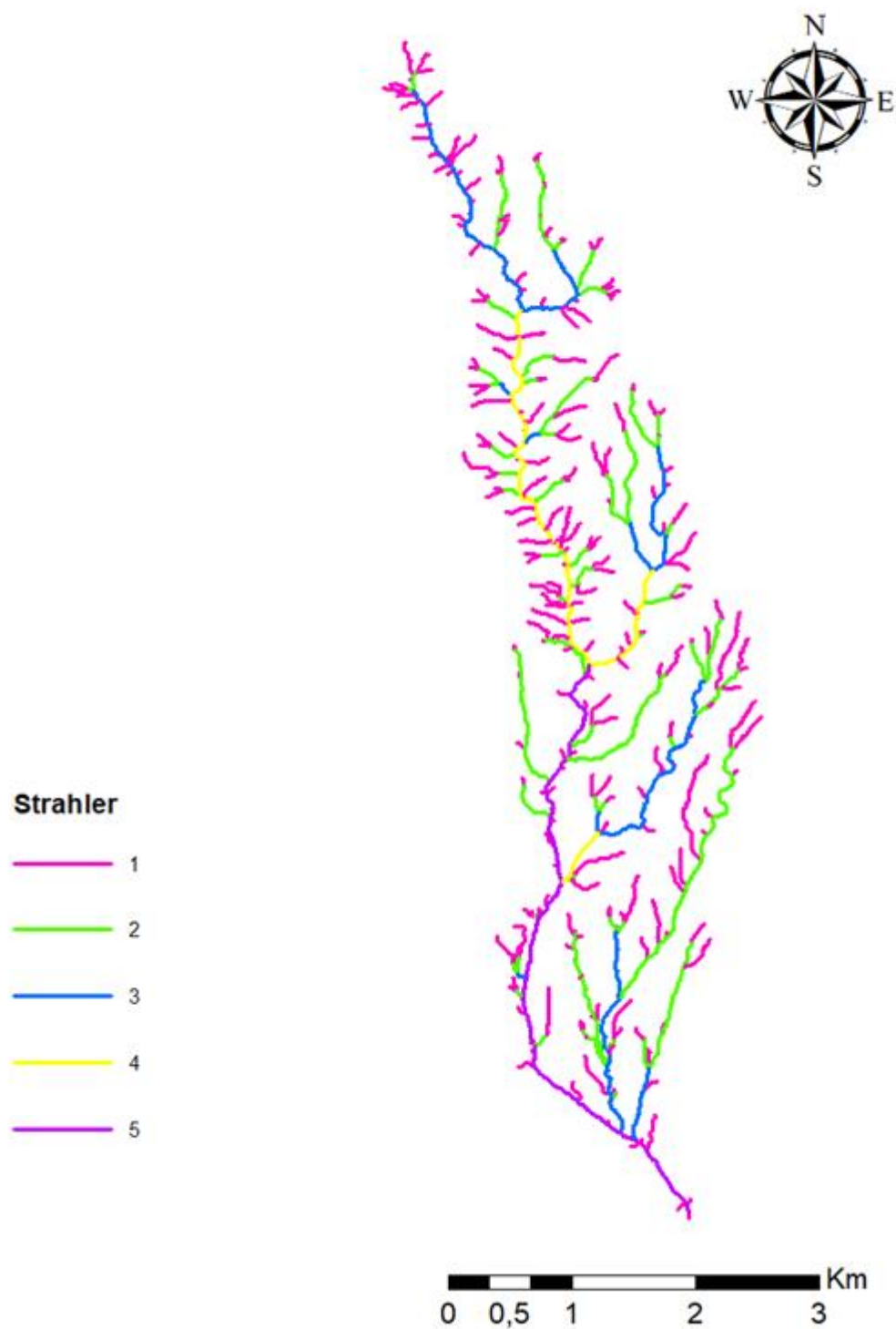


Figura - A 11 - Classificação de Strahler da bacia de Santa Luzia. (Fonte: Autor, 2020).

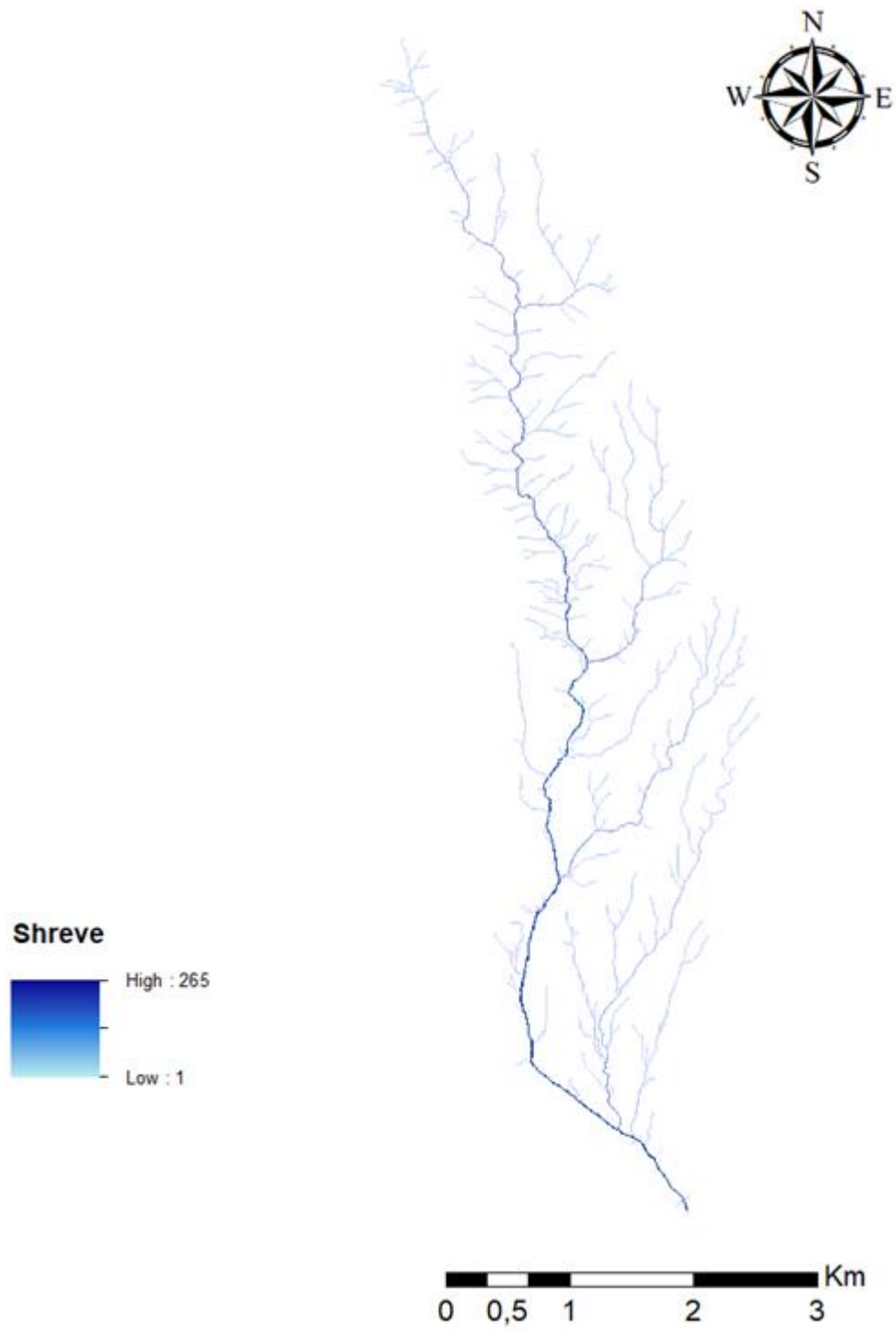
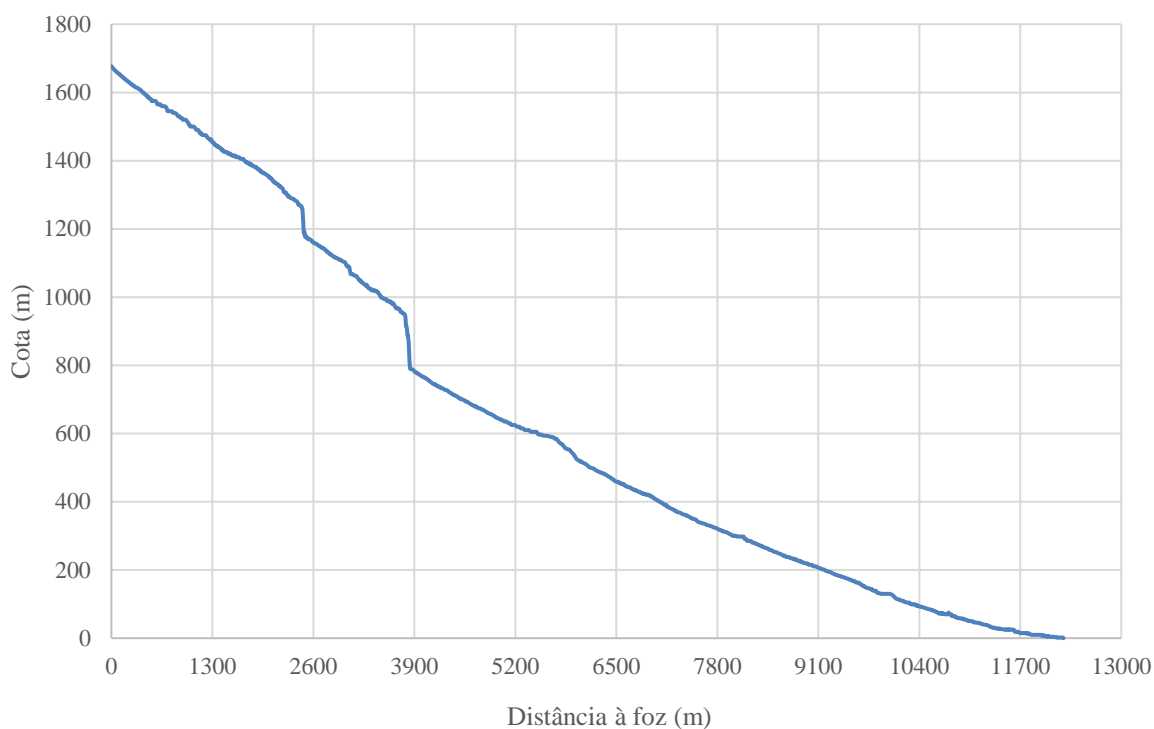
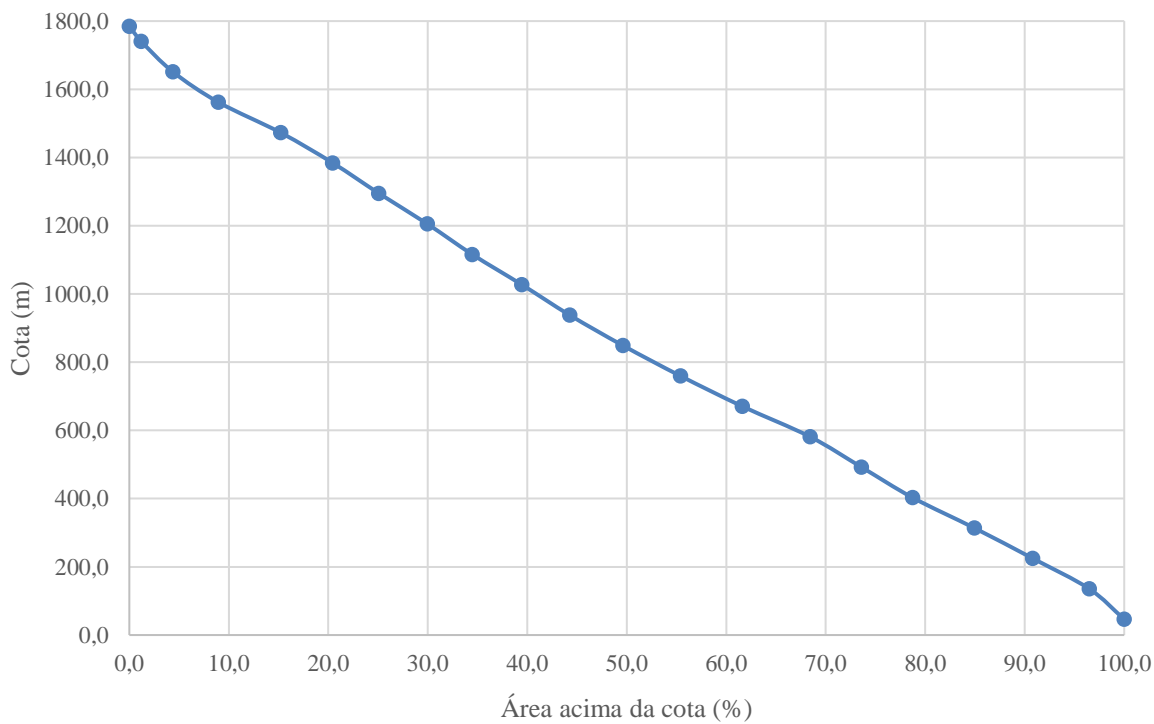


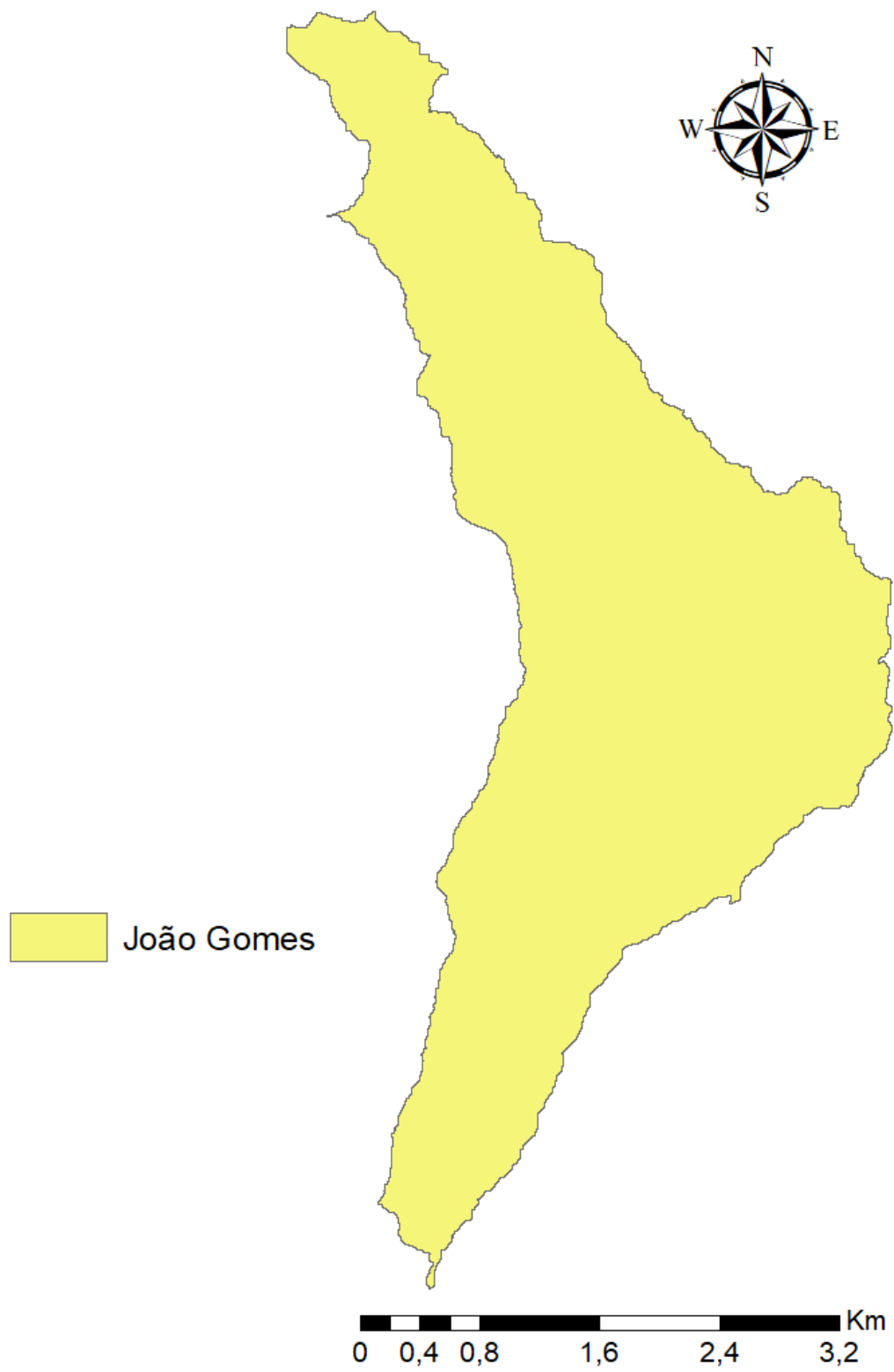
Figura - A 12 - Classificação de Shreve da bacia de Santa Luzia. (Fonte: Autor, 2020).



**Figura - A 13 - Perfil longitudinal do curso de água principal da bacia de Santa Luzia. (Fonte: Autor, 2020).**



**Figura - A 14 - Curva hipsométrica da bacia de Santa Luzia. (Fonte: Autor, 2020).**



**Figura - A 15 - Bacia hidrográfica de João Gomes. (Fonte: Autor, 2020).**

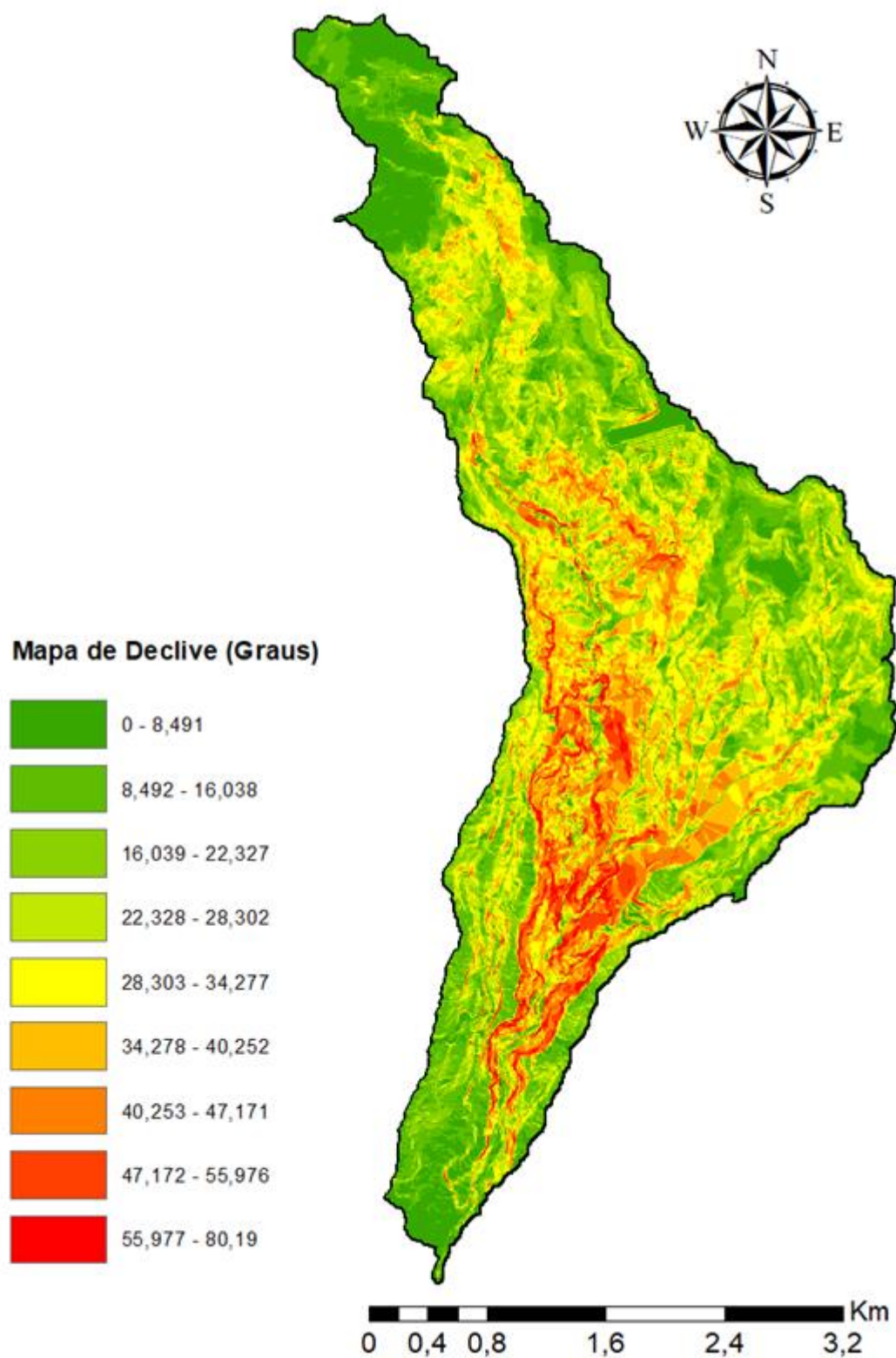


Figura - A 16 - Mapa de declive em graus da bacia de João Gomes. (Fonte: Autor, 2020).

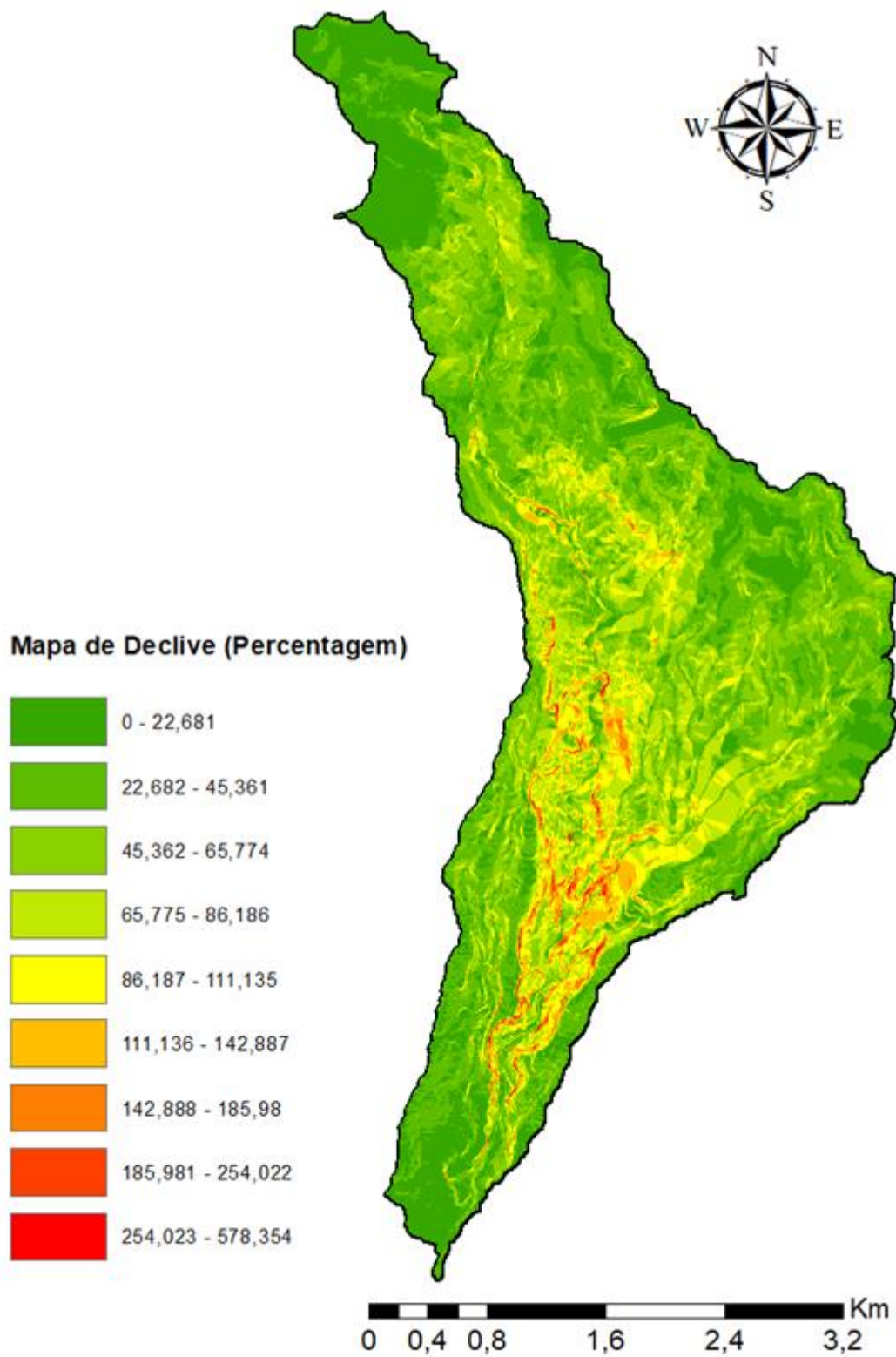


Figura - A 17 - Mapa de declive em percentagem da bacia de João Gomes. (Fonte: Autor, 2020).

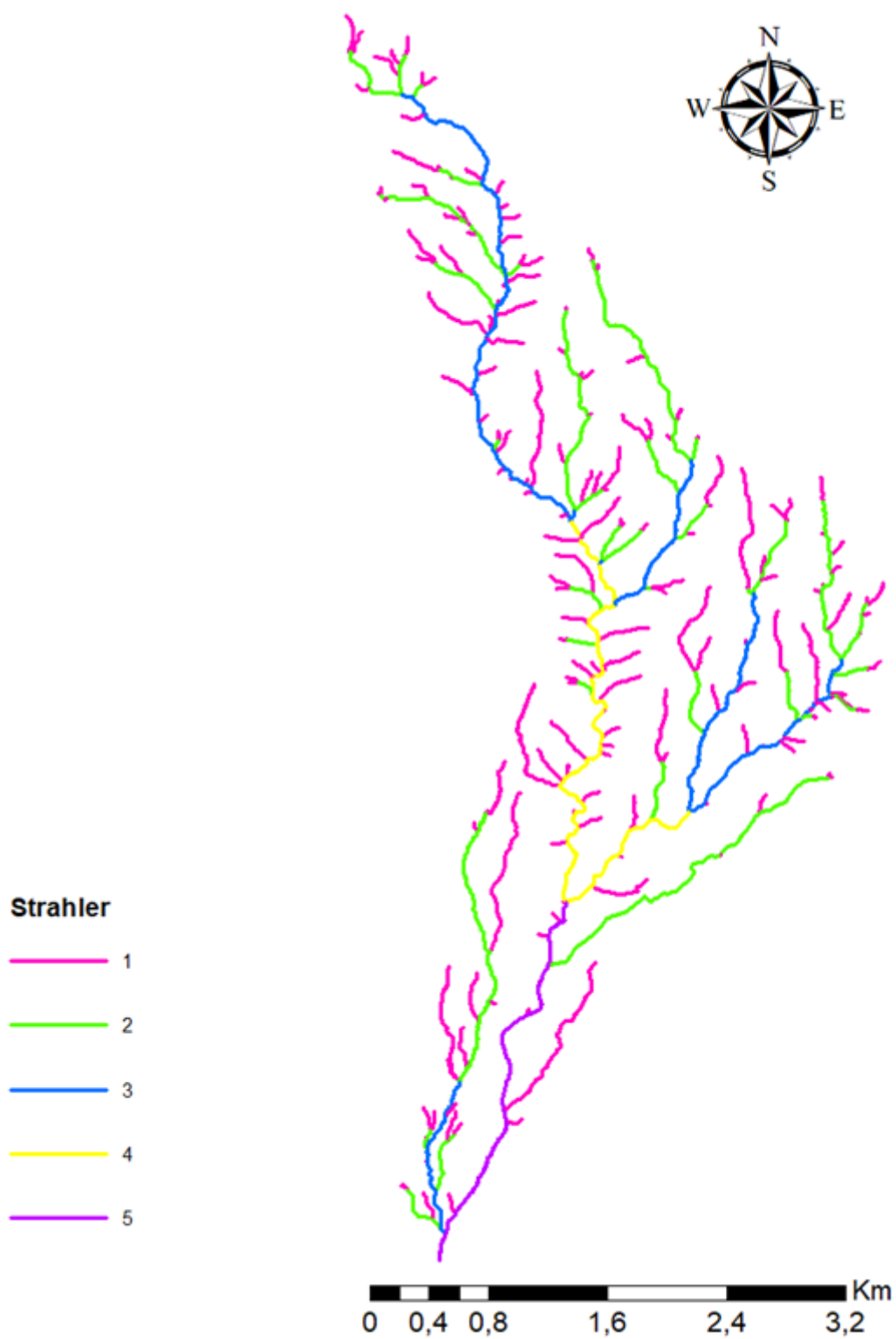


Figura - A 18 - Classificação de Strahler da bacia de João Gomes. (Fonte: Autor, 2020).

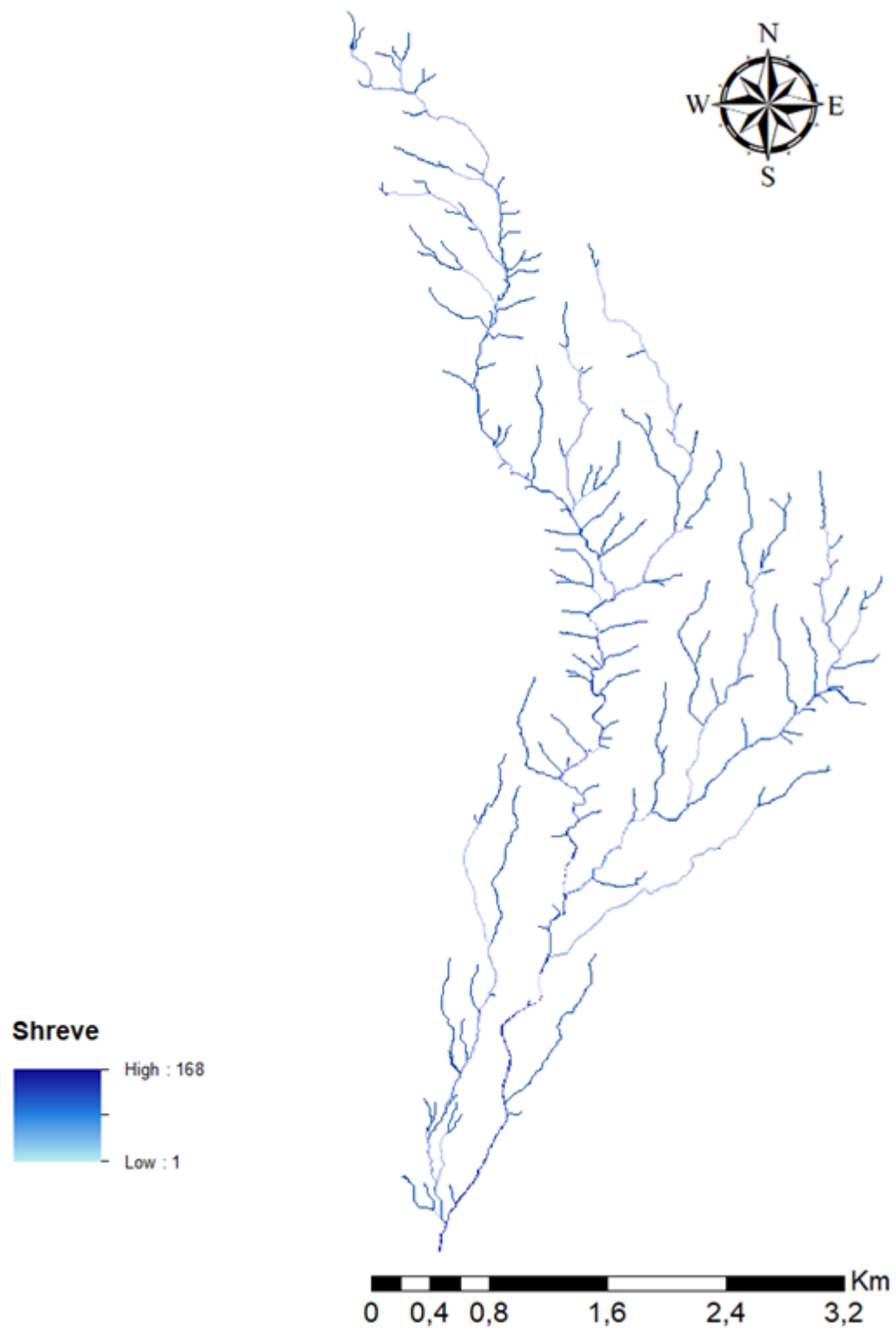
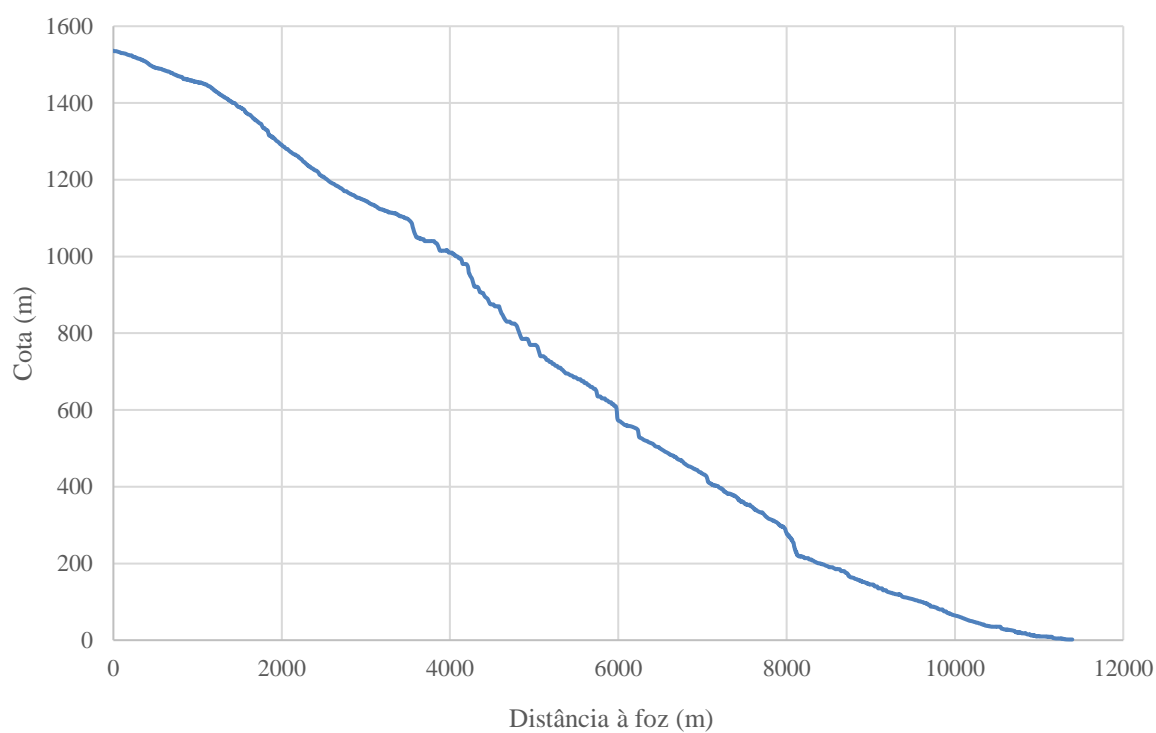
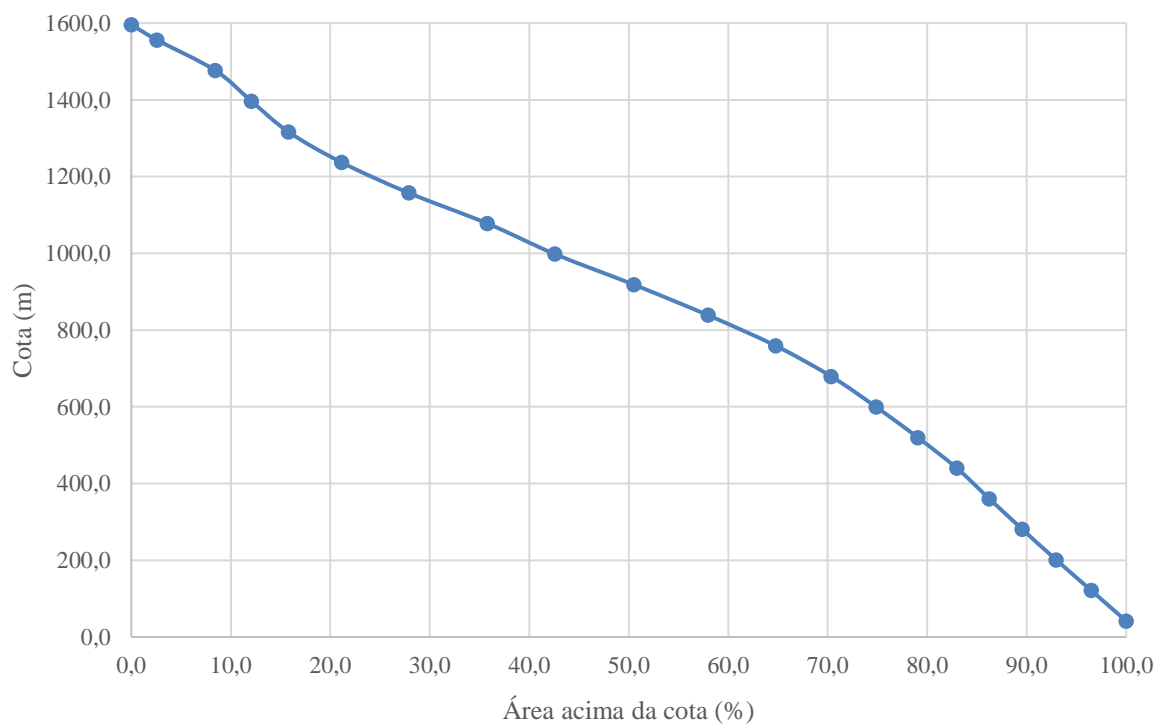


Figura - A 19 - Classificação de Shreve da bacia de João Gomes. (Fonte: Autor, 2020).



**Figura - A 20 - Perfil longitudinal do curso de água principal da bacia de João Gomes. (Fonte: Autor, 2020).**



**Figura - A 21 - Curva hipsométrica da bacia de João Gomes. (Fonte: Autor, 2020).**

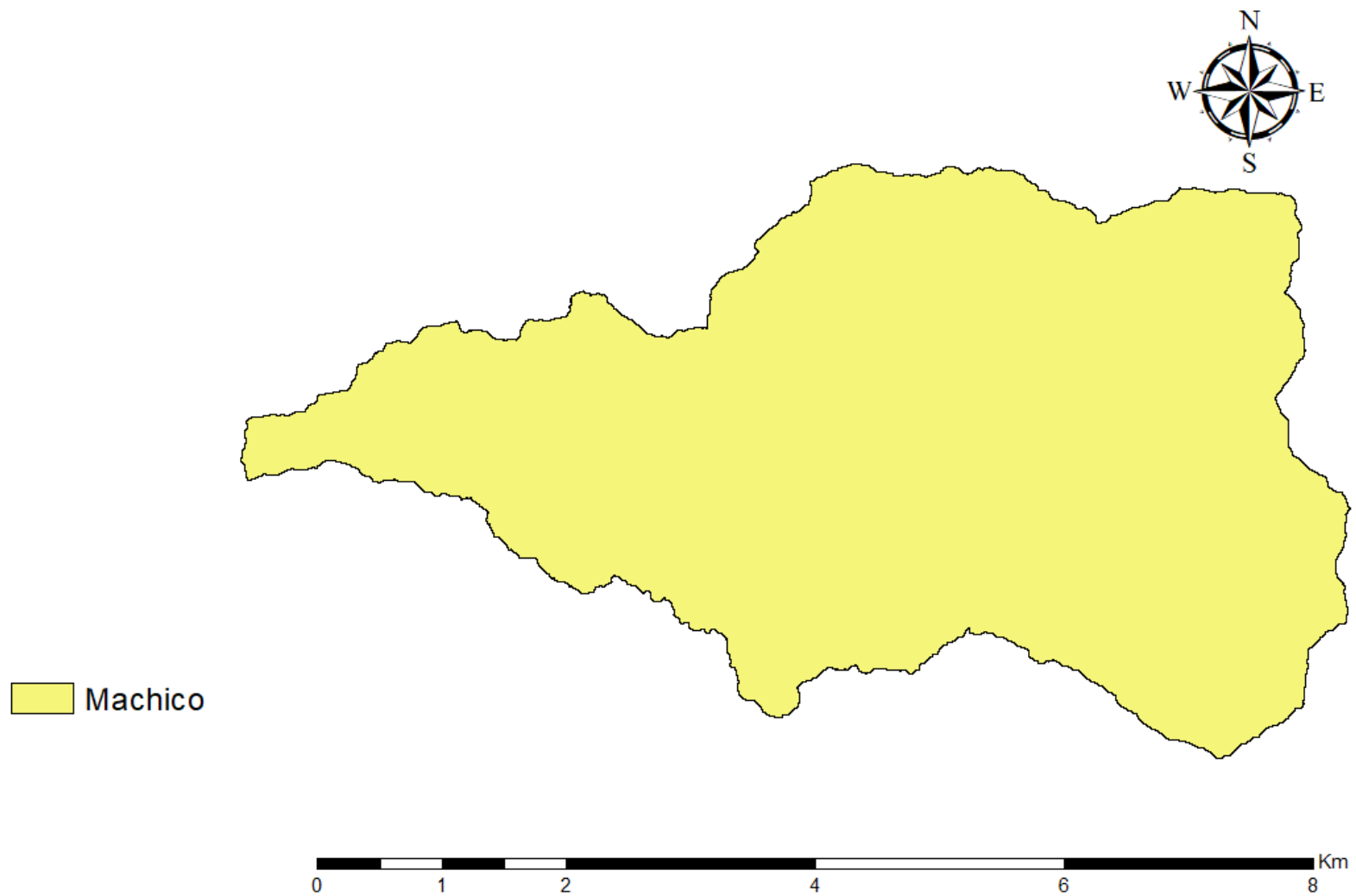


Figura - A 22 - Bacia hidrográfica do Machico. (Fonte: Autor, 2020).

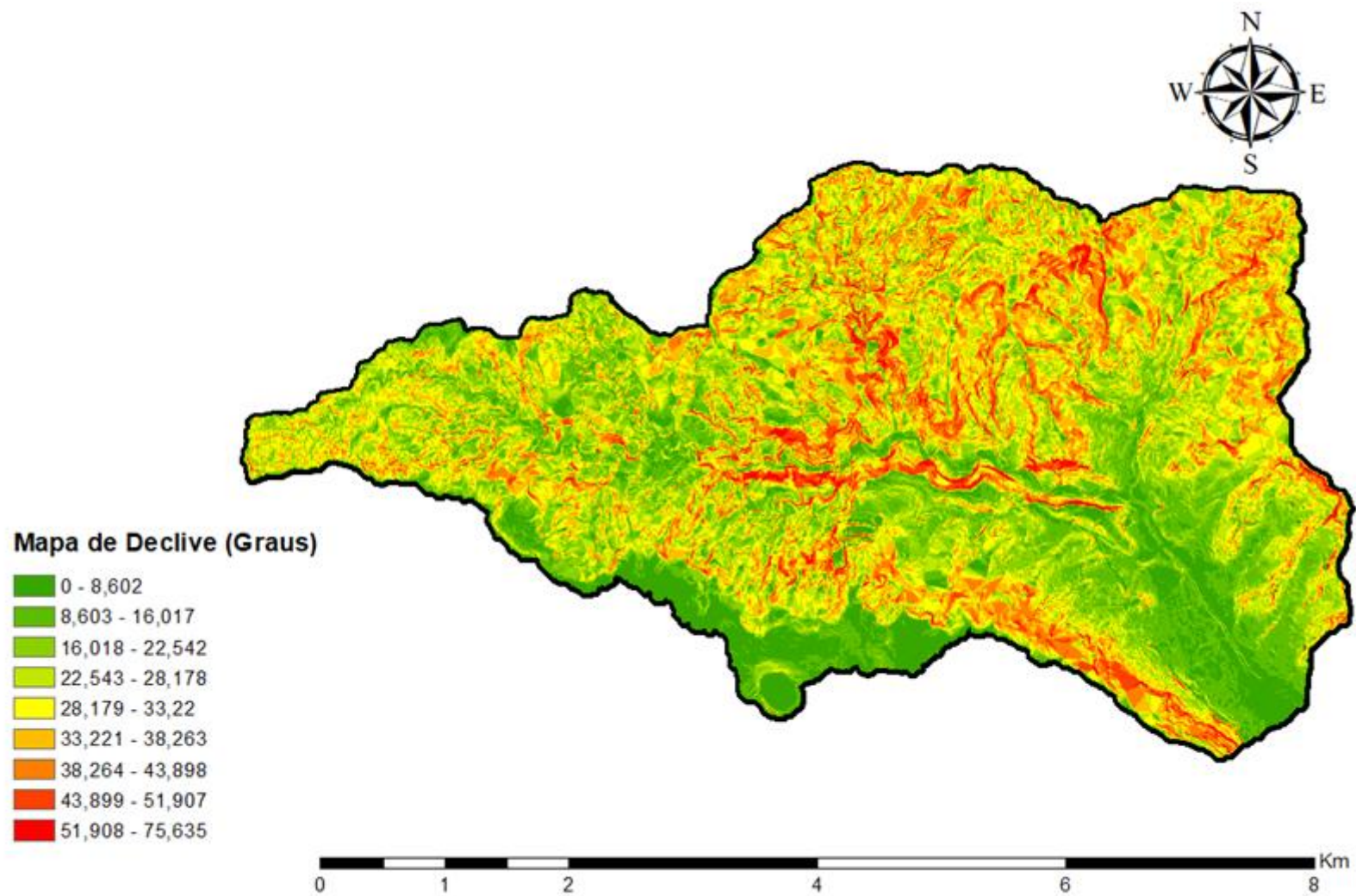


Figura - A 23 - Mapa de declive em graus da bacia do Machico. (Fonte: Autor, 2020).

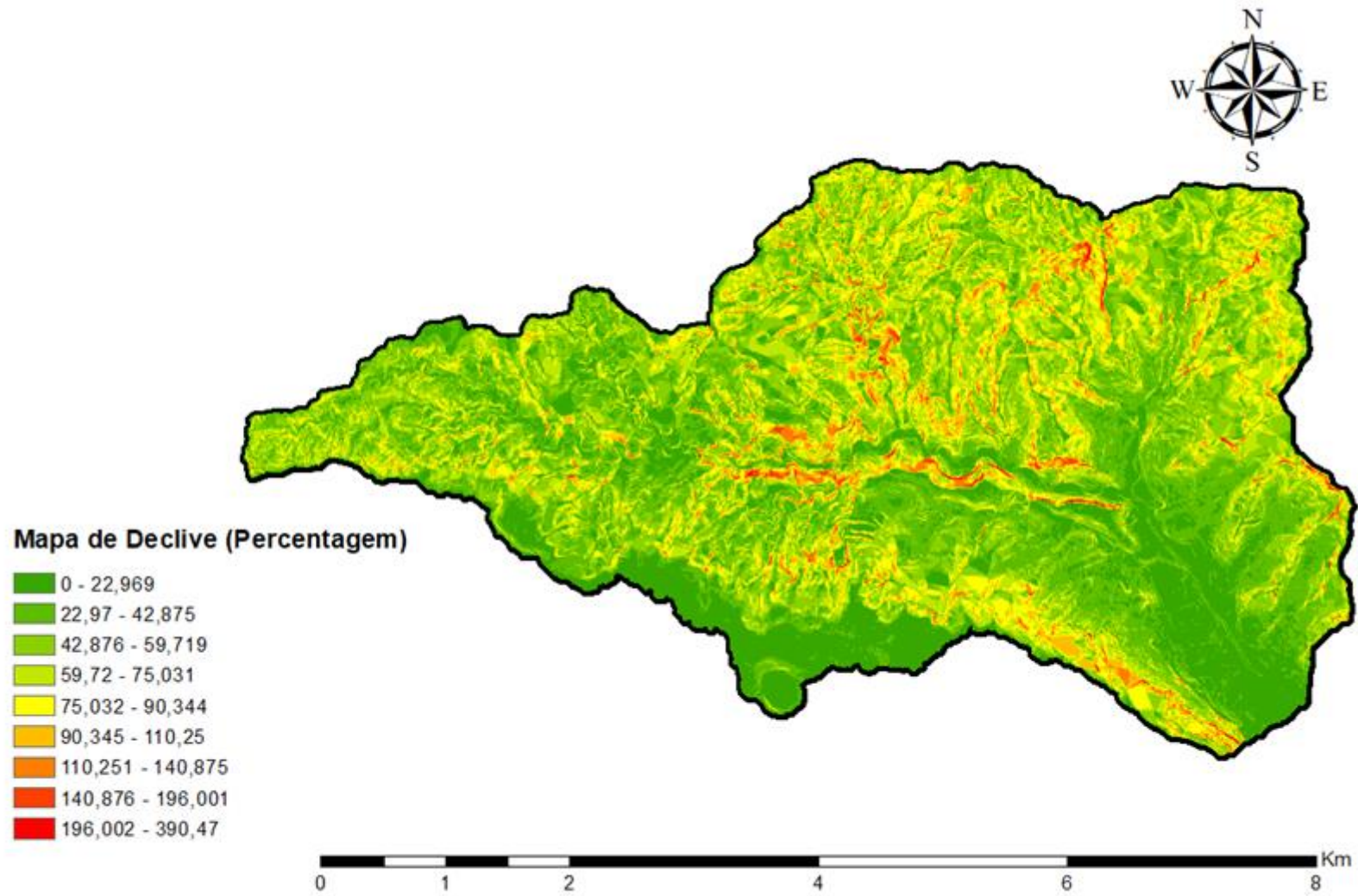


Figura - A 24 - Mapa de declive em percentagem da bacia do Machico. (Fonte: Autor, 2020).

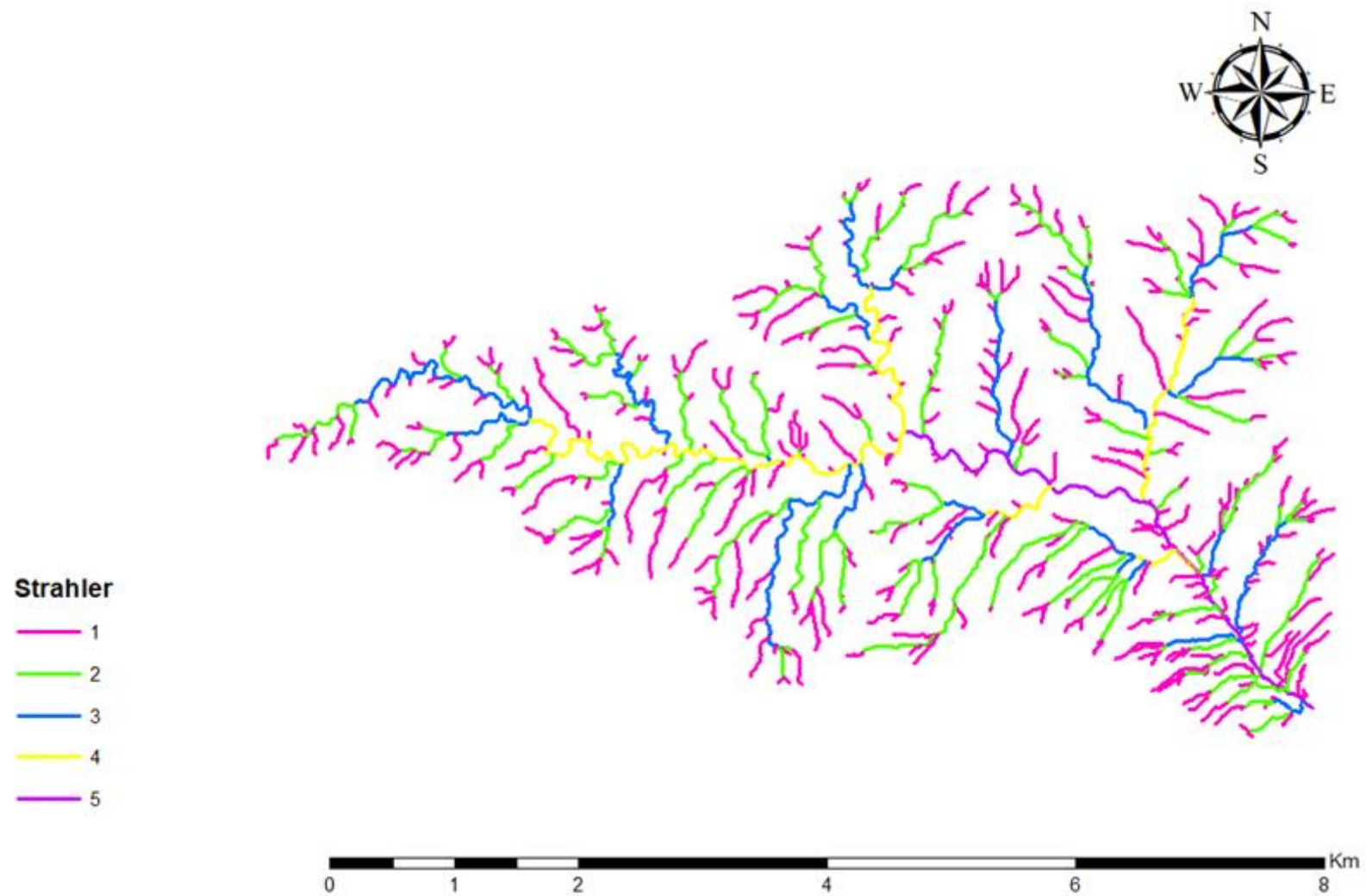


Figura - A 25 - Classificação de Strahler da bacia do Machico. (Fonte: Autor, 2020).

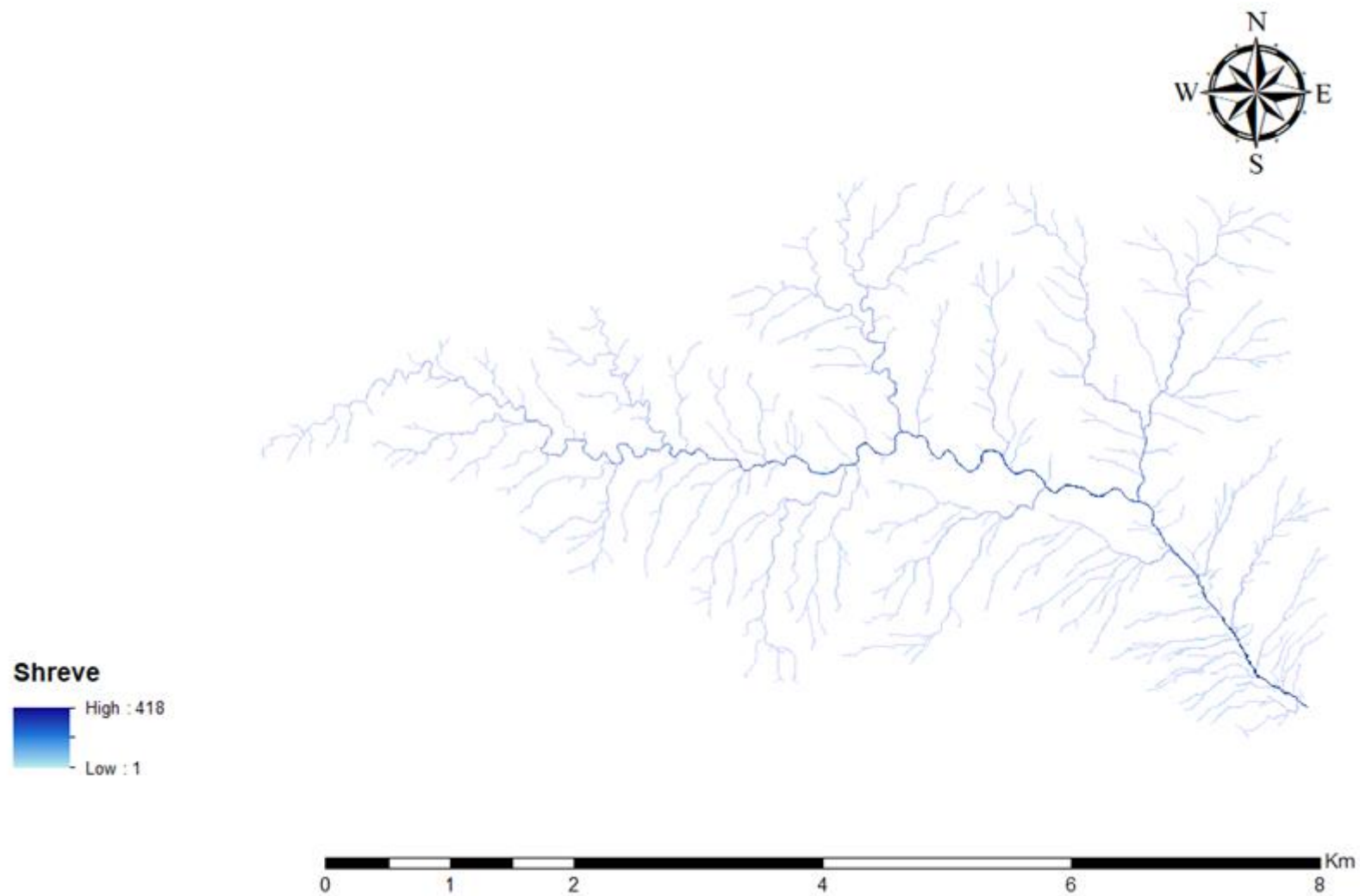
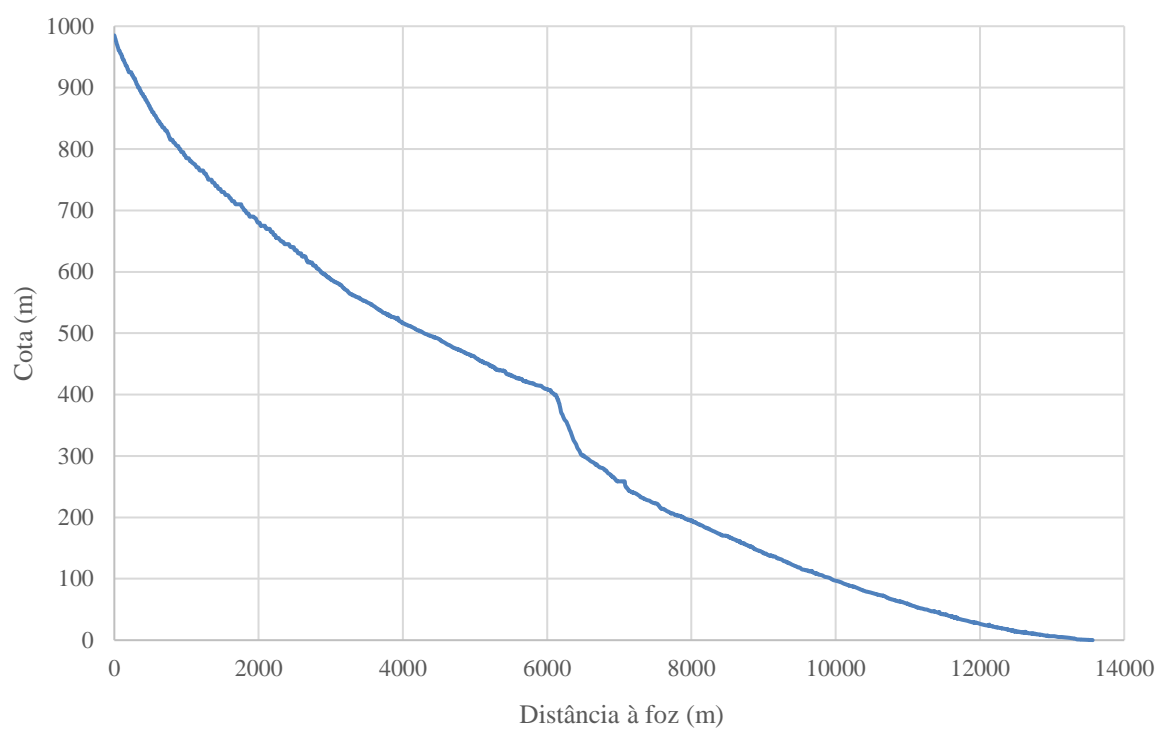
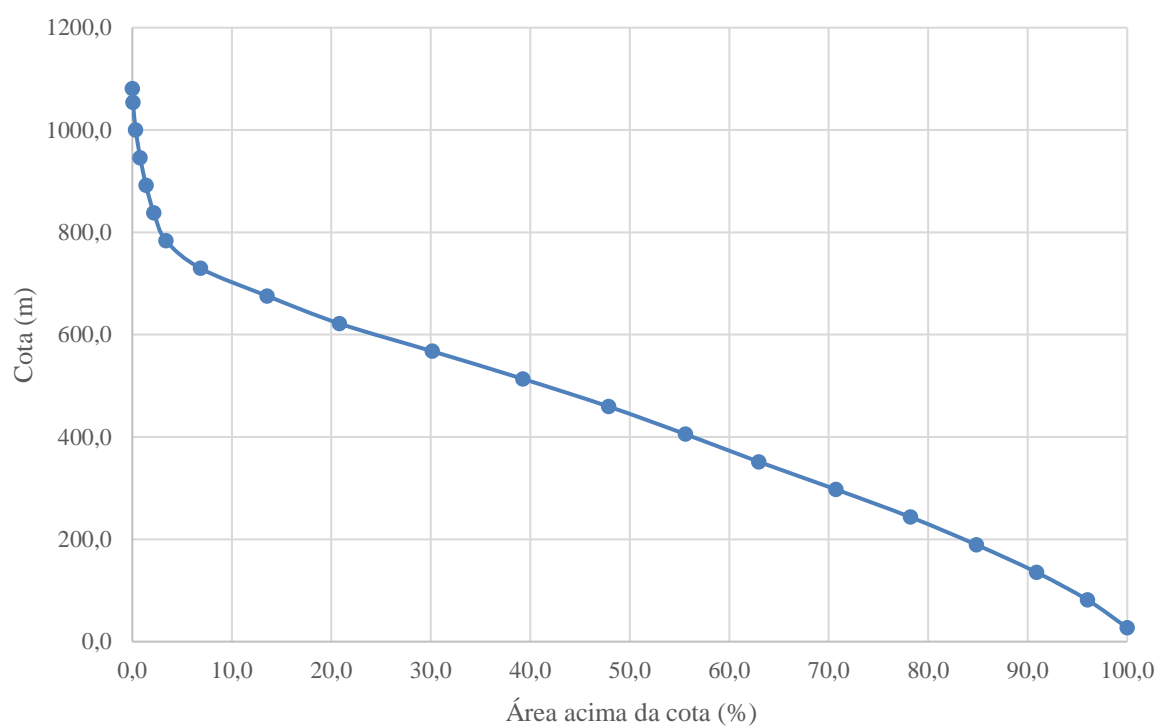


Figura - A 26 - Classificação de Shreve da bacia do Machico. (Fonte: Autor, 2020).



**Figura - A 27 - Perfil longitudinal do curso de água principal da bacia do Machico. (Fonte: Autor, 2020).**



**Figura - A 28 - Curva hipsométrica da bacia do Machico. (Fonte: Autor, 2020).**

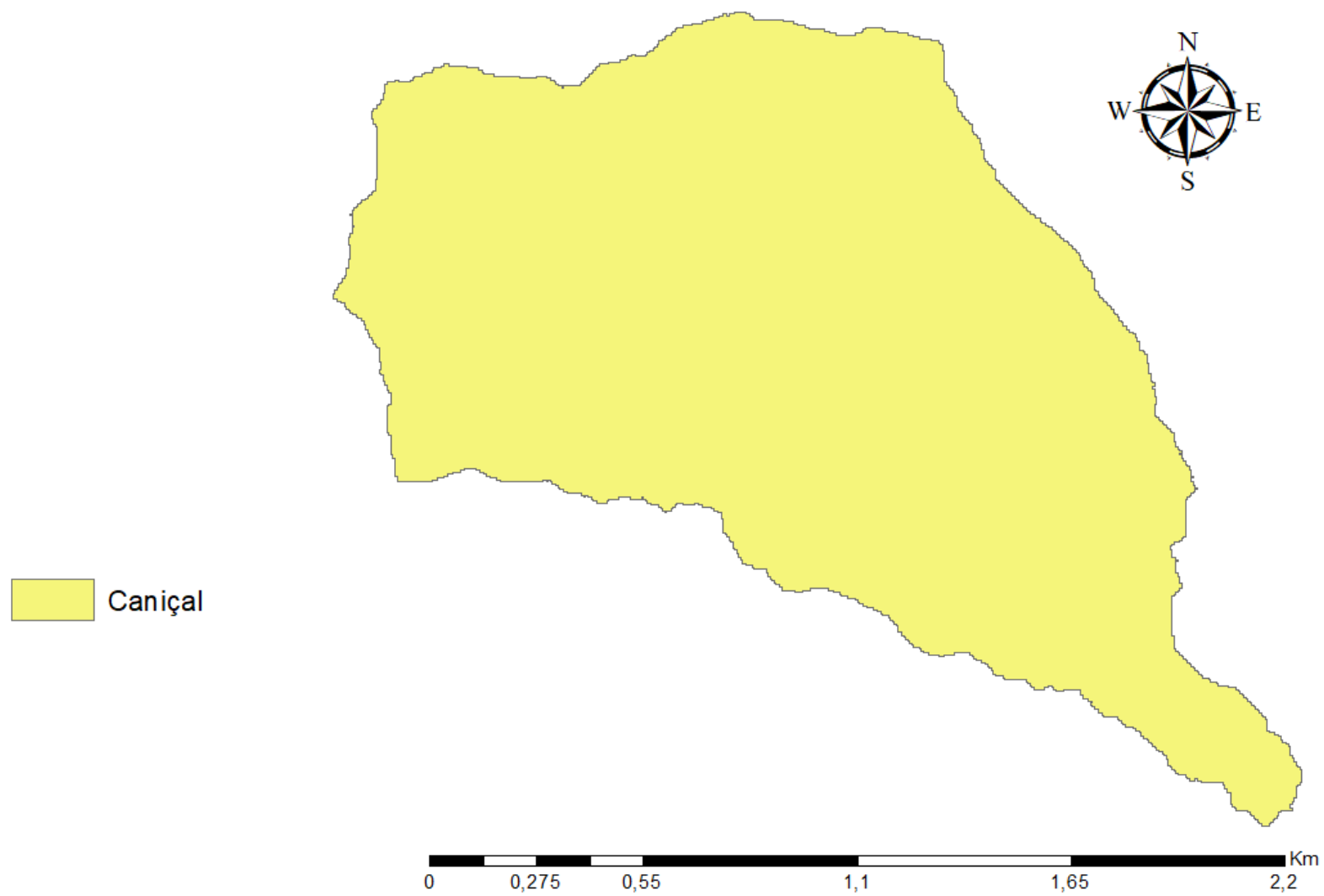


Figura - A 29 - Bacia hidrográfica do Caniçal. (Fonte: Autor, 2020).

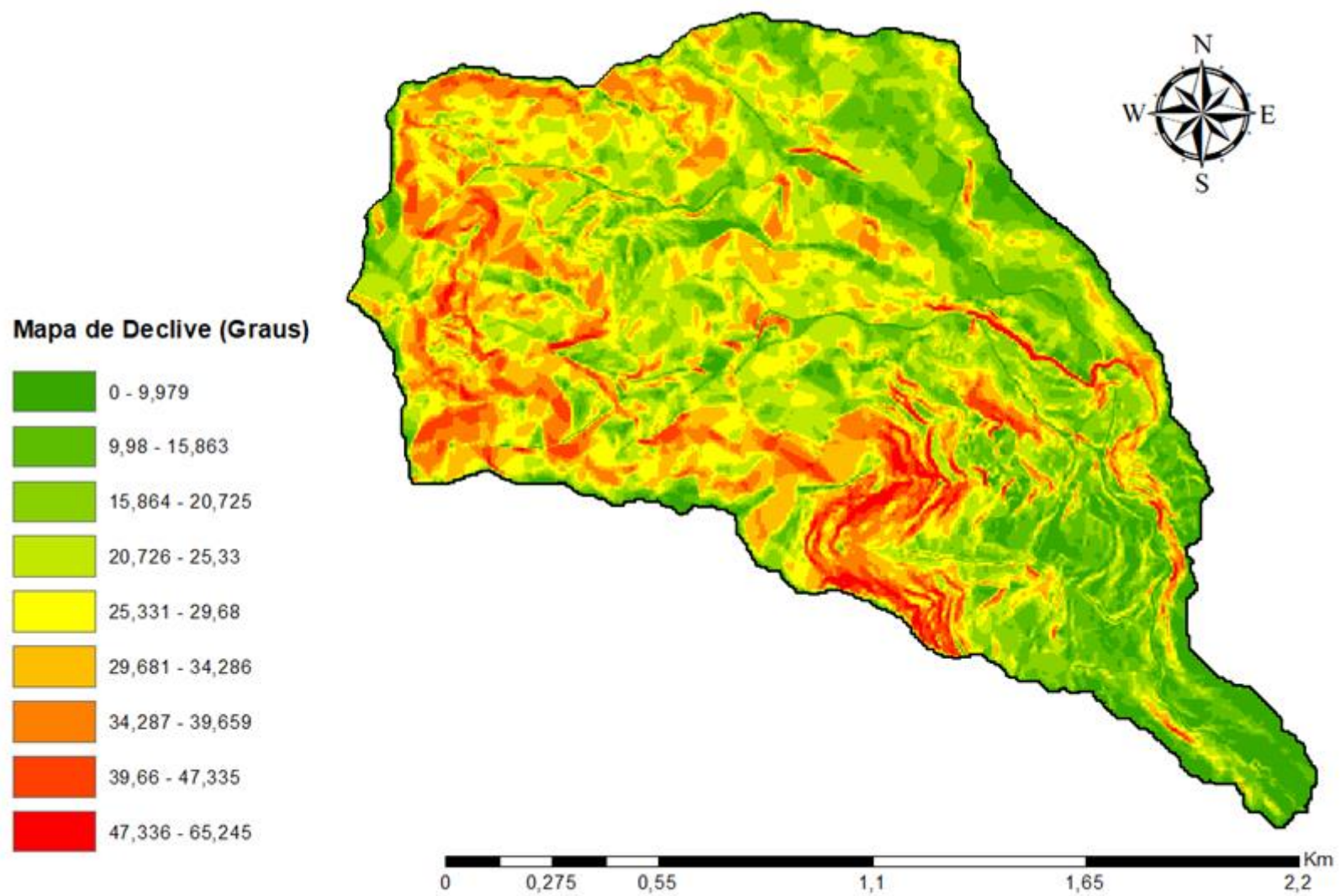


Figura - A 30 - Mapa de declive em graus da bacia do Caniçal. (Fonte: Autor, 2020).

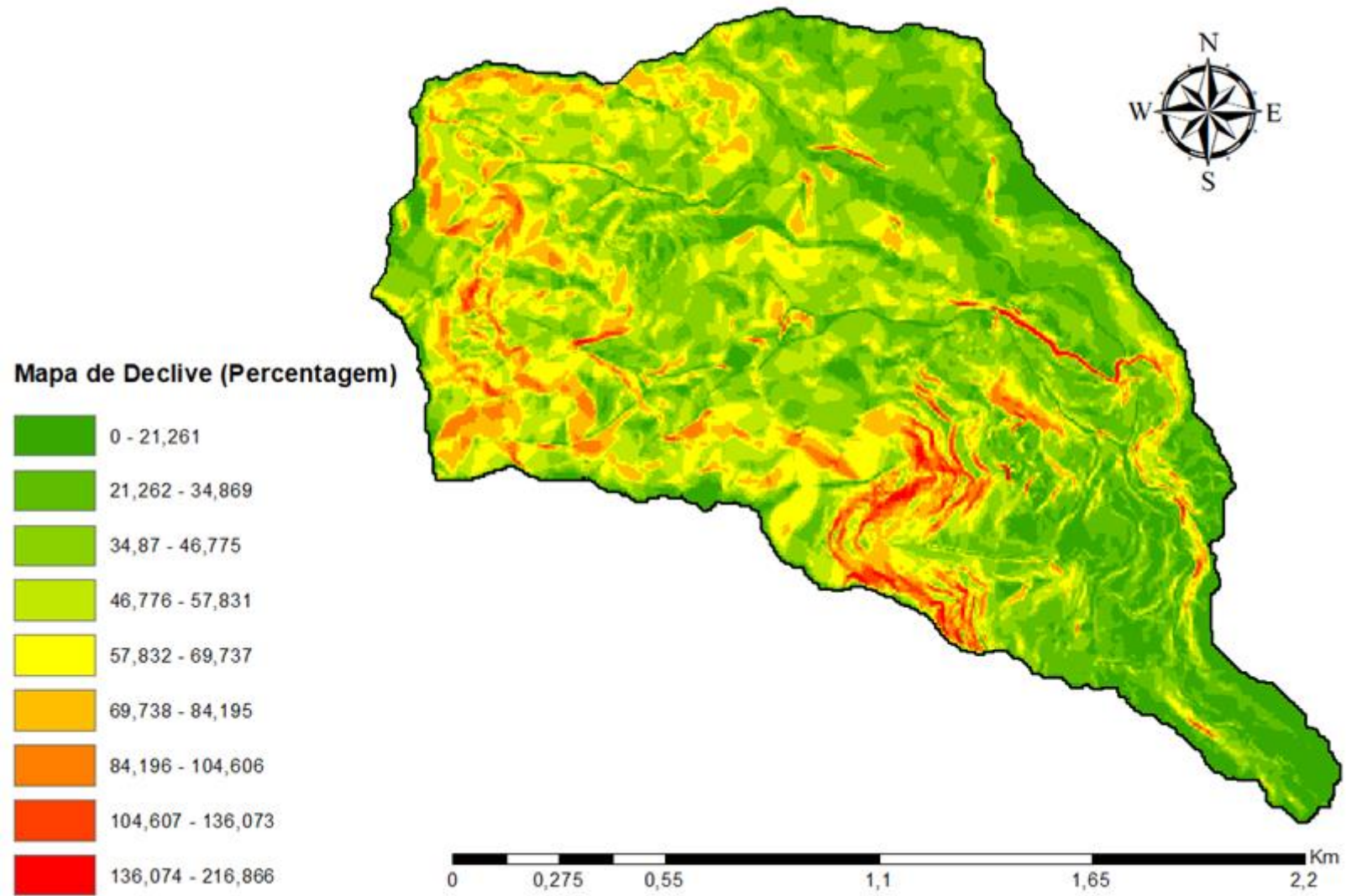


Figura - A 31 - Mapa de declive em percentagem da bacia do Caniçal. (Fonte: Autor, 2020).

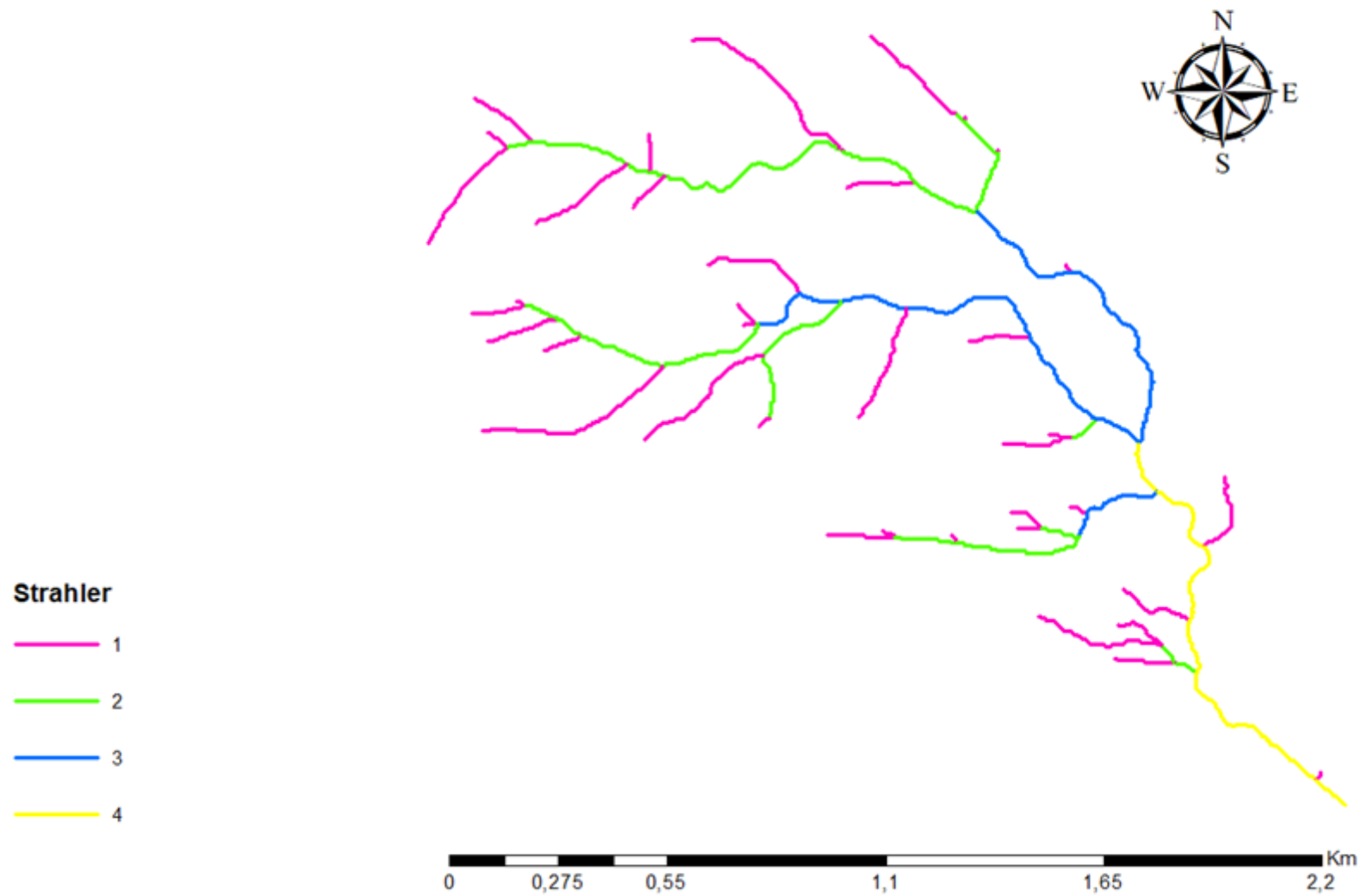


Figura - A 32 - Classificação de Strahler da bacia do Caniçal. (Fonte: Autor, 2020).

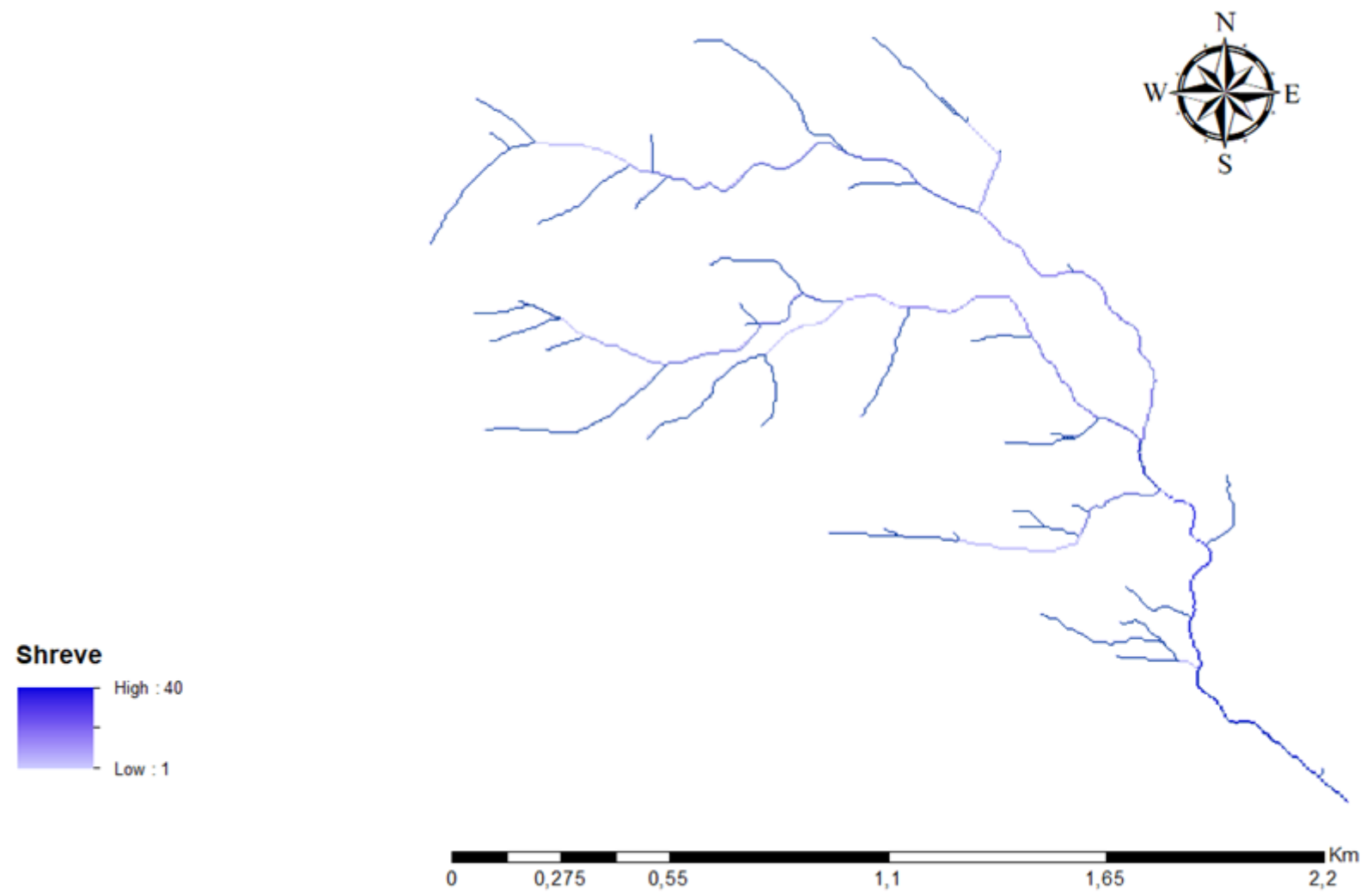


Figura - A 33 - Classificação de Shreve da bacia do Caniçal. (Fonte: Autor, 2020).

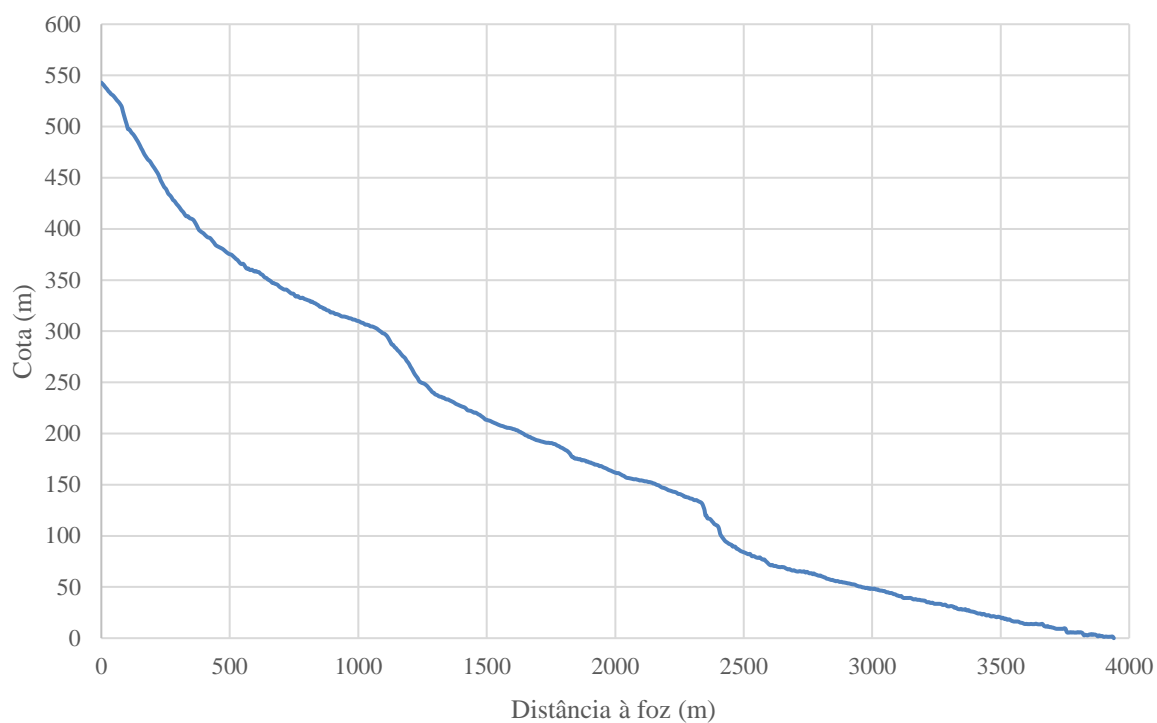


Figura - A 34 - Perfil longitudinal do curso de água principal da bacia do Caniçal. (Fonte: Autor, 2020).

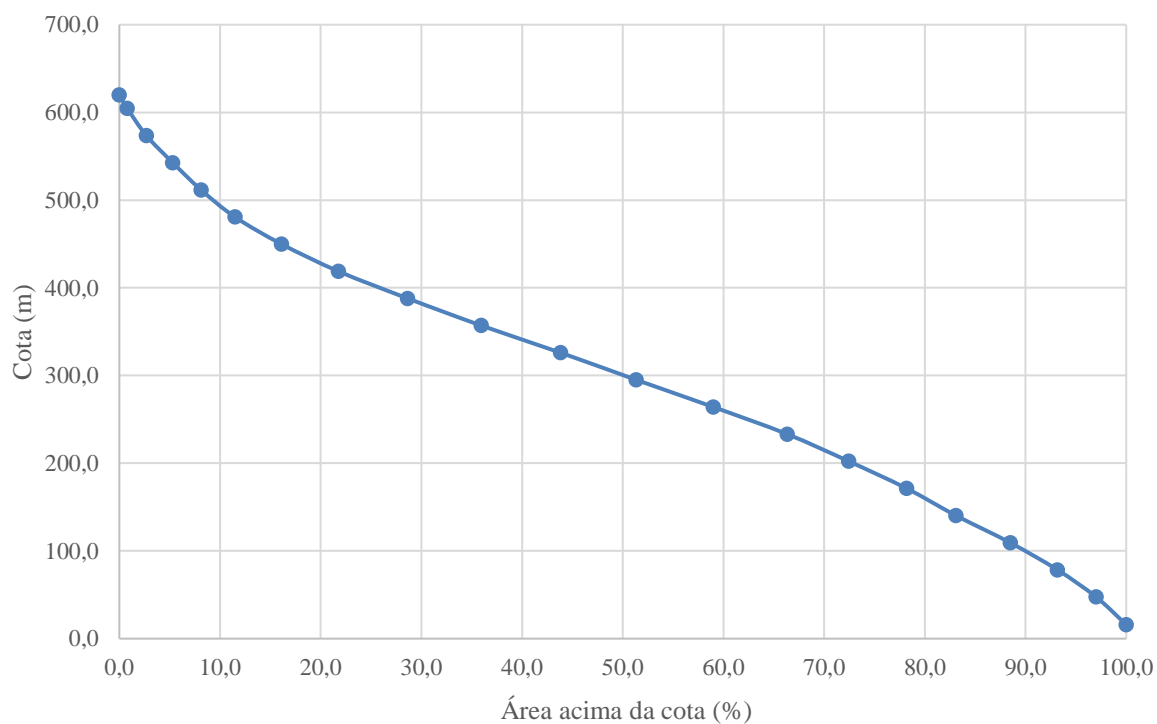


Figura - A 35 - Curva hipsométrica da bacia do Caniçal. (Autor, 2020).

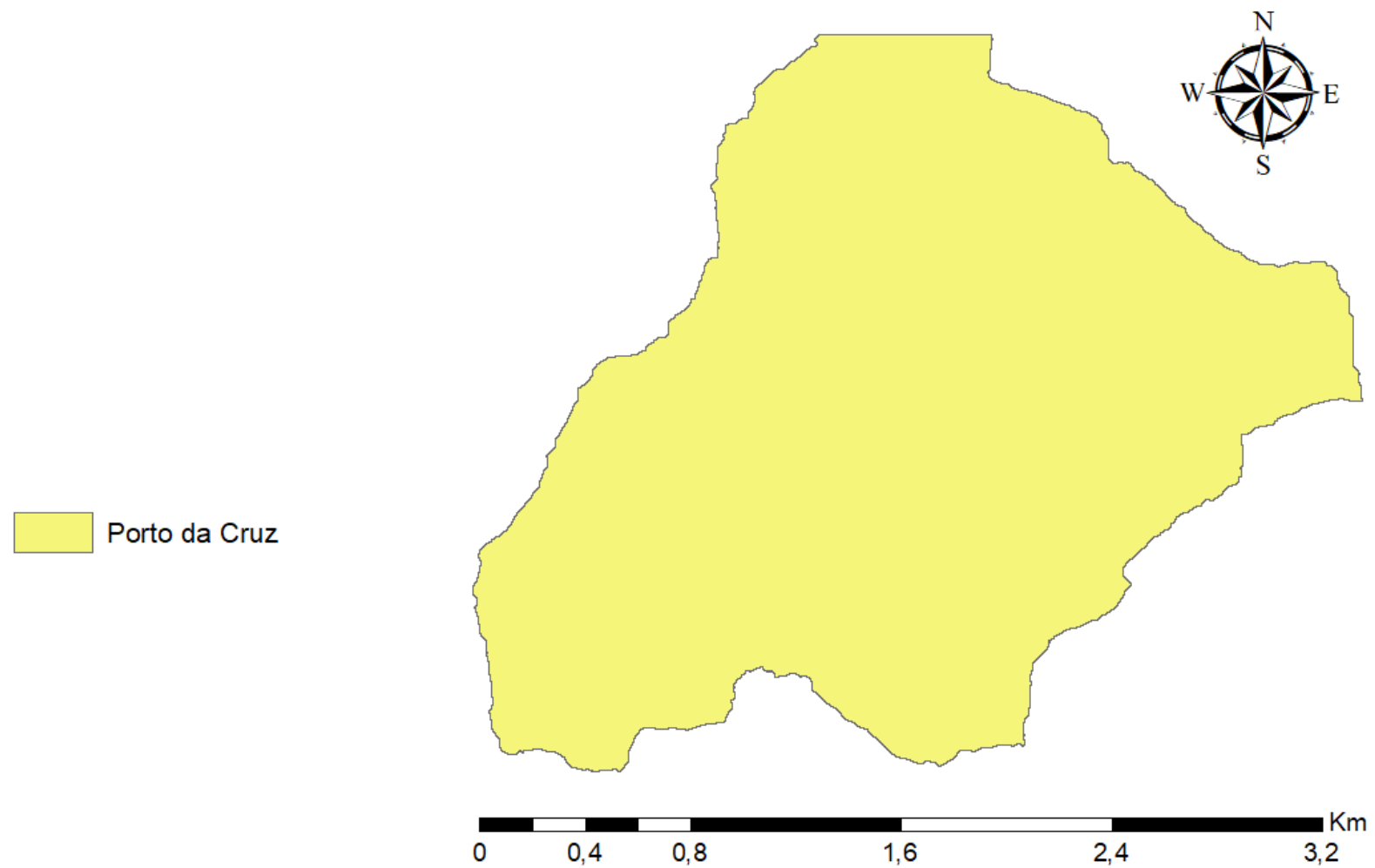


Figura - A 36 - Bacia hidrográfica do Porto da Cruz. (Fonte: Autor, 2020).

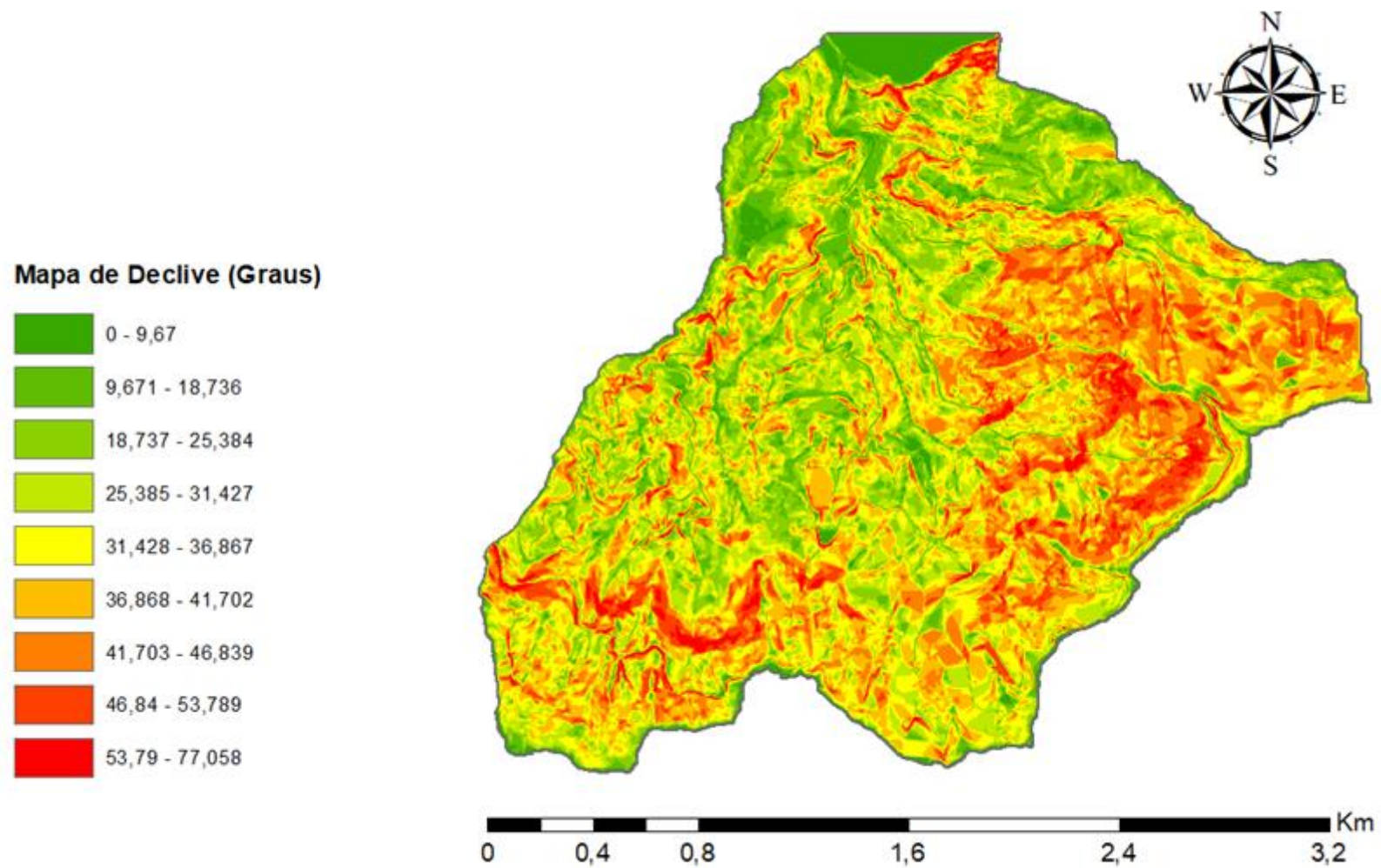


Figura - A 37 - Mapa de declive em graus da bacia do Porto da Cruz. (Fonte: Autor, 2020).

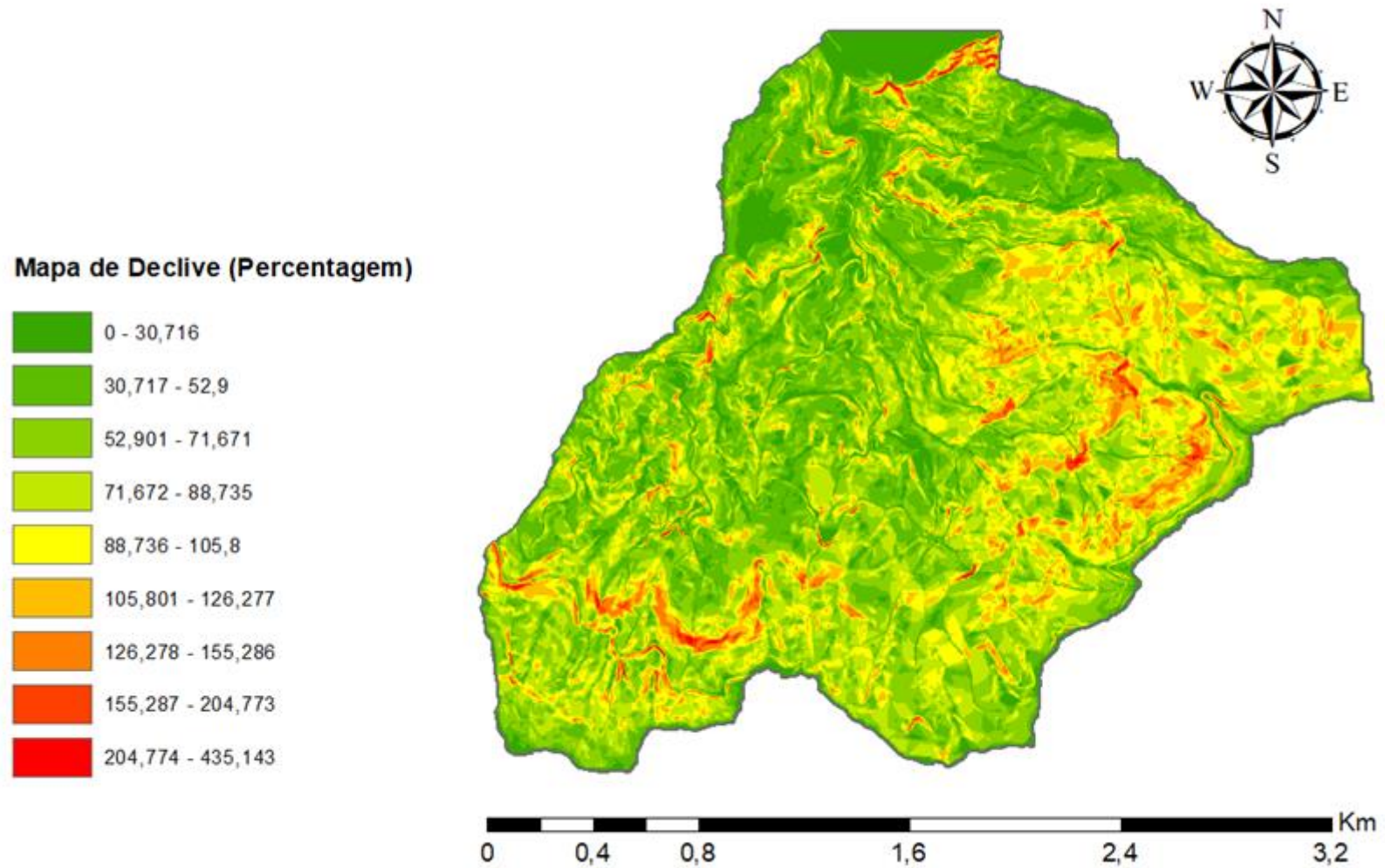


Figura - A 38 - Mapa de declive em porcentagem da bacia do Porto da Cruz. (Fonte: Autor, 2020).

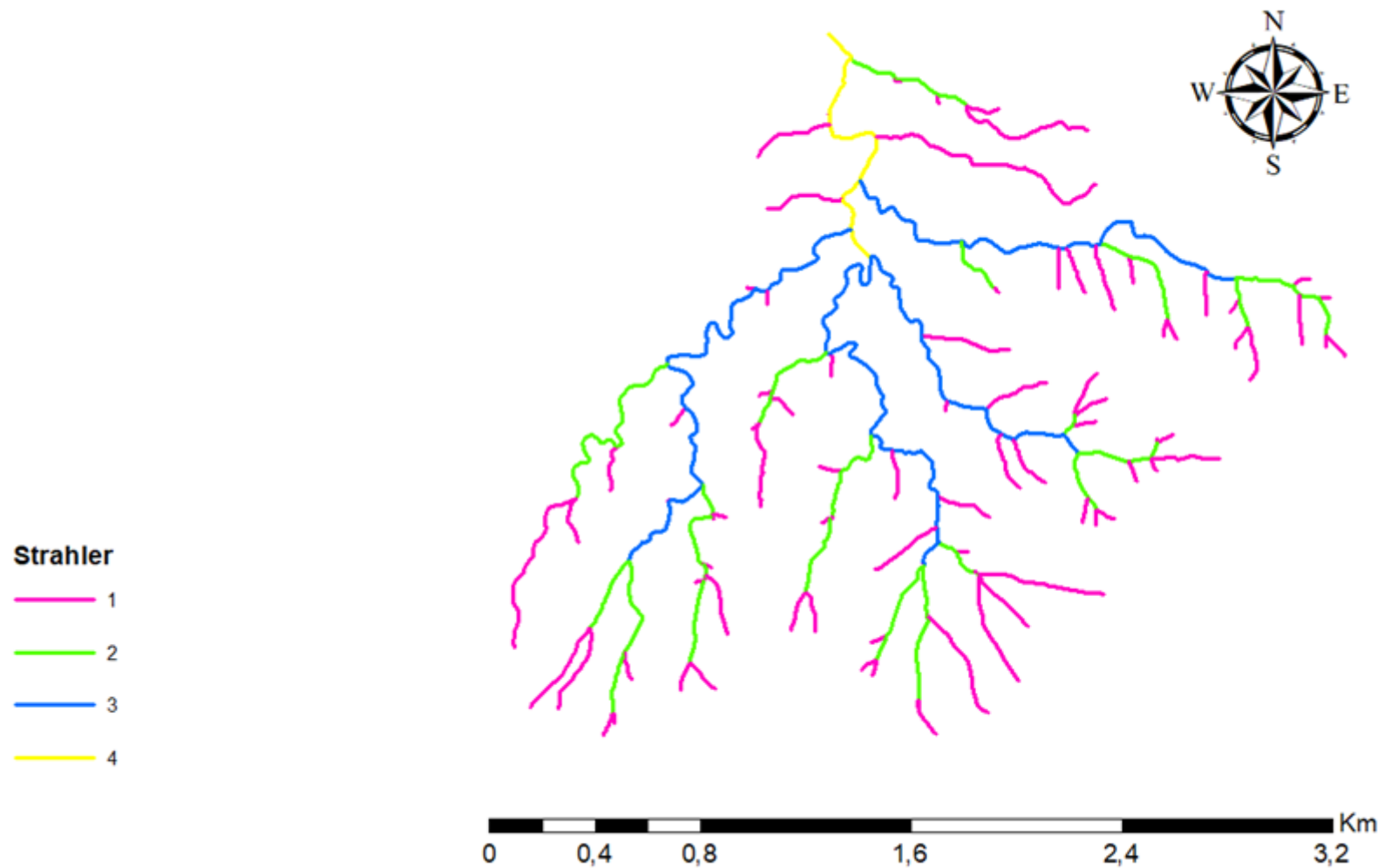


Figura - A 39 - Classificação de Strahler da bacia do Porto da Cruz. (Fonte: Autor, 2020).

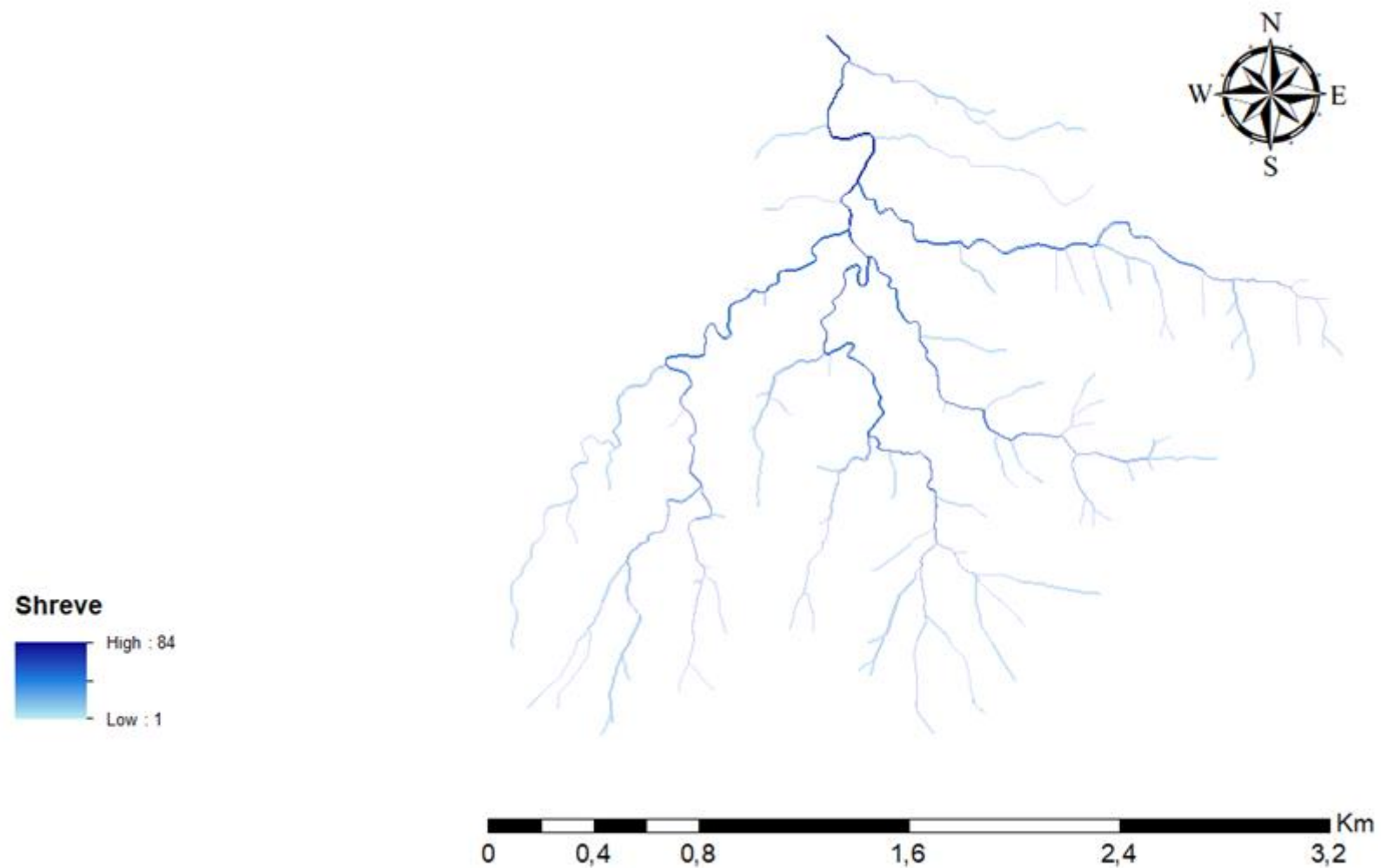
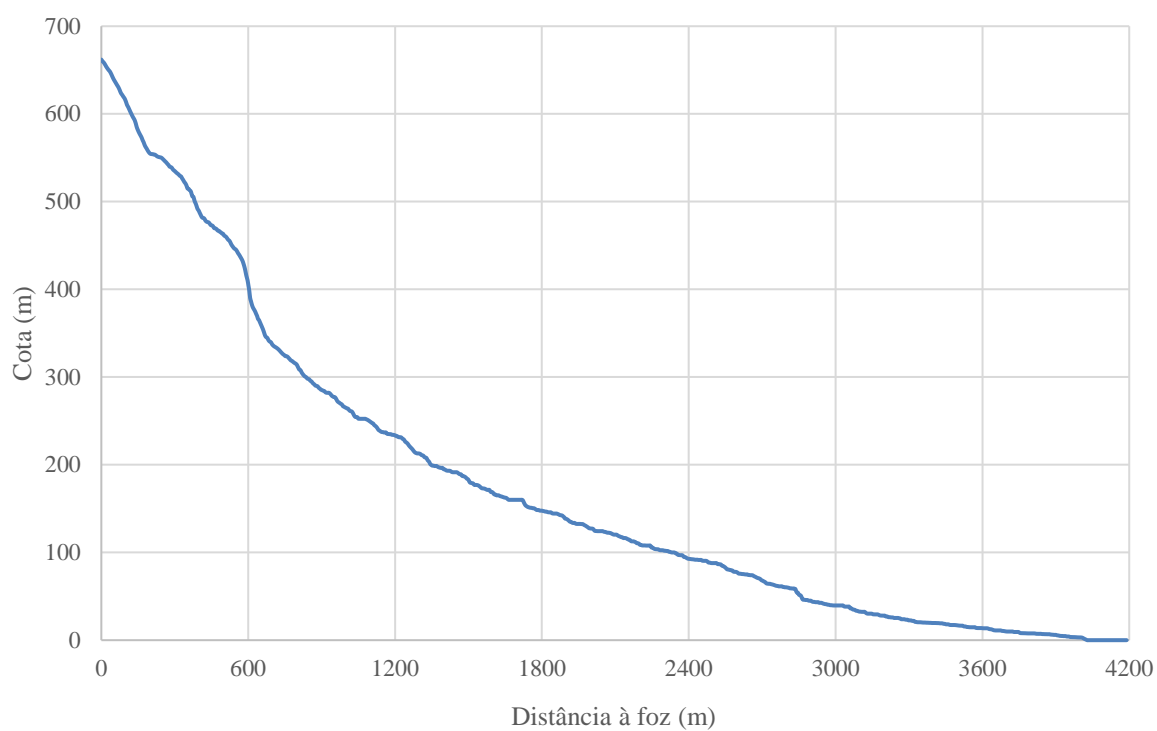
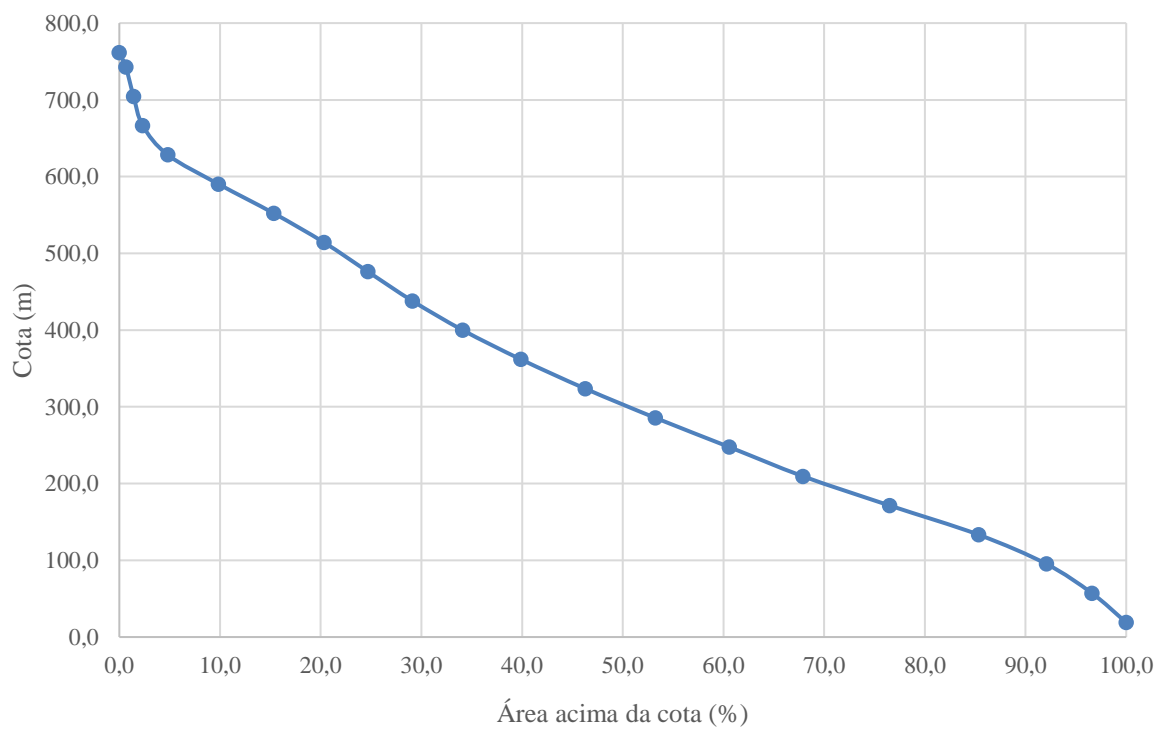


Figura - A 40 - Classificação de Shreve da bacia do Porto da Cruz. (Fonte: Autor, 2020).



**Figura - A 41 - Perfil longitudinal do curso de água principal da bacia do Porto da Cruz. (Fonte: Autor, 2020).**



**Figura - A 42 - Curva hipsométrica da bacia do Porto da Cruz. (Fonte: Autor, 2020).**

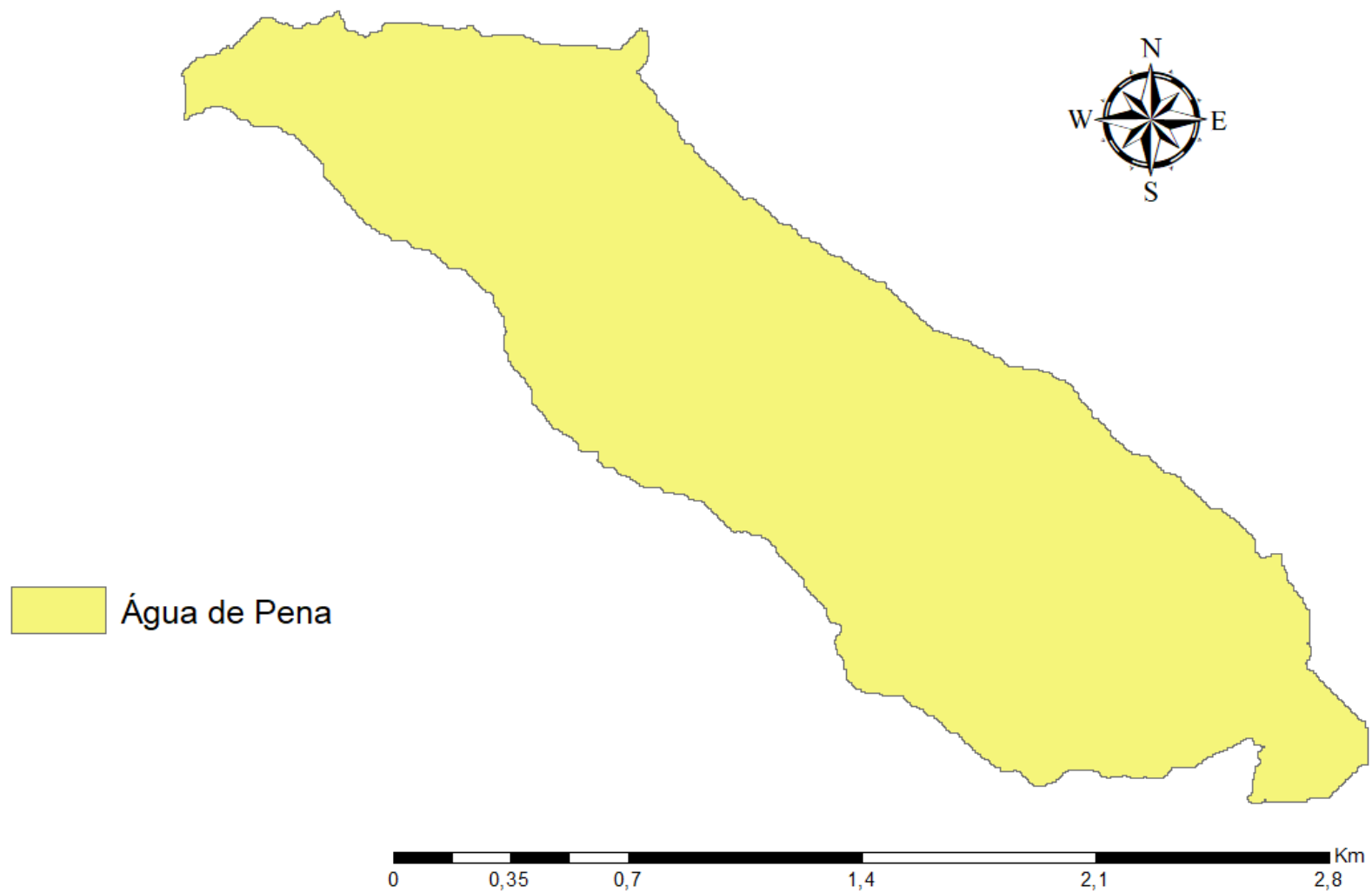


Figura - A 43 - Bacia hidrográfica da Água de Pena. (Fonte: Autor, 2020).

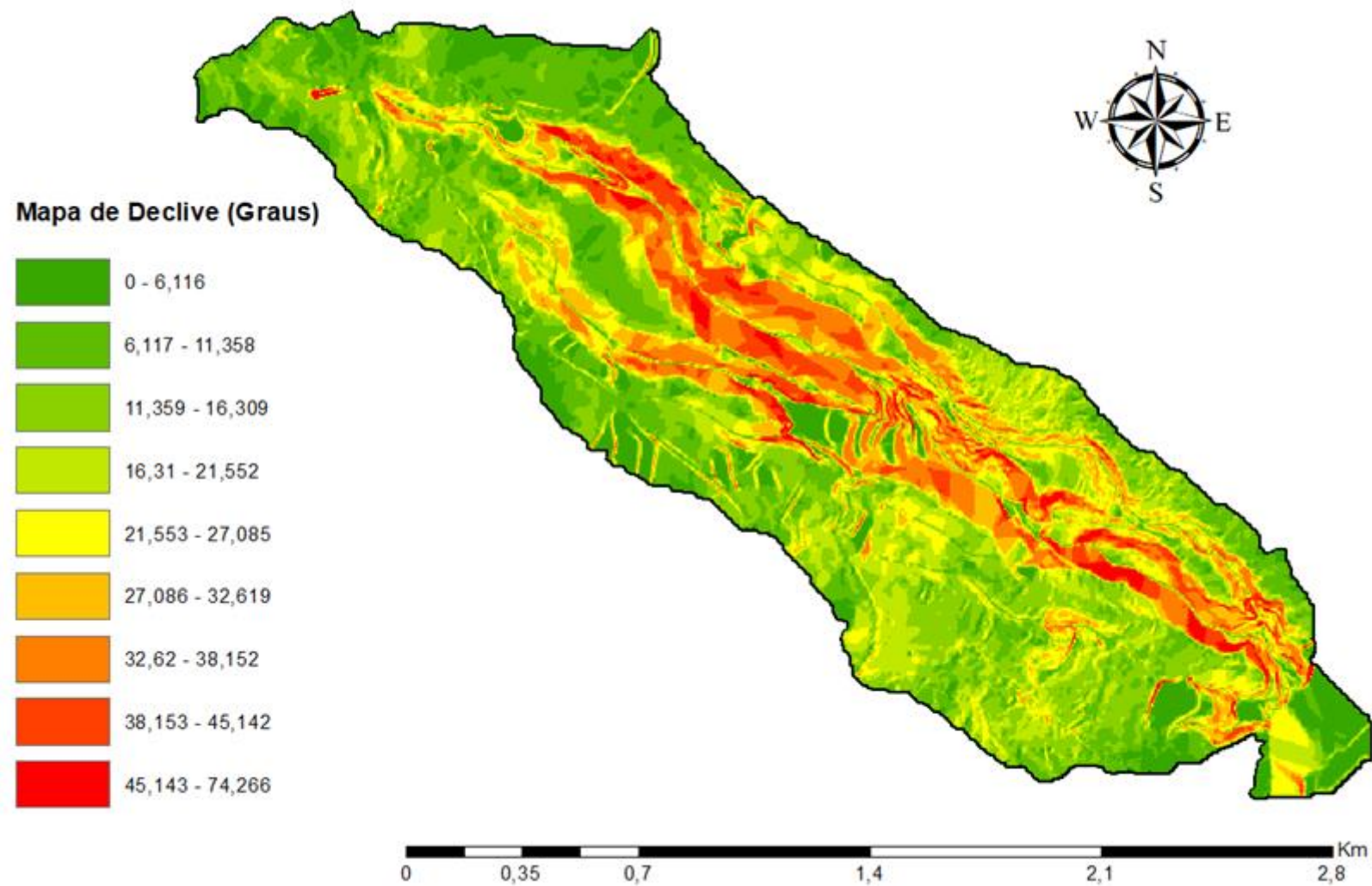


Figura - A 44 - Mapa de declive em graus da bacia da Água de Pena. (Fonte: Autor, 2020).

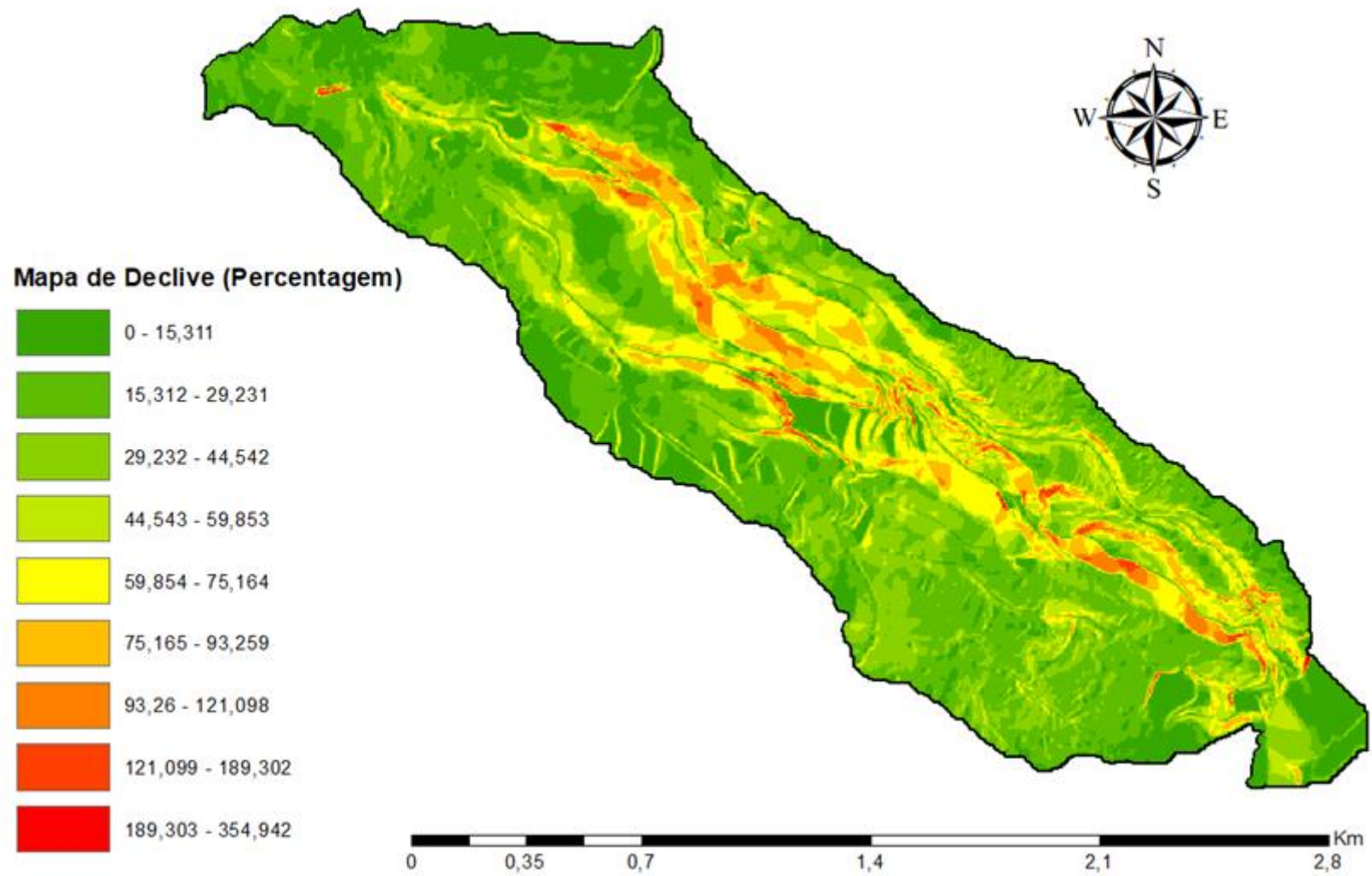


Figura - A 45 - Mapa de declive em percentagem da bacia da Água de Pena. (Fonte: Autor, 2020).

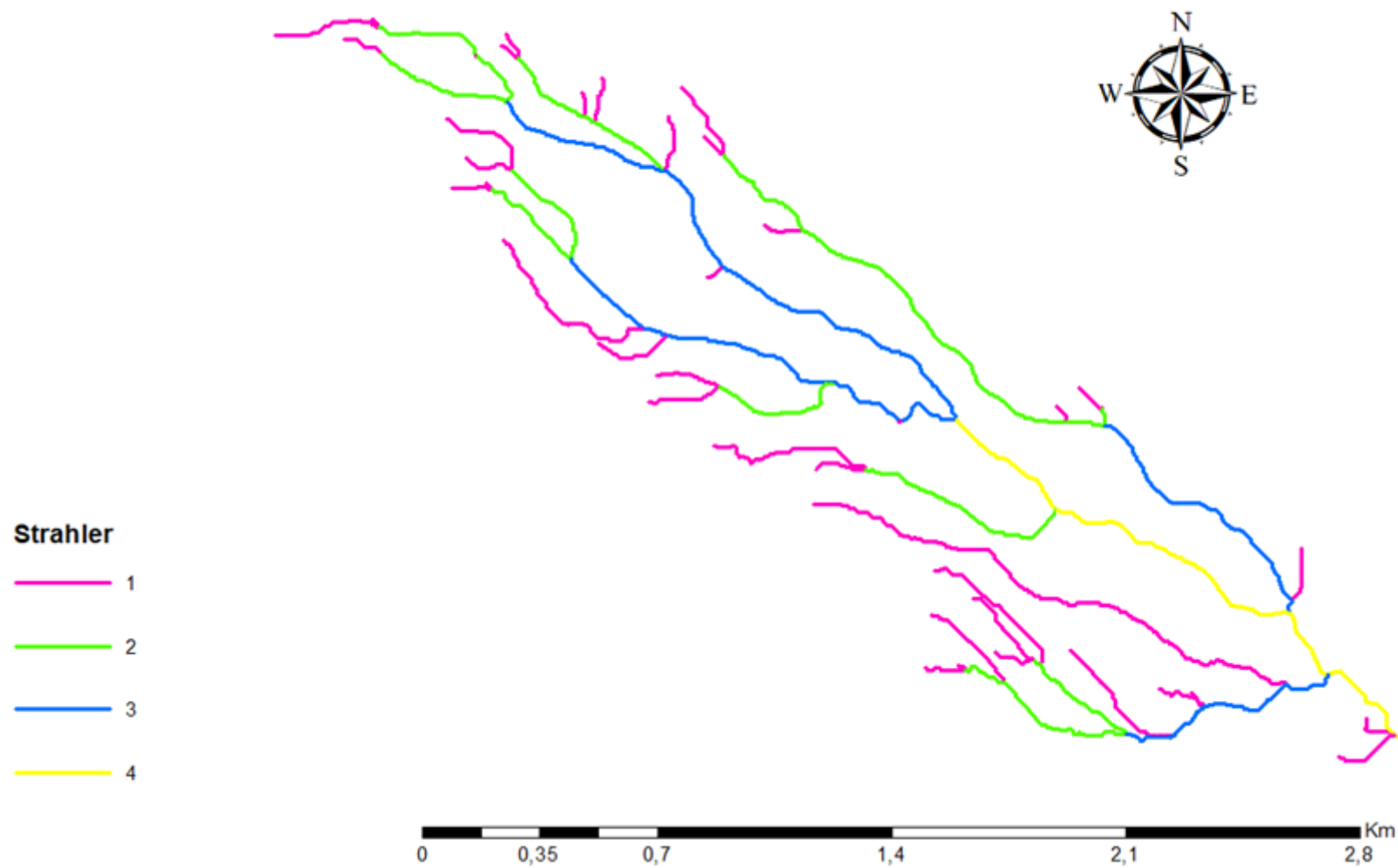


Figura - A 46 - Classificação de Strahler da bacia da Água de Pena. (Fonte: Autor, 2020).

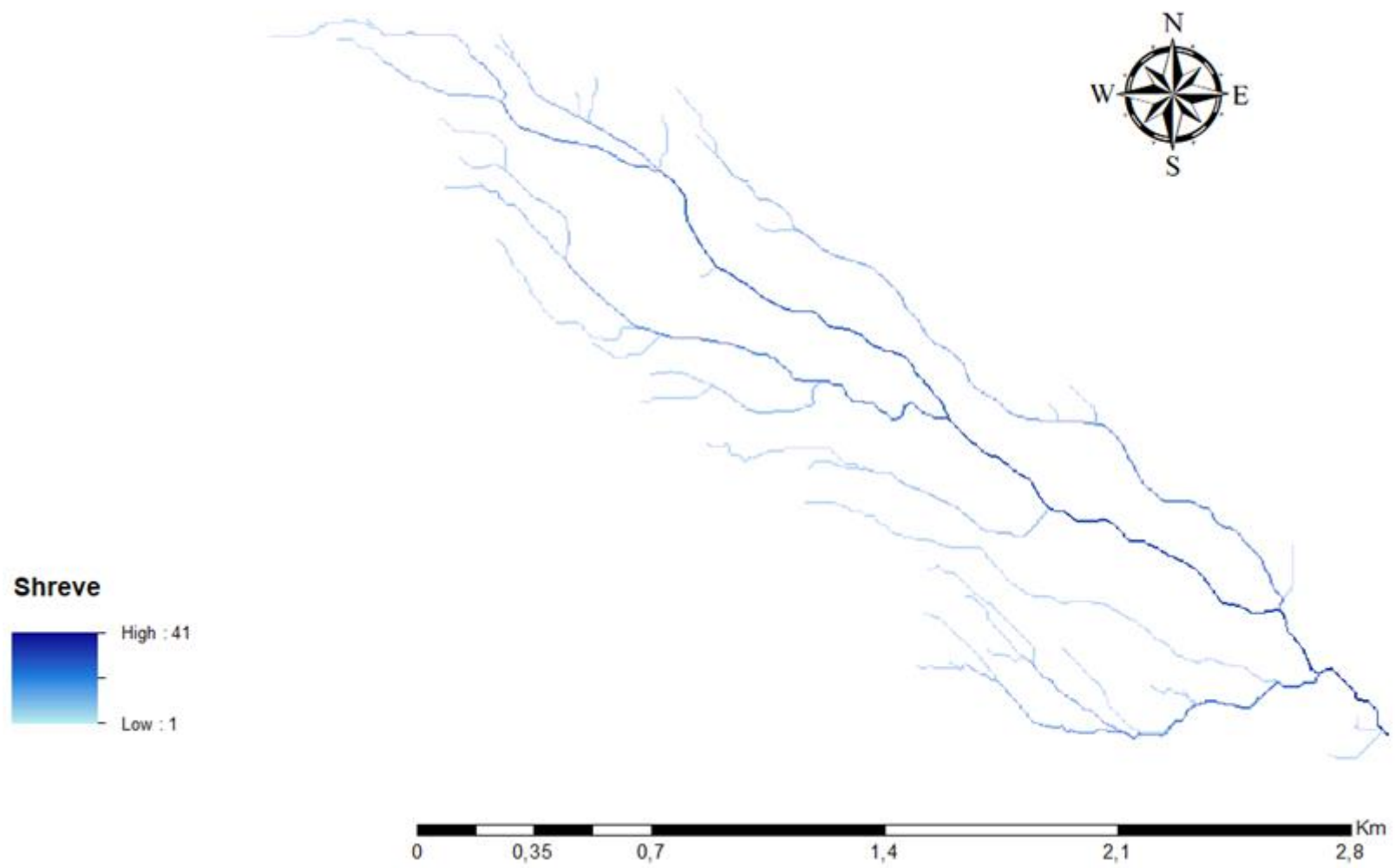
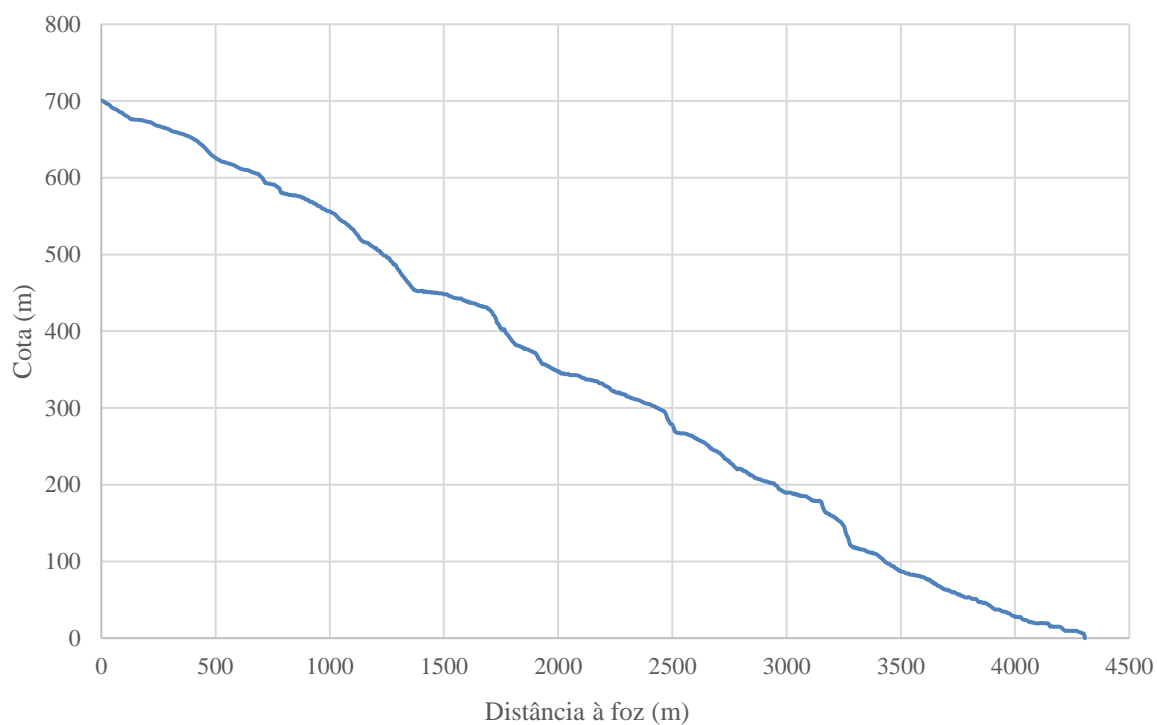
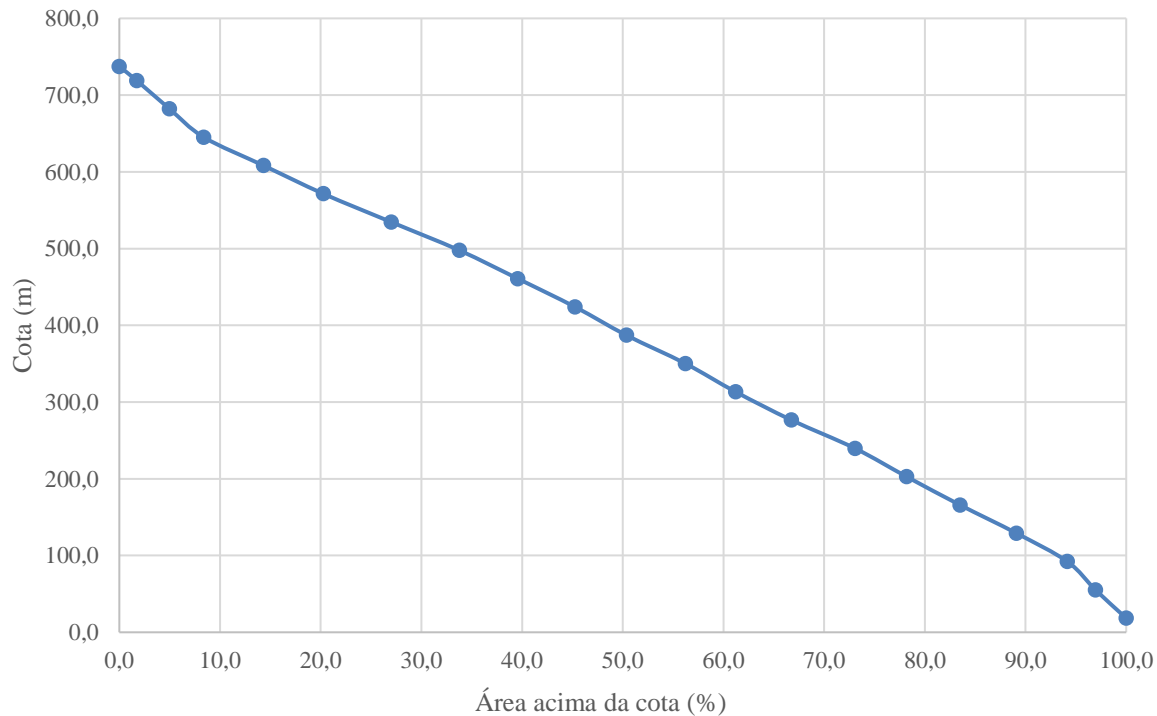


Figura - A 47 - Classificação de Shreve da bacia da Água de Pena. (Fonte: Autor, 2020).



**Figura - A 48 - Perfil longitudinal do curso de água principal da bacia da Água de Pena. (Fonte: Autor, 2020).**



**Figura - A 49 - Curva hipsométrica da bacia da Água de Pena. (Fonte: Autor, 2020).**

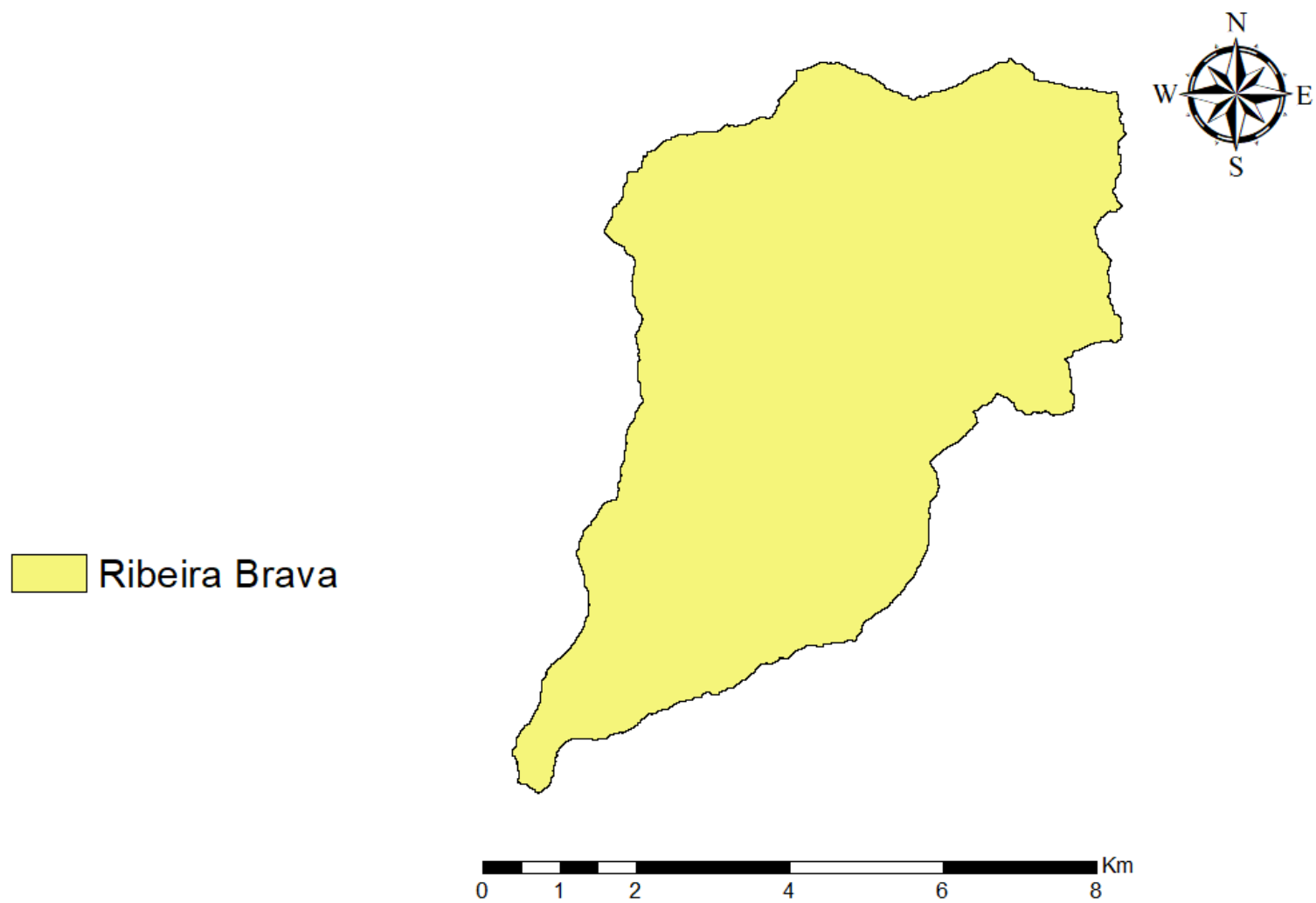


Figura - A 50 - Bacia hidrográfica da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).

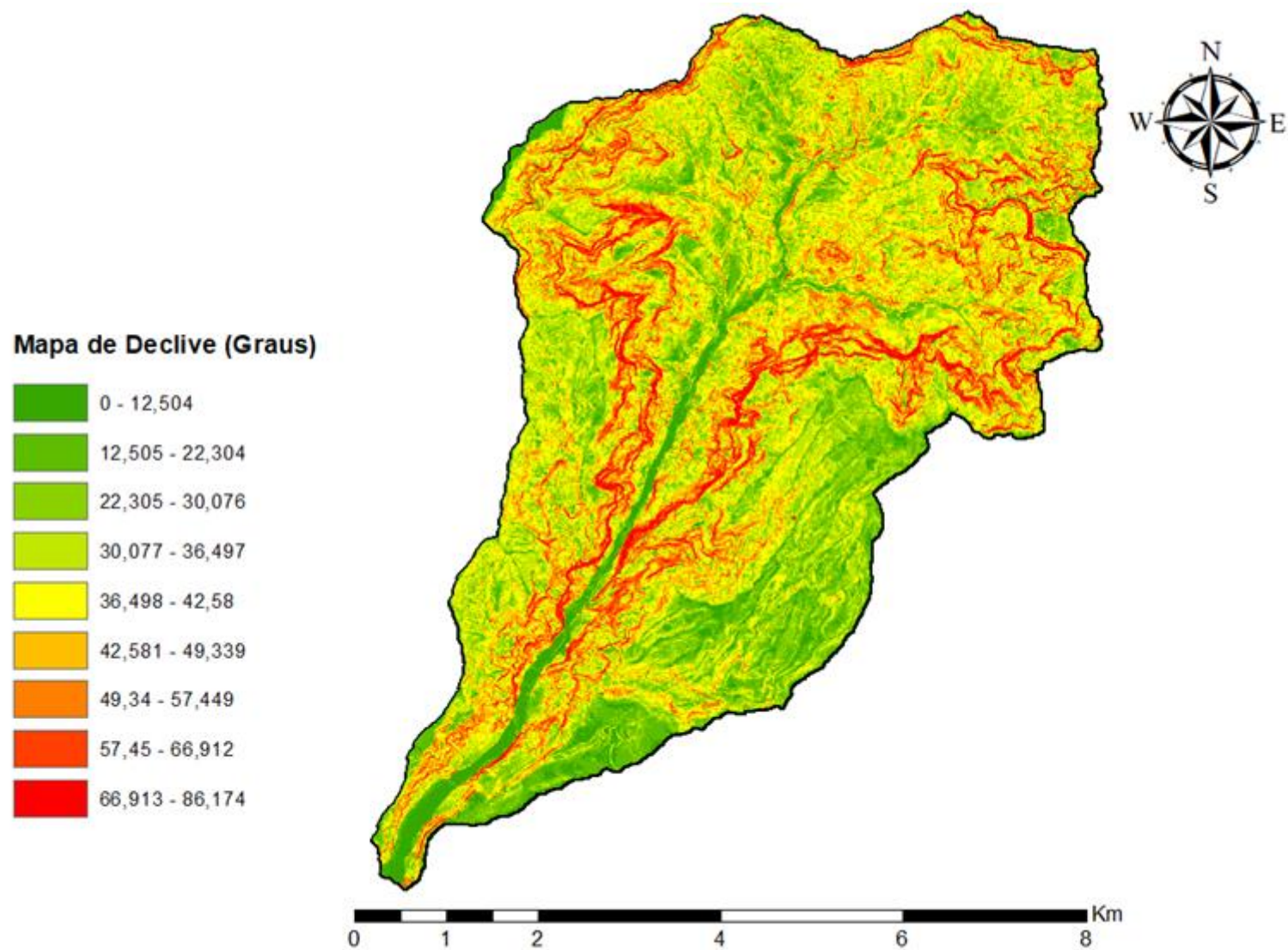


Figura - A 51 - Mapa de declive em graus da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).

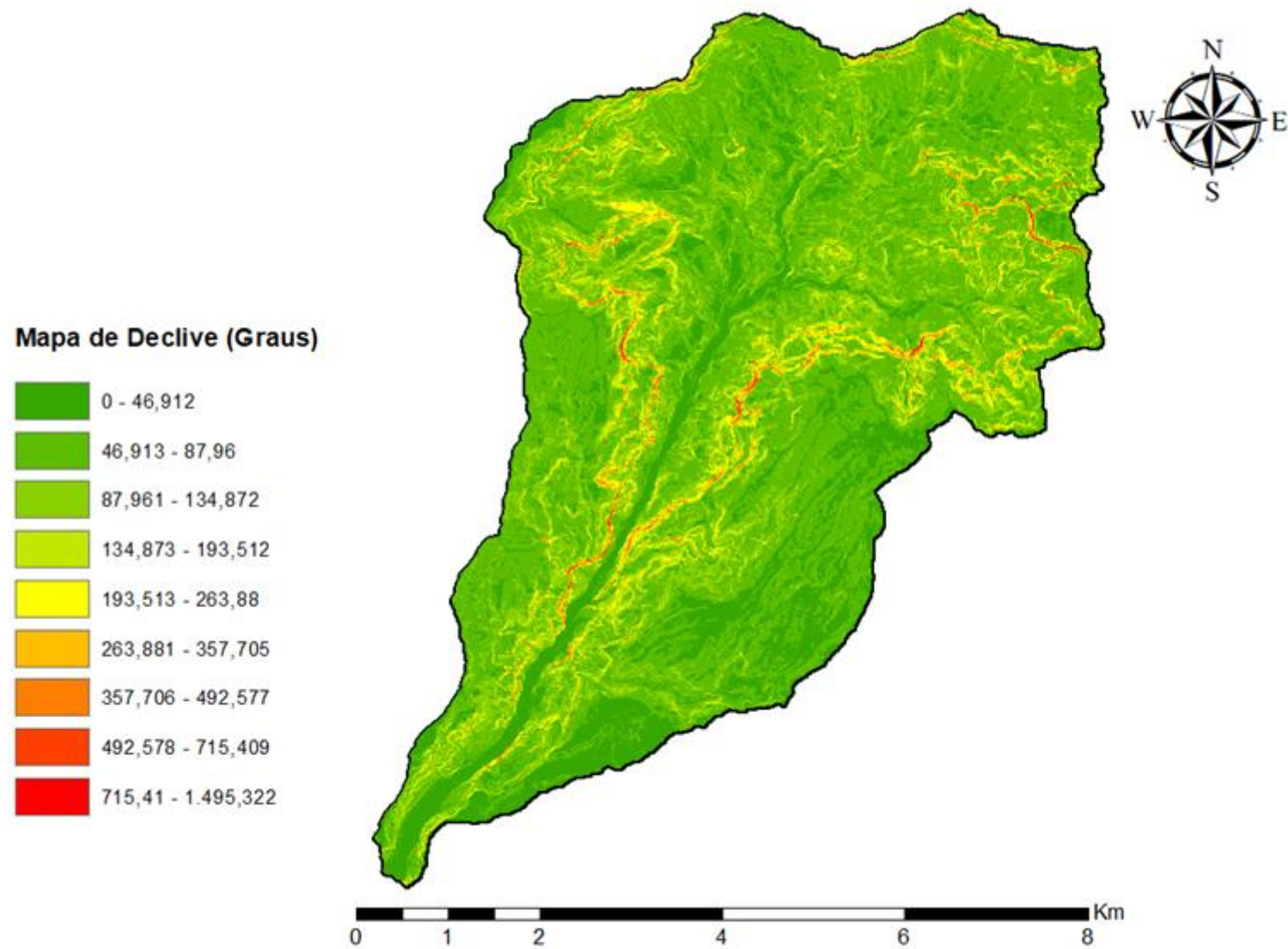


Figura - A 52 - Mapa de declive e percentagem da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).

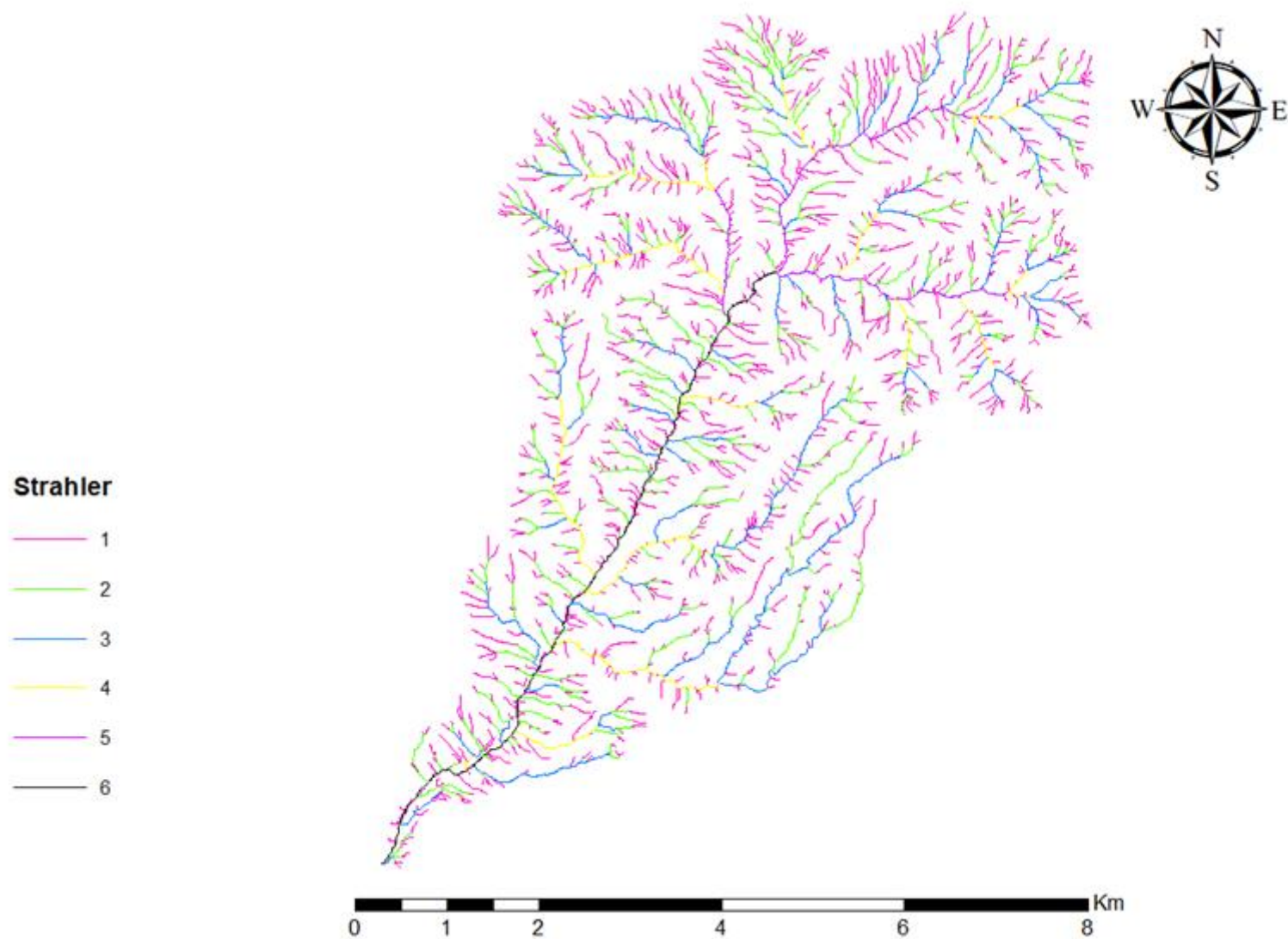


Figura - A 53 - Classificação de Strahler da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).

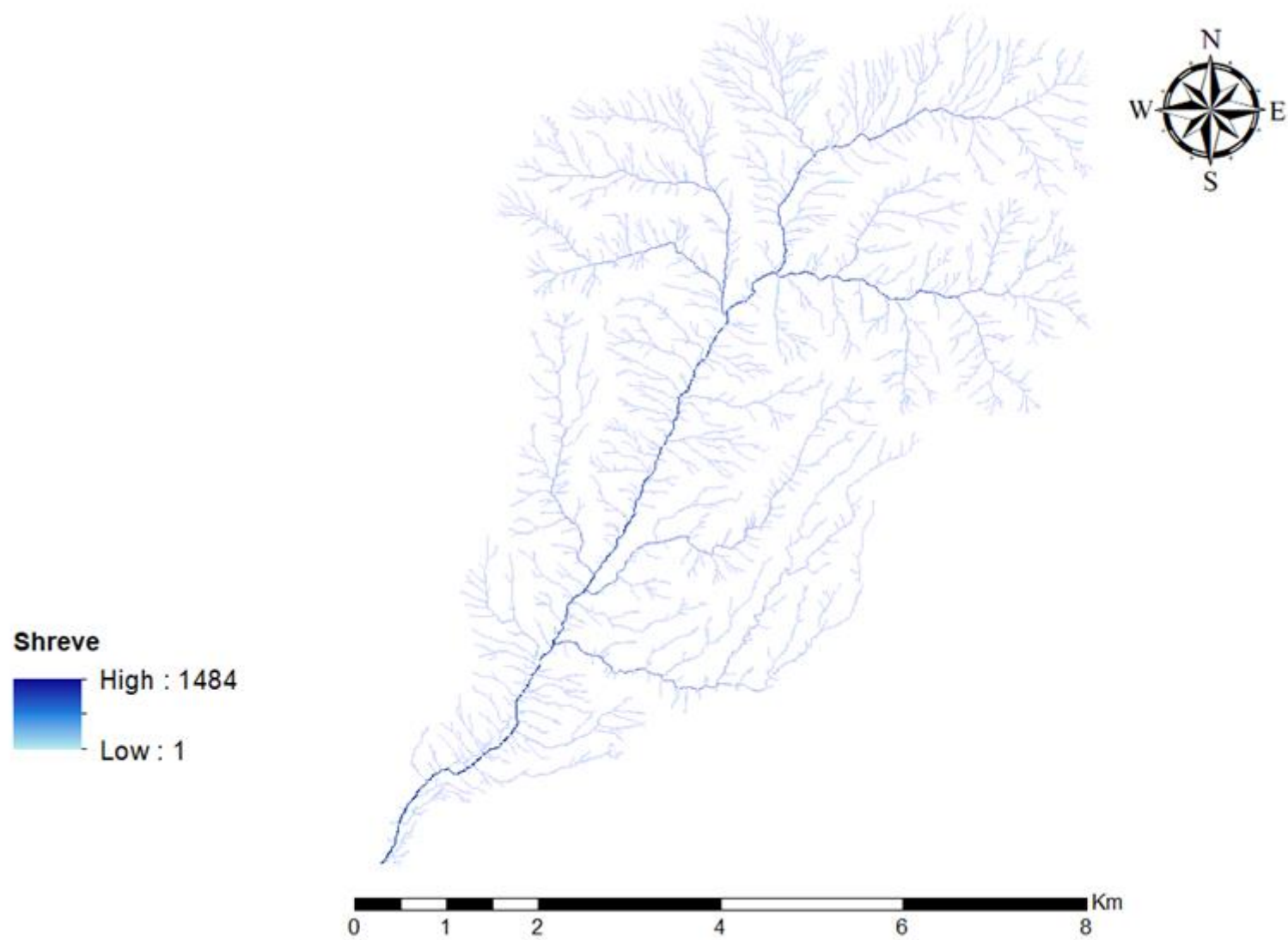
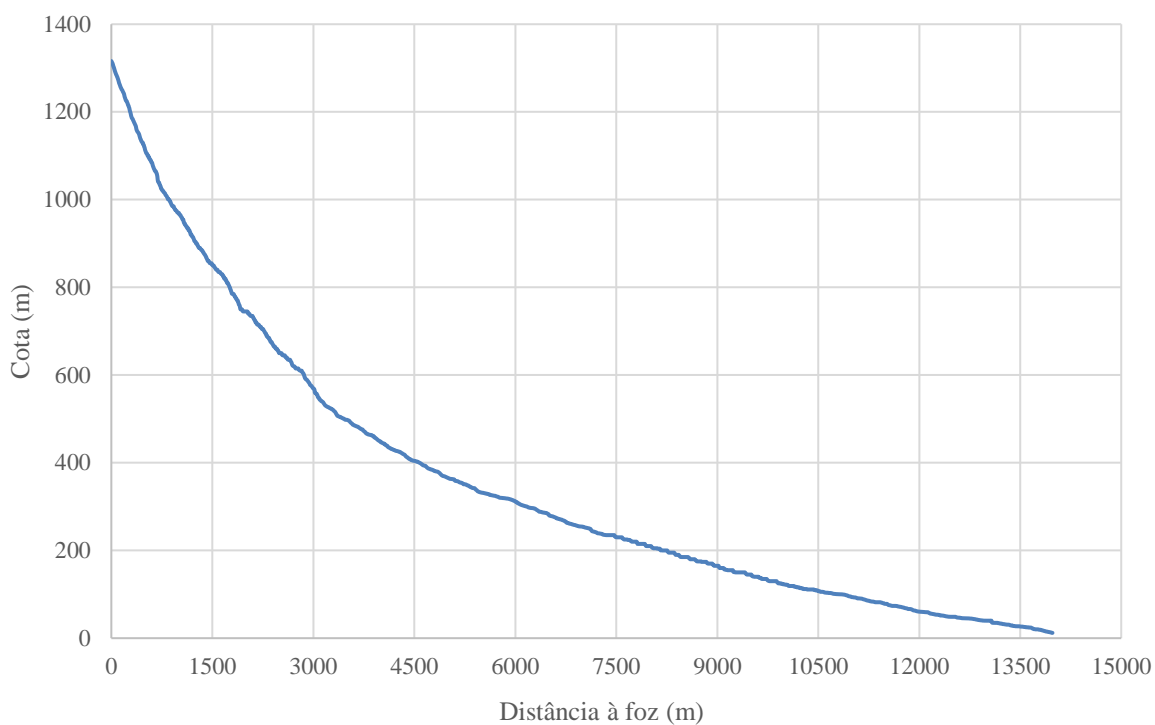
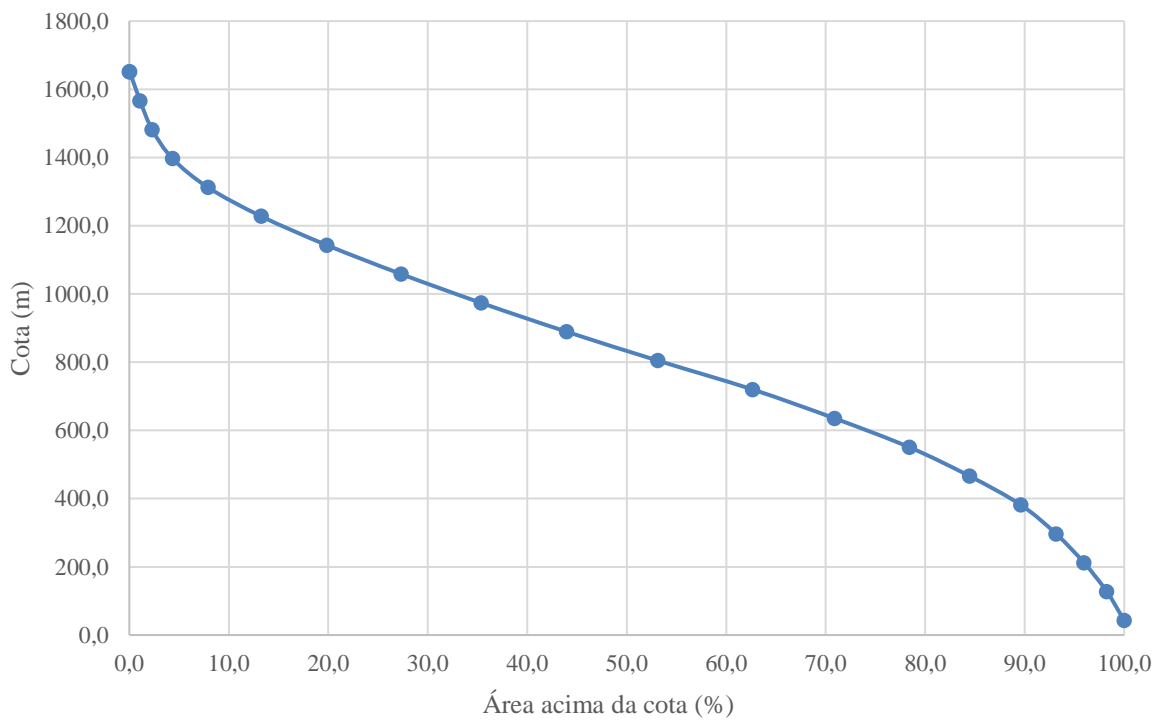


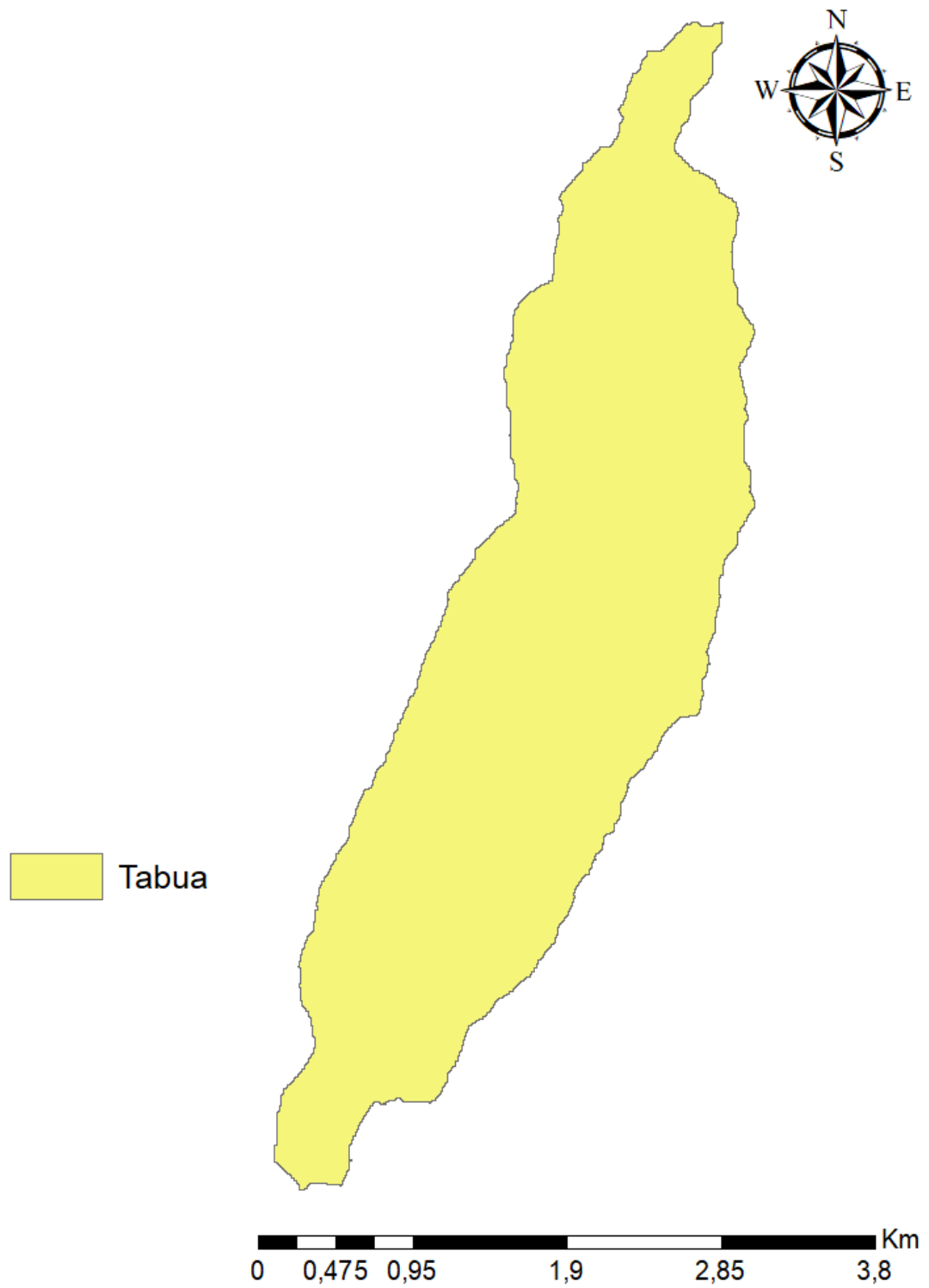
Figura - A 54 - Classificação de Shreve da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).



**Figura - A 55 - Perfil longitudinal do curso de água principal da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).**



**Figura - A 56 - Curva hipsométrica da bacia da Ribeira Brava. (Fonte: Autor, 2020).**



**Figura - A 57 - Bacia hidrográfica da Tabua. (Fonte: Autor, 2020).**

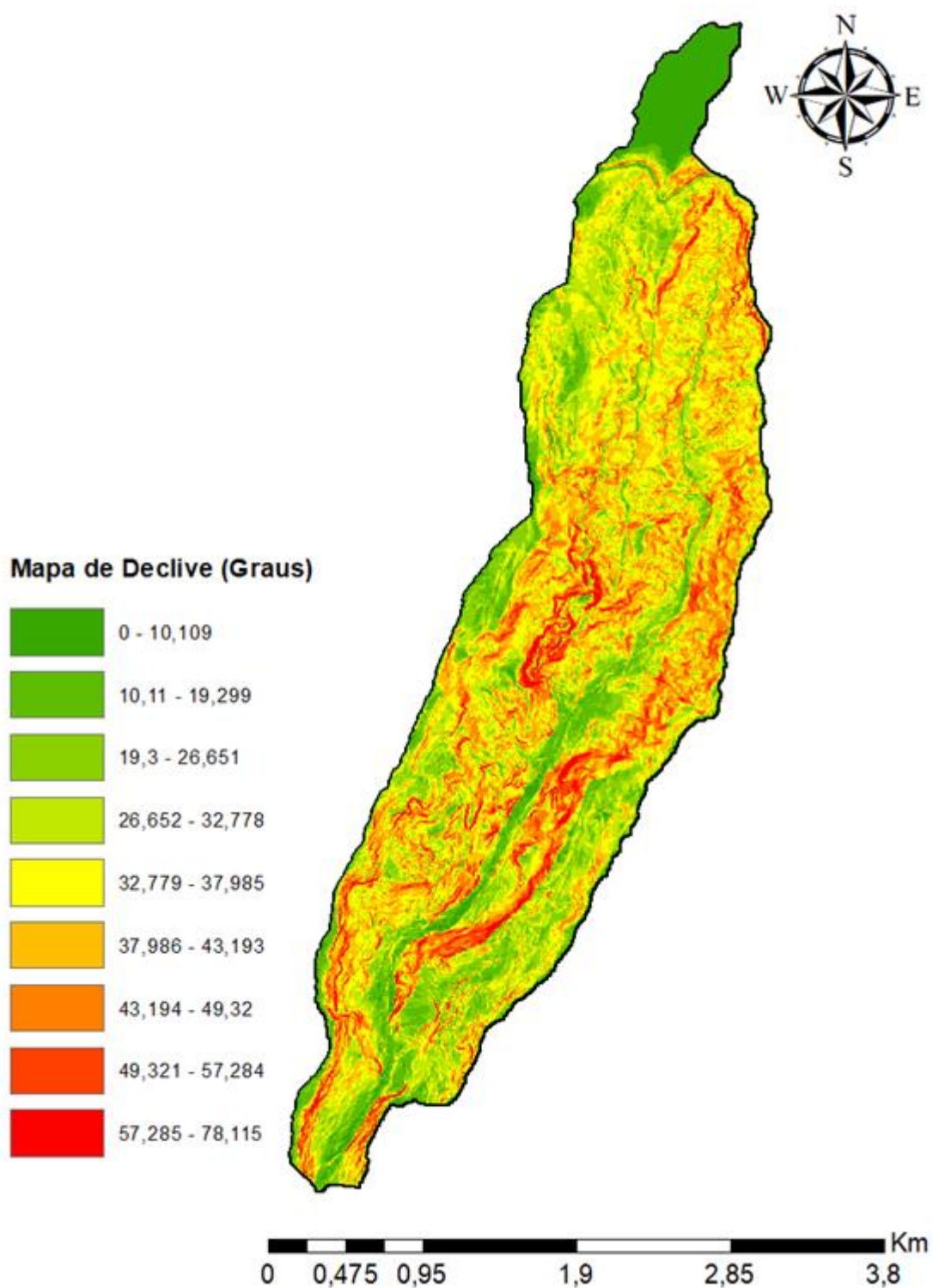


Figura - A 58 - Mapa de declive em graus da bacia da Tabua. (Fonte: Autor, 2020).

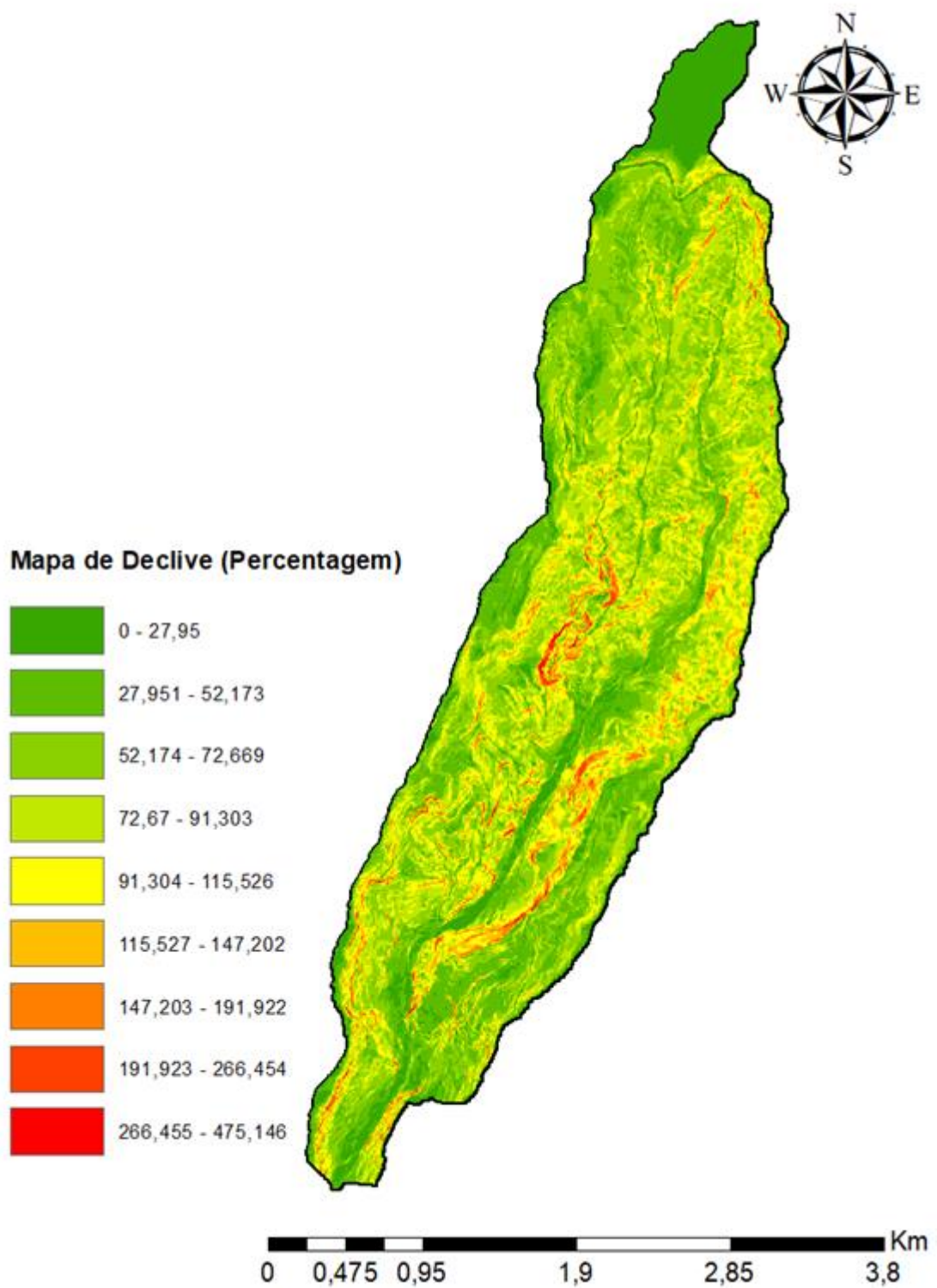


Figura - A 59 - Mapa de declive em porcentagem da bacia da Tabua. (Fonte: Autor, 2020).

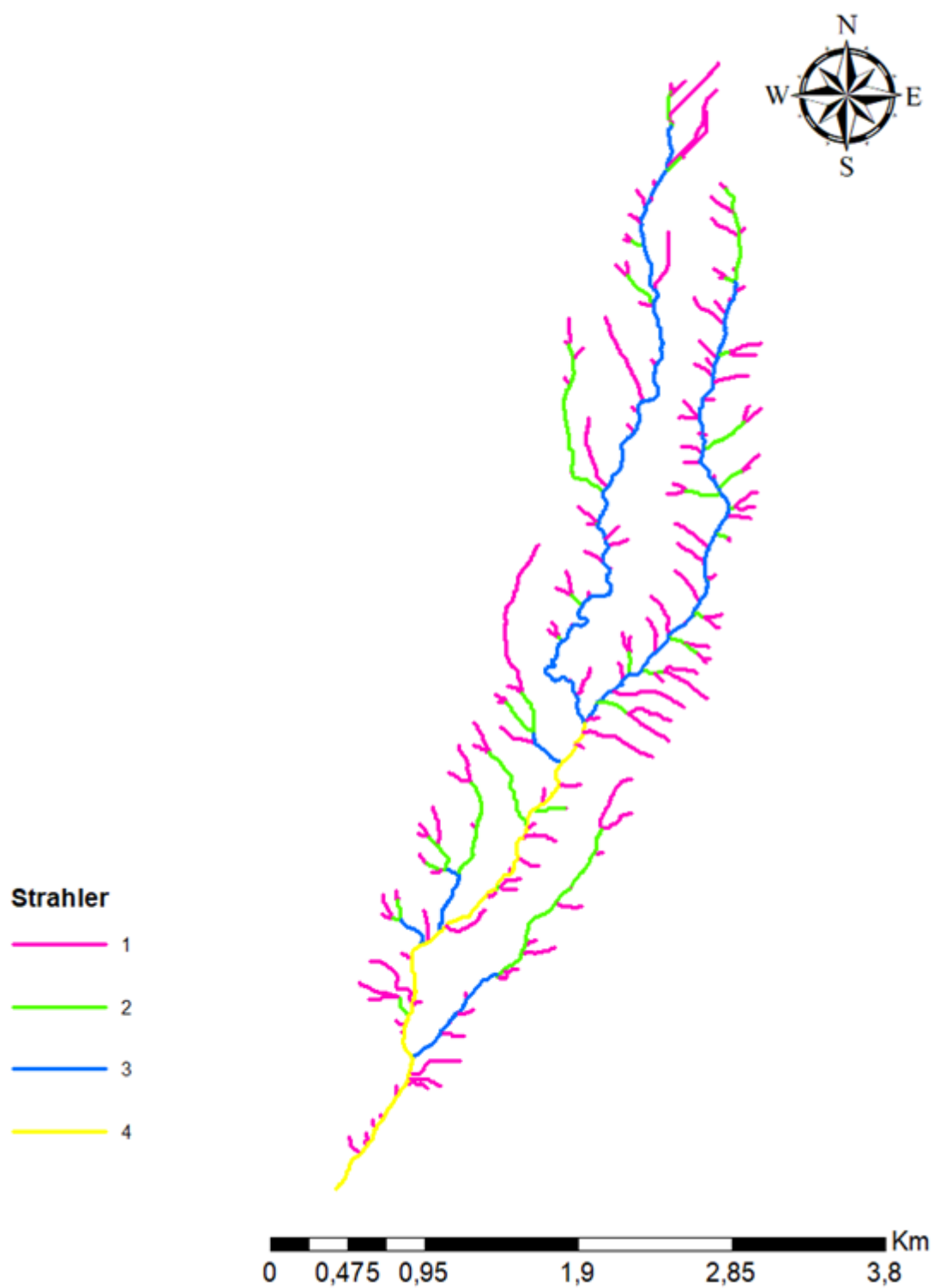


Figura - A 60 - Classificação de Strahler da bacia da Tabua. (Fonte: Autor, 2020).

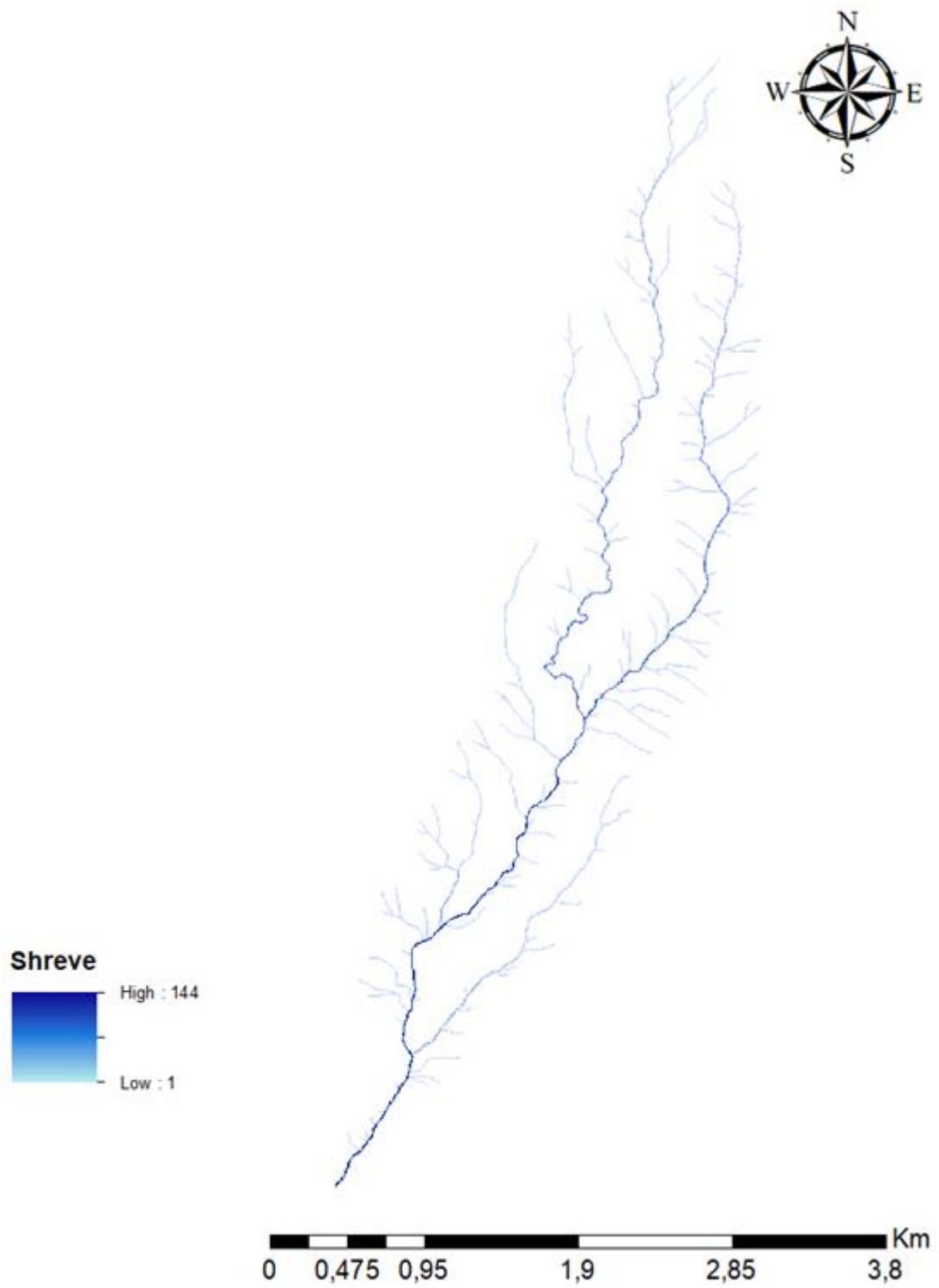
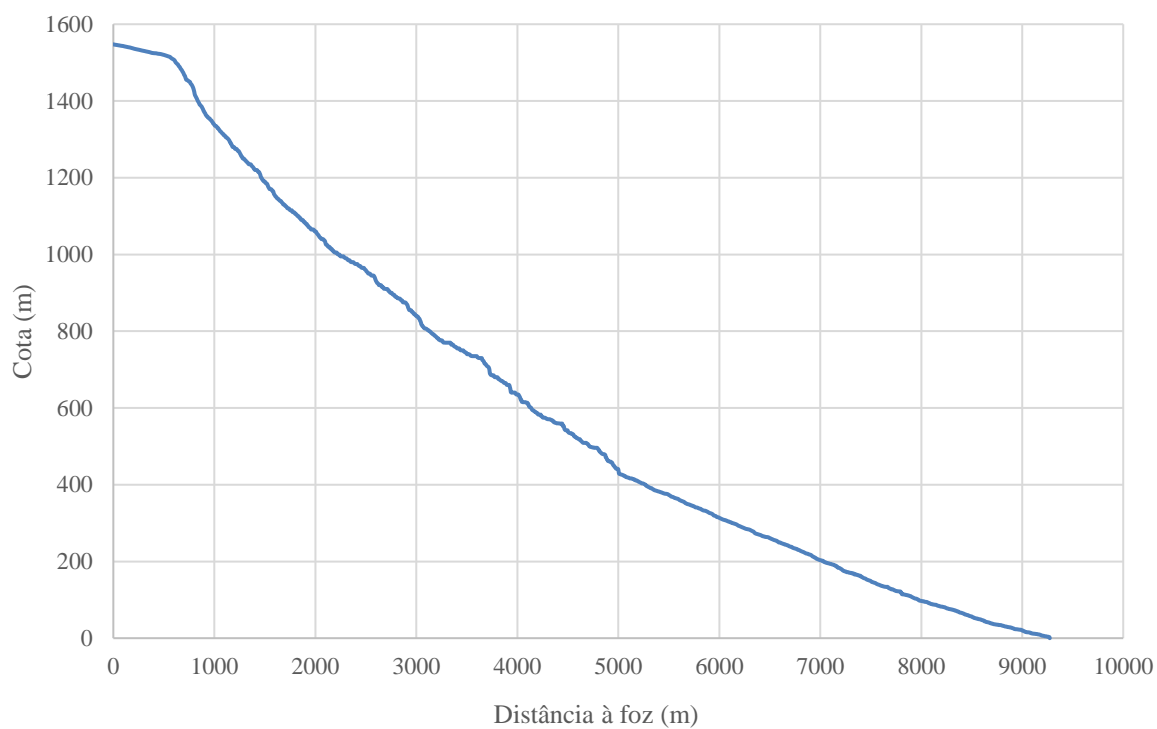
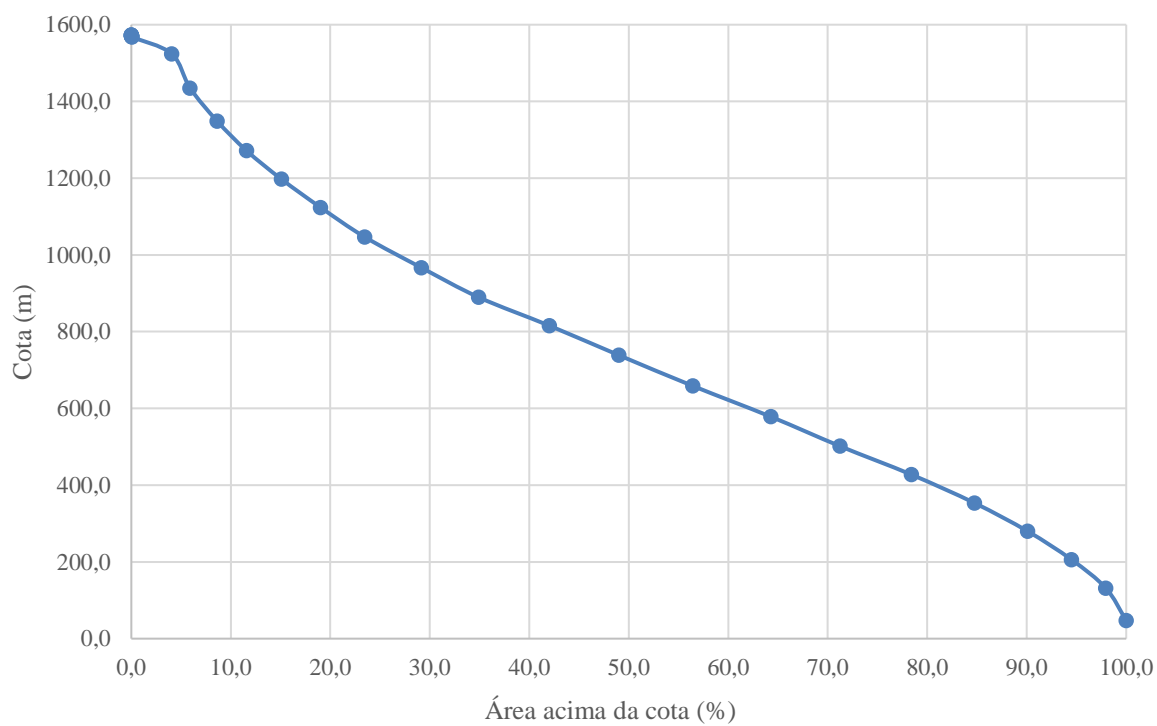


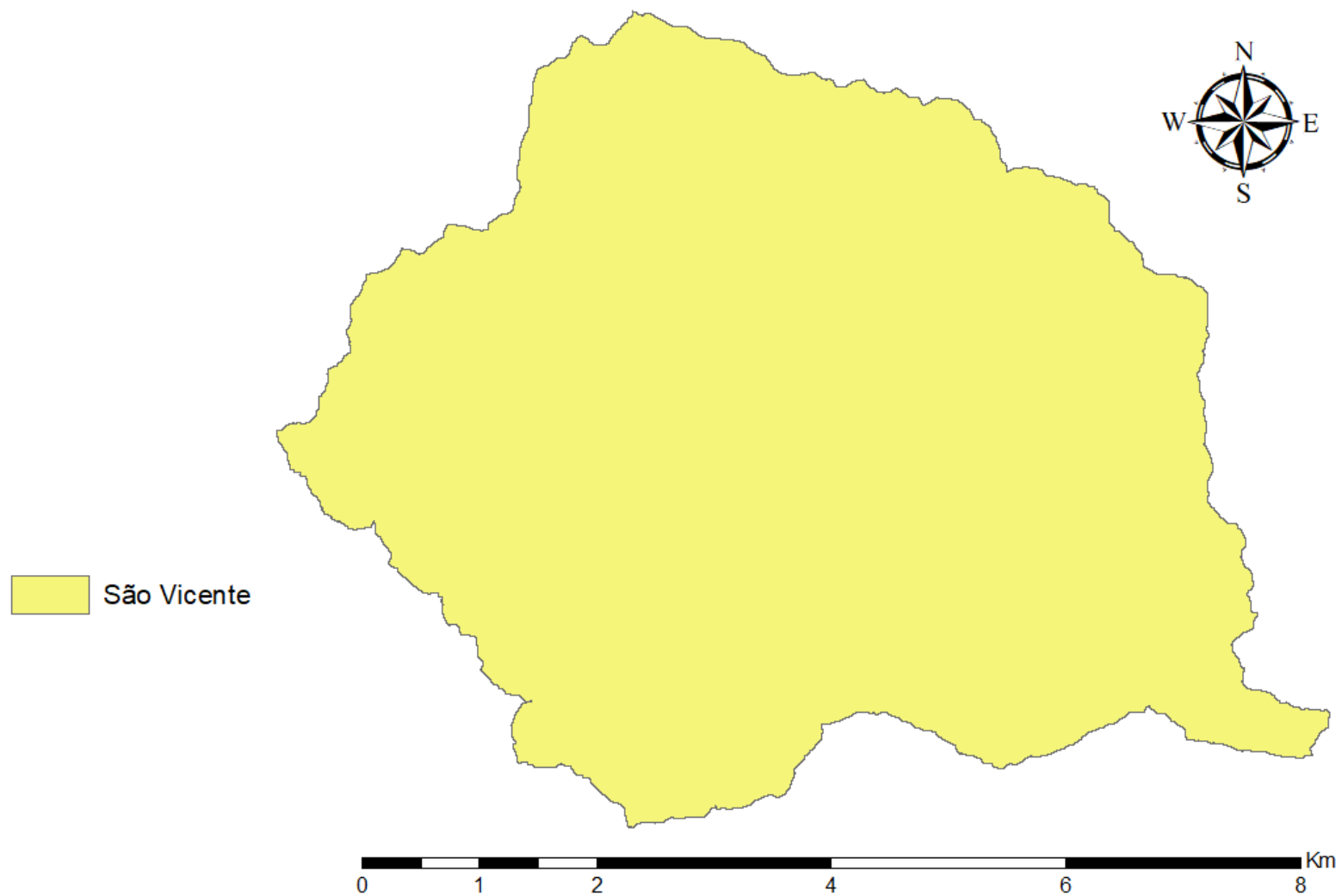
Figura - A 61 - Classificação de Shreve da bacia da Tabua. (Fonte: Autor, 2020).



**Figura - A 62 - Perfil longitudinal do curso de água principal da bacia da Tabua. (Fonte: Autor, 2020).**



**Figura - A 63 - Curva hipsométrica da bacia da Tabua. (Fonte: Autor, 2020).**



**Figura - A 64 - Bacia hidrográfica de São Vicente. (Fonte: Autor, 2020).**

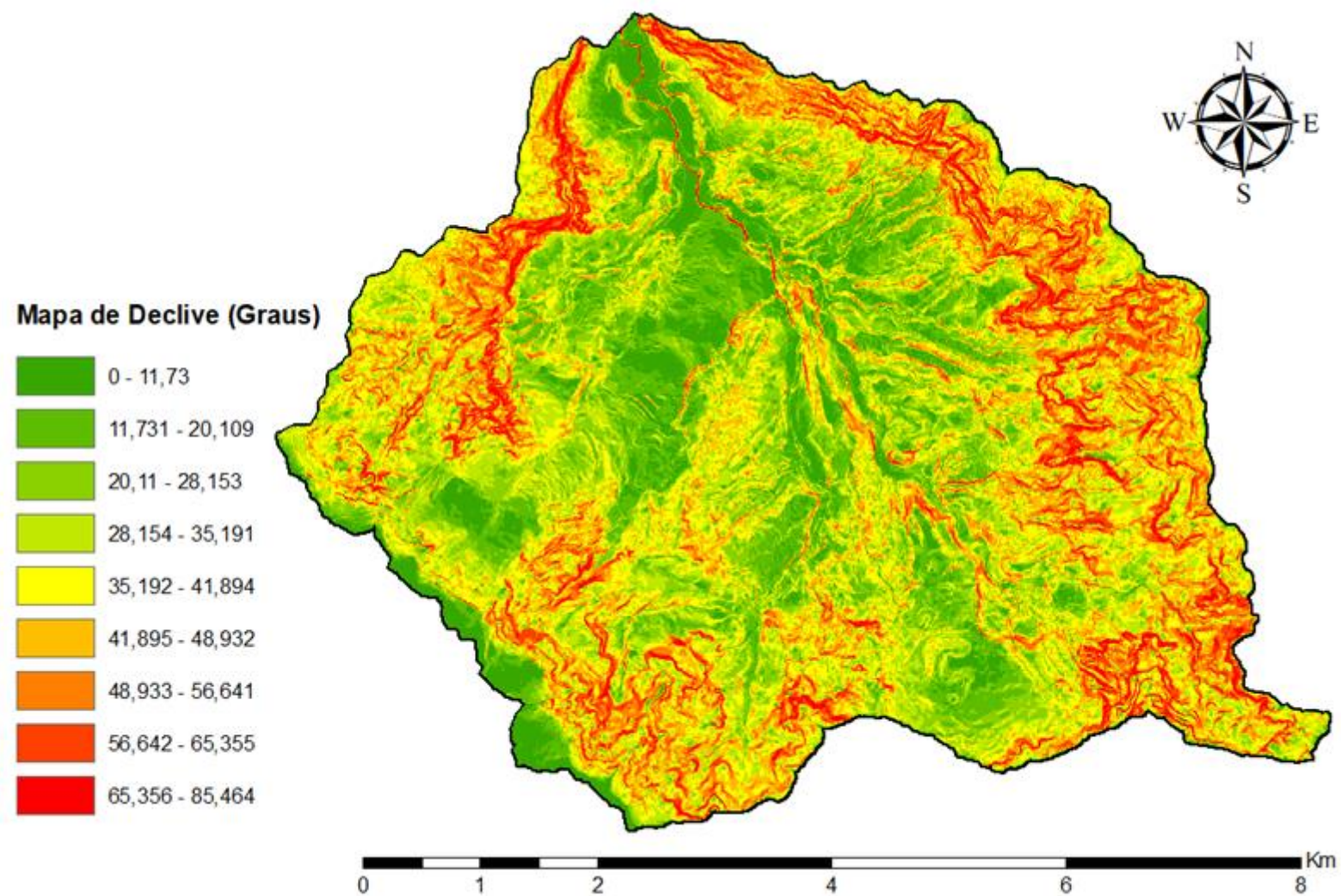


Figura - A 65 - Mapa de declive em graus da bacia de São Vicente. (Fonte: Autor, 2020).

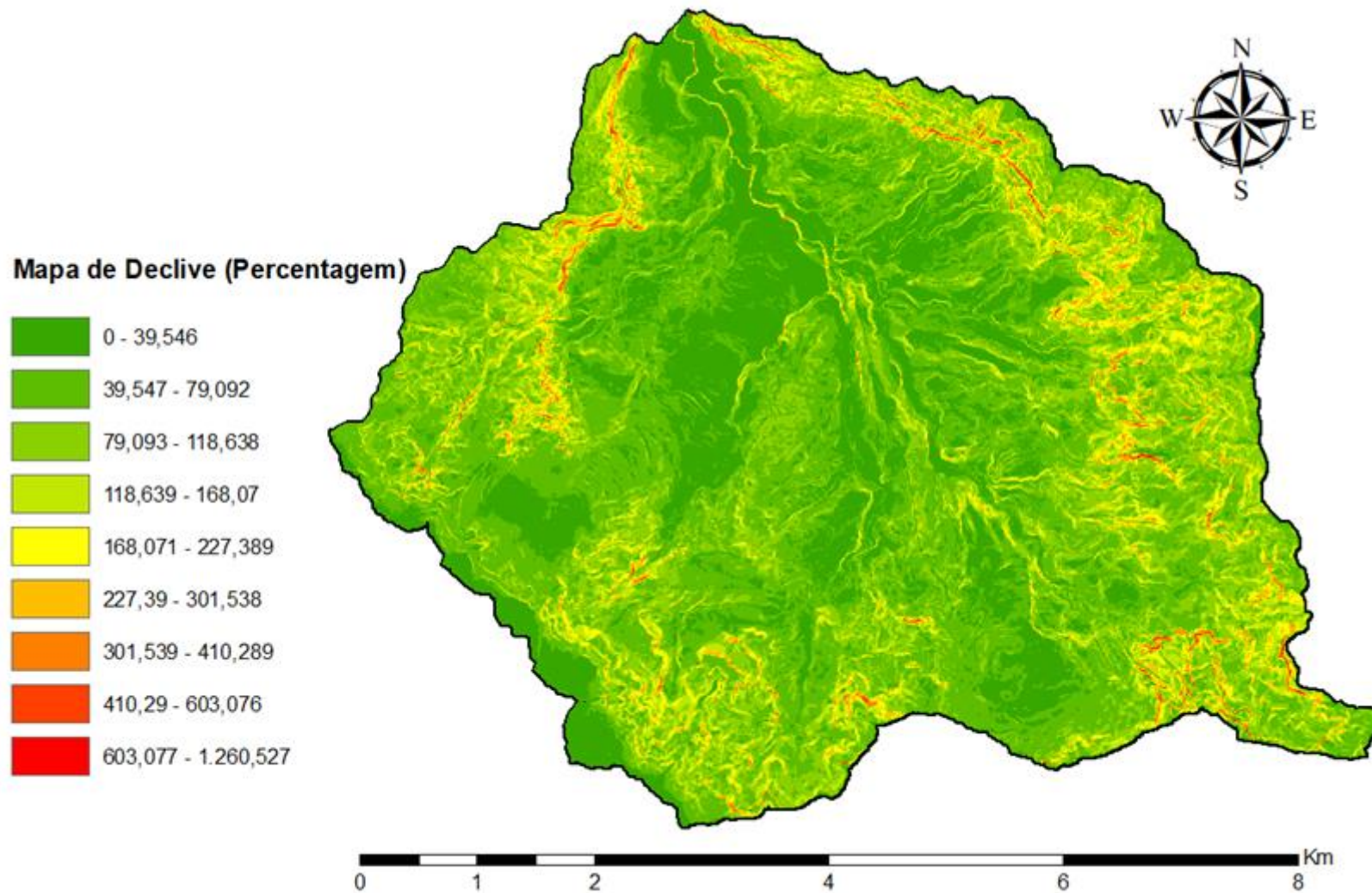


Figura - A 66 - Mapa de declive em percentagem da bacia de São Vicente. (Fonte: Autor, 2020).

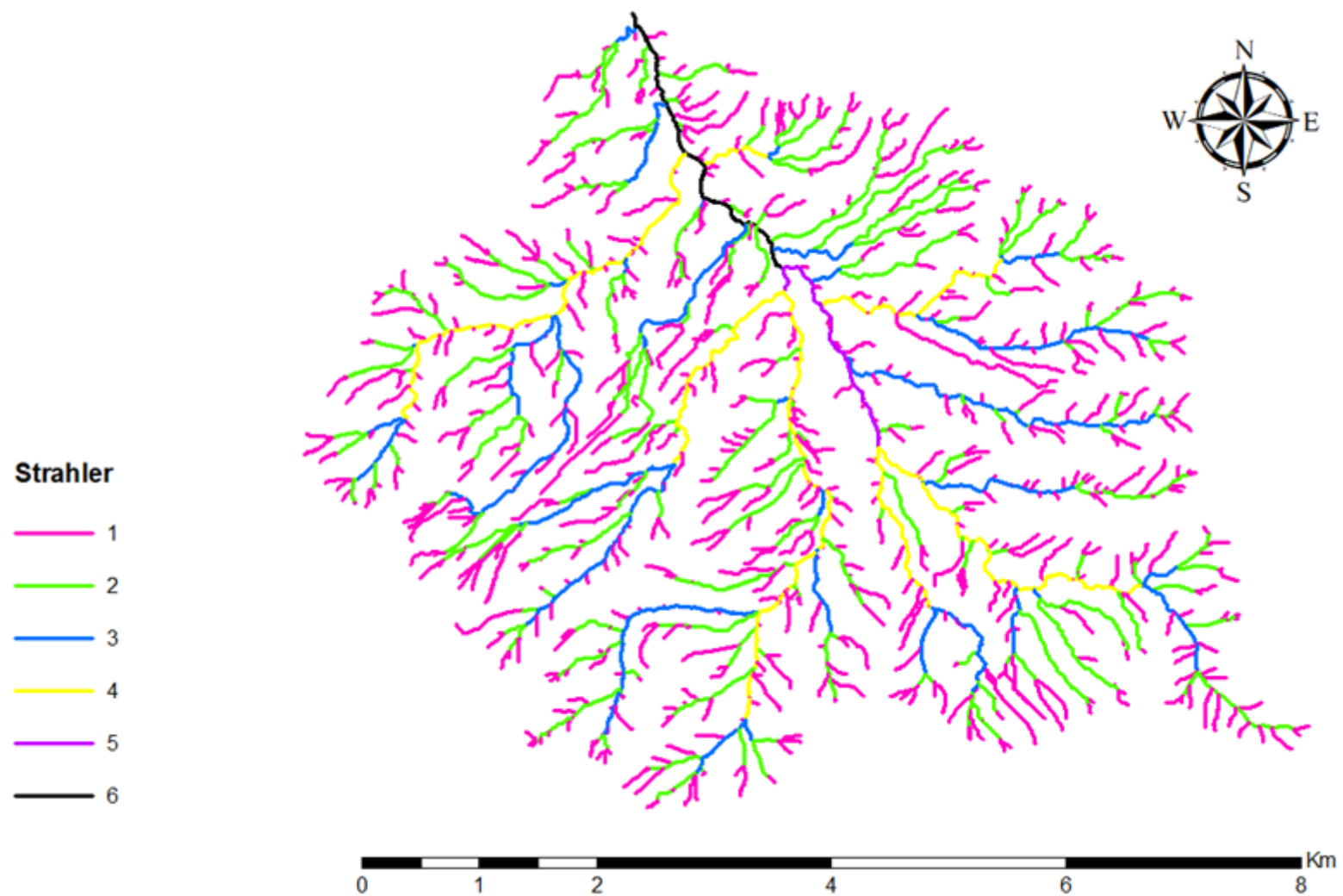


Figura - A 67 - Classificação de Strahler da bacia de São Vicente. (Fonte: Autor, 2020).

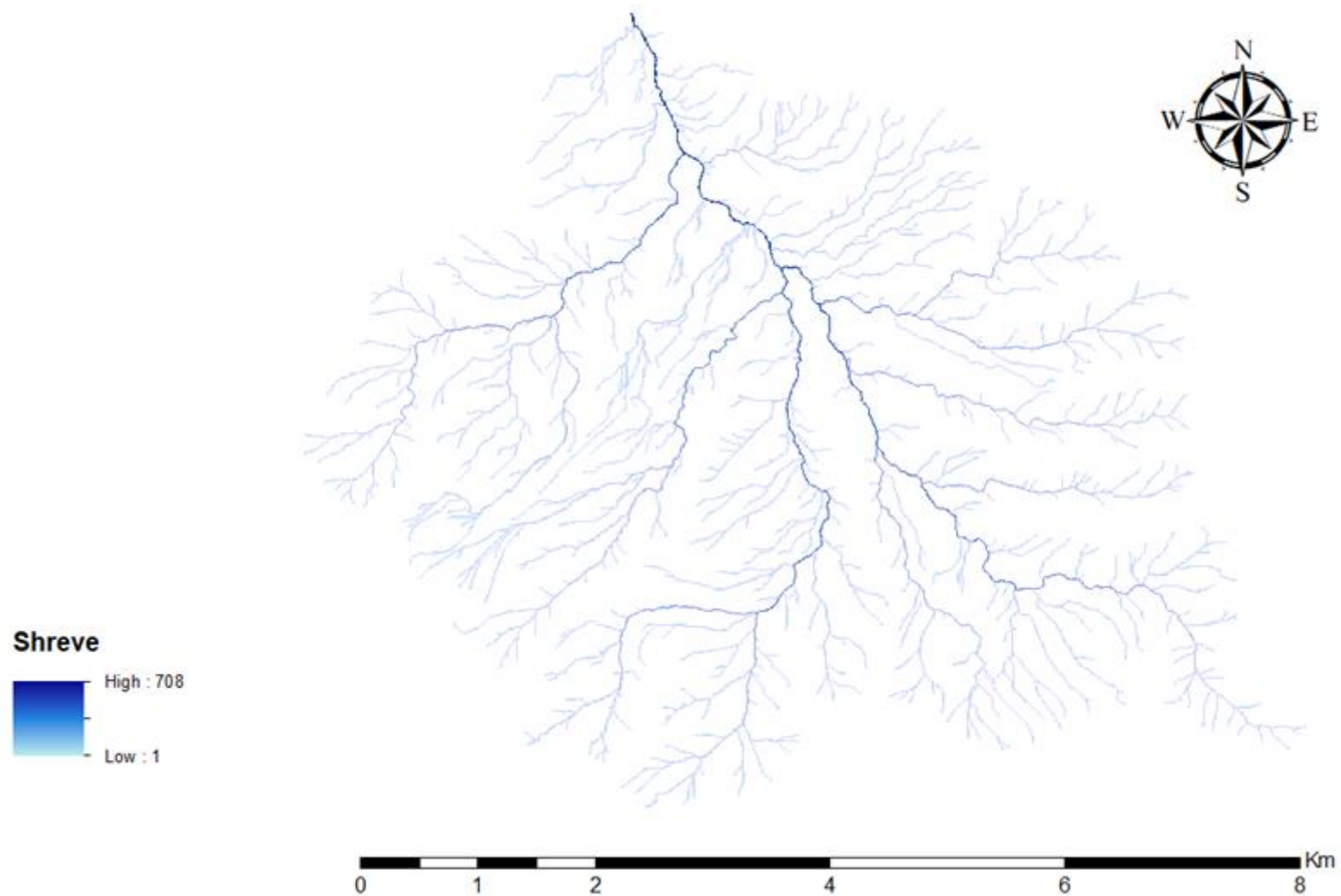


Figura - A 68 - Classificação de Shreve da bacia de São Vicente. (Fonte: Autor, 2020).

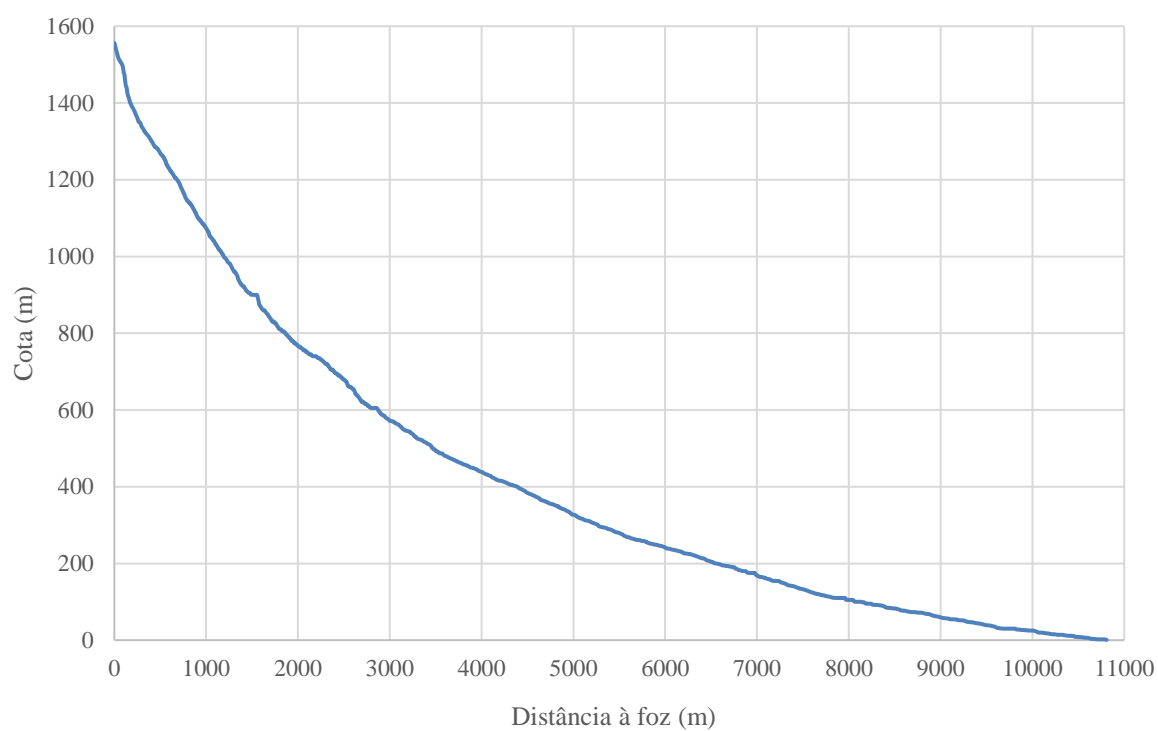


Figura - A 69 - Perfil longitudinal do curso de água principal da bacia de São Vicente. (Fonte: Autor, 2020).

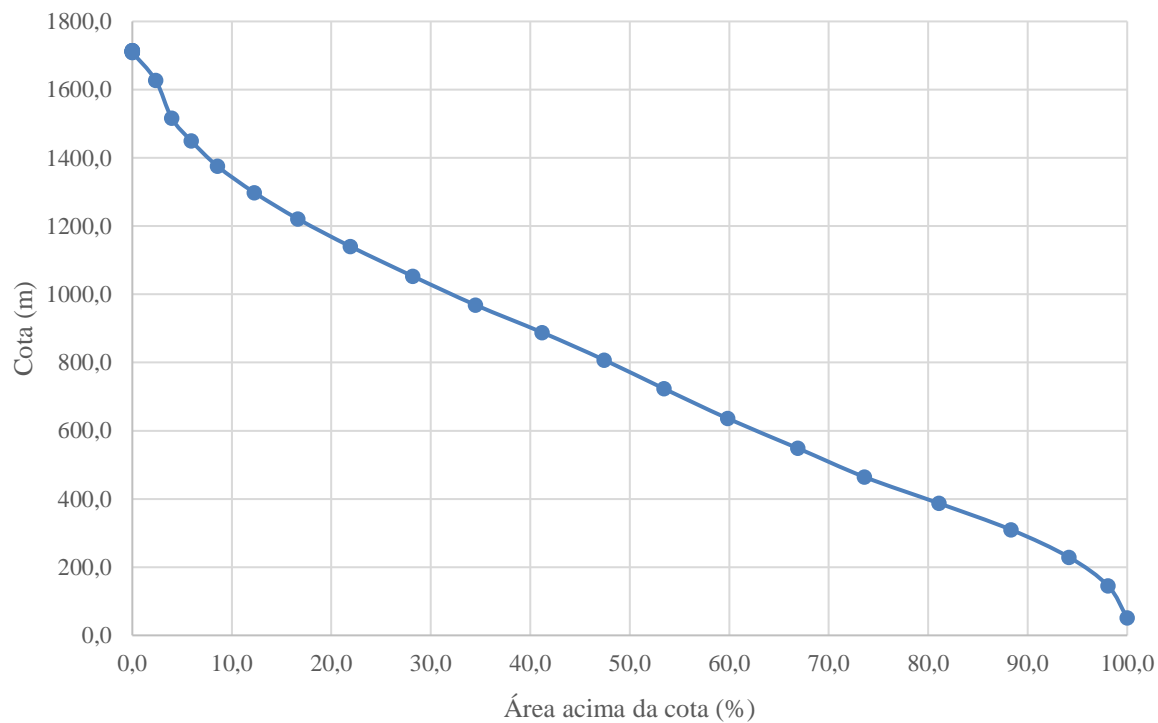


Figura - A 70 - Curva hipsométrica da bacia de São Vicente. (Fonte: Autor, 2020).