



**CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA, HIDROLÓGICA E DE TRANSPORTE SÓLIDO
DO EVENTO DE 20 DE FEVEREIRO DE 2010 NA BACIA HIDROGRÁFICA DA
RIBEIRA DE SANTA LUZIA – ILHA DA MADEIRA**

Ana Vanessa Afonso Spínola

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientador: Professor Doutor Paulo Miguel Macedo França

Funchal, 2010



**CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA, HIDROLÓGICA E DE TRANSPORTE SÓLIDO
DO EVENTO DE 20 DE FEVEREIRO DE 2010 NA BACIA HIDROGRÁFICA DA
RIBEIRA DE SANTA LUZIA – ILHA DA MADEIRA**

Ana Vanessa Afonso Spínola

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre

Engenharia Civil

Orientador: Professor Doutor Paulo Miguel Macedo França

Júri: Professor Doutor Paulo Miguel Macedo França

Presidente: Susana Luísa Rodrigues Nascimento Prada

Vogais: Maria do Rosário Carvalho

Funchal, 2010

AGRADECIMENTOS

Na incapacidade de nomear todas as pessoas e instituições que colaboraram, directa ou indirectamente, para a concretização deste estudo, a todos manifesto a minha sincera gratidão.

Um reconhecimento e agradecimento especial ao Professor Doutor Paulo Miguel Macedo França, da Universidade da Madeira, pela amabilidade e encorajamento, pela orientação e críticas oportunas, como orientador desta dissertação. Manifesto um forte agradecimento à co-orientadora deste trabalho a Engenheira Joana Reis.

À professora Susana Prada pela disponibilização de material bibliográfico e colaboração, no trabalho no âmbito da Geologia.

A todas as equipas que fazem parte do "*Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira*", pela oportunidade concedida para fazer parte deste estudo e pela informação disponibilizada.

Aos doutores Celso Figueira e Nuno Aguiar pelo apoio no programa de informação geográfica e nas visitas de campo.

A todos os meus amigos e colegas que me apoiaram e cooperaram na realização deste trabalho.

Por fim, um agradecimento muito especial aos meus pais por todo o apoio dado, ao longo destes anos de estudo por estarem sempre presentes nos bons e maus momentos.

RESUMO

Em consequência ao temporal que atingiu a Ilha da Madeira no dia 20 de Fevereiro de 2010, o Governo Regional da Madeira através da Secretaria do Equipamento Social decidiu fazer uma investigação sobre a *Avaliação dos Riscos de Aluviões na Ilha da Madeira*. Este estudo pretendeu analisar este tipo de fenómenos, Aluviões, para identificar problemas e posteriormente corrigi-los. Assim, foi pedido ao Instituto Superior Técnico, à Universidade da Madeira e ao LREC (Laboratório Regional de Engenharia Civil), que em parceria realizassem este estudo. O estudo incidiu sobre as zonas mais afectadas pelo temporal de dia 20, o Funchal e a Ribeira Brava. Foram estudadas as bacias das ribeiras da Ribeira Brava, Tabua, São João, Santa Luzia e João Gomes.

No presente trabalho, o autor ficou encarregue de fazer o estudo sobre a bacia hidrográfica da Ribeira de Santa Luzia.

Primeiramente, efectuou-se uma abordagem sobre a caracterização biofísica da Ilha da Madeira, para depois particularizar à bacia em estudo. Fez-se referência ao histórico das aluviões que atingiram anteriormente a ilha da Madeira e ao evento de 20 de Fevereiro.

Caracterizou-se geomorfologicamente a bacia hidrográfica, através de sistemas de informação geográfica, para uma melhor percepção do comportamento da bacia a cheias rápidas. Por último, o trabalho prático consistiu na selecção de secções, recolha e tratamento dos dados efectuados nas visitas ao terreno. Esta selecção teve como base critérios pré-estabelecidos. Após a recolha desses dados, estimaram-se os caudais máximos no pico de cheia e caudais posteriores ao evento, assim como as respectivas velocidades de escoamento. Foram igualmente estimados, através de fotos e vídeos, os volumes de material sólido depositados ao longo do curso de água principal da bacia da ribeira de Santa Luzia e em locais fora deste. Além desta estimativa, fez-se uma caracterização granulométrica percentual do material depositado. Por fim, identificaram-se os locais de inundação, zonas de depósito de material e áreas com danos em infra-estruturas.

ABSTRACT

As a result of the storm that struck the island of Madeira on February 20, 2010, the Regional Government of Madeira through Secretaria do Equipamento Social decided to do Risk Assessment on this phenomenon in Madeira Island. This study aims to analyze the behavior of these phenomenon, Alluvial, in order to identify problems to correct in the future. Thus, the Government asked the Instituto Superior Técnico, the University of Madeira and the LREC (Regional Laboratory of Civil Engineering), to carry out this study together. The study is focused on the areas most affected by the storm of February 20, which were Funchal and Ribeira Brava. The streams of Ribeira Brava, Tabua, São João, Santa Luzia and João Gomes were studied in detail.

In this work, the author was assigned to perform a study on the basin of the Ribeira of Santa Luzia.

First, an approach on the biophysical characterization of Madeira was made, followed up by an individualized study of the watershed. Then, the history of earlier floods that hit the Madeira Island and the February 20 event were referred.

The watershed was geomorphologically characterized through geographic information systems to gain better insights into the behavior of the basin to flash floods. Finally, the practical work consisted in selecting sections, data collection and processing carried out on field visits. This selection was based on predetermined criteria. After collecting these data, the author estimated flow rates in the maximum flood peak flow and post-event, as well as their flow velocities. Were also estimated, through pictures and videos, the volumes of solid material deposited along the main watercourse of the river basin of Santa Luzia and in places out of this. In addition to this estimate, it was a size grain percentage of the material deposited. Finally, the author identified the local flood zones, material deposition and areas with infrastructure damage.

Índice

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 - CARACTERIZAÇÃO BIOFÍSICA DA ILHA DA MADEIRA	3
1.1. Localização Geográfica	3
1.2. Geomorfologia	5
1.3. Relevo	6
1.4. Geologia.....	8
1.5. Pedologia	11
1.6. Rede Hidrográfica	17
1.7. Clima.....	21
1.7.1. Caracterização genérica do clima do arquipélago da Madeira	21
1.8. Recursos Hídricos.....	25
1.8.1. Recursos Hídricos Superficiais	25
1.8.2. Recursos Hídricos Subterrâneos	26
1.9. Vegetação	28
CAPÍTULO 2 - ALUVIÕES	31
2.1. História das Aluviões	31
2.2. Aluvião de 20 de Fevereiro de 2010	44
CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA DE SANTA LUZIA	55
3.1. Enquadramento geográfico da bacia hidrográfica da Ribeira de Santa Luzia.....	55
3.2. Geologia e Geomorfologia das Bacias Hidrográficas do Funchal	56
3.3. Caracterização geral da bacia hidrográfica da Ribeira de Santa Luzia.....	58
3.4. Caracterização dos solos da bacia hidrográfica da Ribeira de Santa Luzia	60

3.5. Precipitação	62
3.6. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica da Ribeira de Santa Luzia ...	64
3.6.1. Delimitação da bacia e Rede de drenagem - ArcGis.....	64
3.6.2. Hierarquização da Rede de Drenagem	68
3.6.3. Curso de água principal.....	69
3.6.4. Declives	71
3.7. Características geométricas da bacia hidrográfica da Ribeira de Santa Luzia	73
3.7.1. Factor de Forma.....	73
3.7.2. Densidade de drenagem, Densidade hídrica e Torrencialidade	74
3.7.3. Análise do Relevo da bacia.....	75
3.7.4. Tempo de Concentração e Tempo de Resposta.....	76
CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA, HIDROLÓGICA E DE TRANSPORTE SÓLIDO DO EVENTO DO DIA 20 DE FEVEREIRO DE 2010 – BACIA HIDROGRÁFICA DE SANTA LUZIA	79
4.1. Caracterização da geometria do corredor fluvial do curso de água principal	80
4.2. Selecção das secções de referência.....	80
4.2.1. Metodologia para o Levantamento das secções.....	85
4.2.2. Cálculo das áreas da secção	86
4.3. Determinação do caudal do dia 20 de Fevereiro	88
4.3.1. Metodologia utilizada para a determinação do caudal.....	88
4.3.2. Cálculo das inclinações do leito da ribeira	90
4.3.3. Determinação do caudal no leito da ribeira	91
4.3.4. Discussão de Resultados	92
4.4. Avaliação do material sólido depositado ao longo do curso de água principal....	93
4.4.1. Discussão dos resultados	95

4.5. Localização das áreas afectadas – Inundações, Deposição de material sólido e Danos em infra-estruturas	96
4.5.1. Localização das zonas inundadas.....	96
4.5.2. Localização das zonas de depósito material	102
4.5.3. Localização das áreas com danos em infra-estruturas	108
CONCLUSÕES	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ELECTRÓNICAS	122
Anexos	125
Anexos I	127
Anexos I - A.....	131
Anexos II	197
Anexos II-A.....	199

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Áreas das ilhas do Arquipélago da Madeira	4
Tabela 2 - Hipsometria das Ilhas da Madeira	7
Tabela 3 - Declives da Ilha da Madeira	7
Tabela 4 - Características gerais dos principais cursos de água da Ilha da Madeira	19
Tabela 5 - Volumes anuais de escoamento que decorrem, quer para a totalidade da Ilha da Madeira, quer para as vertentes Norte e Sul.....	27
Tabela 6 – Valores das características da bacia.....	68
Tabela 7 - Características do curso de água principal.....	71
Tabela 8 - Valores das características geométrica da bacia hidrográfica da ribeira de Santa Luzia	78
Tabela 9 - Selecção das Secções	81
Tabela 10 - Áreas de água e sólidos para cada secção	87
Tabela 11 - Valores do coeficiente de rugosidade.....	89
Tabela 12 - Declives do leito de cada secção da ribeira de Santa Luzia	91
Tabela 13 - Estimativa dos valores de caudal líquido e velocidade para cada secção	92
Tabela 14 - Volume total de material sólido	93
Tabela 15 - Volume de material sólido nas ruas e infra-estruturas onde houve deposição de material sólido.....	94
Tabela 16 - Secções de transbordo e suas características	100
Tabela 17 - Estimativa da granulometria predominante da deposição no leito da ribeira e nas ruas circundantes.....	105

Lista de Figuras

Figura 1 - Localização geográfica do Arquipélago da Madeira [Fonte: Google Earth]	4
Figura 2 - Representação do relevo da Ilha da Madeira [Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente - Atlas do Ambiente].....	6
Figura 3 - Carta geológica do Funchal [Fonte: Brum Silveira <i>et al</i>].....	11
Figura 4 - Carta de Solos da região do Funchal [Fonte: Carta dos Solos da Ilha da Madeira, 1992]	17
Figura 5 - Bacias hidrográficas da ilha da Madeira [Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente – ArcGis].....	18
Figura 6 - Temperatura máxima diária [Fonte: PRAM]	23
Figura 7 - Temperatura média anual do ar na Ilha da Madeira [Fonte: PRAM]	24
Figura 8 - Isolinhas anuais médias do escoamento superficial potencial total [Fonte: Prada <i>et al</i> , 2005]	26
Figura 9 – Modelo hidrológico para a ilha da Madeira [Fonte: Prada <i>et al</i> , 2005].....	27
Figura 10 - Ribeira da Madalena, um dia após a cheia. [Fonte: Perestrellos Photographos]	35
Figura 11 - Ribeira de Machico - Ponte Nova [Fonte: Perestrellos Photographos].....	36
Figura 12 - Ribeira de Santa Cruz junto ao tribunal [Fonte: Perestrellos Photographos].	37
Figura 13 - Vila da Ribeira Brava [Foto: Carlos Fotógrafo]	37
Figura 14 - Ribeira da Maiata no Porto da Cruz [Fonte: Desconhecido].....	39
Figura 15 - Avenida do Mar, ribeiras de Santa Luzia e de João Gomes [Foto: Rui Marote - Arquivo do Diário de Notícias]	41
Figura 16 – Vale da ribeira de São João no dia 29 de Outubro de 1993 [Foto: Agostinho Spínola - Arquivo do Diário de Notícias]	42
Figura 17 - Ponte velha da ribeira dos Socorridos, parcialmente destruída [Foto: Raimundo Quintal]	43
Figura 18 - Ribeiro do Loural, quatro dias após a cheia [Foto: Raimundo Quintal]	44
Figura 19 - Destruição da Avenida Calouste Gulbenkian [Fonte: Desconhecido]	46
Figura 20 - Deposição de material sólido na Fundoa [Fonte: Jorge Freitas – Secretaria Regional do Equipamento Social].....	47

Figura 21 - Rua dos Tanoeiros inundada na tarde do dia do temporal [Fonte: http://francis.fotosblogue.com/94724/Temporal-da-Madeira-2010-funchal/ , 11/10/10].....	48
Figura 22 - O local onde se situava a Capela das Babosas [Fonte: Desconhecido]	49
Figura 23 - Ribeira de João Gomes no centro do Funchal [Fonte: Desconhecido]	50
Figura 24 - Ribeira da Tabua [Fonte: Celso Figueira, 21/05/10].....	51
Figura 25 - Serra de Água no dia do temporal [Fonte: Desconhecido].....	52
Figura 26 - Ribeira da Ribeira Brava antes da ponte do centro da Ribeira Brava [Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=EOHTABhyX2U&feature=PlayList&p=D5434AF719B5388F&index=0&playnext=1 , 11/10/10].....	53
Figura 27 - Ponte do centro da Ribeira Brava que ficou danificada [Fonte: http://www.youtube.com/watch?v=N1ZAV2PSVu0&feature=related , 11/10/10].	53
Figura 28 - Localização da Bacia Hidrográfica de Santa Luzia [Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente– Atlas do Ambiente].....	56
Figura 29 - Geologia na bacia hidrográfica de Santa Luzia [Fonte: Brum Silveira <i>et al</i>] ...	58
Figura 30 - Carta dos solos na bacia hidrográfica de Santa Luzia [Fonte: Carta do Solos da Ilha da Madeira, 1992].....	60
Figura 31 – Precipitação média anual na Bacia Hidrográfica de Santa Luzia [Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente - Atlas do Ambiente].....	63
Figura 32 - Rede de Drenagem da Bacia de Santa Luzia	65
Figura 33 - Delimitação da Bacia Hidrográfica de Santa Luzia [Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente (Atlas do Ambiente)]	67
Figura 34 - Hierarquização de Shreve à esquerda e Hierarquização do Strahler à direita	69
Figura 35 - Identificação do curso de água principal [Fonte: ArcGis]	70
Figura 36 - Perfil longitudinal do curso de água principal [Fonte: ArcGis]	71
Figura 37 - Mapa de declives da Bacia Hidrográfica de Santa Luzia	72
Figura 38 - Localização das secções seleccionadas Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]	83
Figura 39 - Mapas da localização das secções na baixa do Funchal e no trecho intermédio do curso de água principal, à esquerda e direita respectivamente Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]	84

Figura 40 - Mapa da localização das secções a montante Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]	85
Figura 41 - Inundação na Fundoa de cima junto à Pedreira [Fonte: Jorge Freitas – Secretaria do Equipamento Social]	96
Figura 42 - Inundação do Edifício da Socipamo [Fonte: Desconhecido]	97
Figura 43 - Transbordo da secção junto à Rua 5 de Outubro e inundação da rua do Esmeraldo e do Largo dos Varadouros [Fonte: Desconhecido]	98
Figura 44 - Secção de transbordo SL_5 [Fonte: Paulo J. T. Coelho]	98
Figura 45 - Transvasamento na Ponte do Cidrão [Fonte: Paulo J. T. Coelho]	99
Figura 46 - Secção junto à Avenida do Mar [Fonte: Paulo J. T. Coelho]	99
Figura 47 - Mapa com área inundada na bacia hidrográfica de Santa Luzia Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]	101
Figura 48 – Mapas de áreas de inundação na Fundoa e na baixa do Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]	102
Figura 49 - Deposição de material sólido na Fundoa a montante da ribeira [Fonte: Ana Spínola 28/06/10]	103
Figura 50 - Deposição de material na Estrada Comandante Camacho de Freitas [Fonte: Desconhecido]	103
Figura 51 - Material depositado na zona baixa do Funchal, Ponte do Bettencourt [Fonte: Jorge Freitas – Secretaria Regional do Equipamento Social]	104
Figura 52 - Deposição de material nas ruas na Fundoa [Fonte: Jorge Freitas – Secretaria Regional do Equipamento social]	104
Figura 53 - Material depositado nas ruas circundantes à Ribeira de Santa Luzia [Fonte: Desconhecido]	105
Figura 54 - Mapa da área de depósito de material na bacia da ribeira de Santa Luzia Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]	107
Figura 55 - Mapas de áreas de depósito de material na bacia hidrográfica de Santa Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]	108
Figura 56 - Danos provocados pelo temporal na Estrada da Fundoa [Fonte: Jorge Freitas – Secretaria Regional do Equipamento Social]	109
Figura 57 - Ponte destruída na Fundoa [Fonte: Jorge Freitas – Secretaria Regional do Equipamento Social]	110

Figura 58 - Estragos no edifício da Socipamo e no afluente [Fonte: Desconhecido]	110
Figura 59 - Rua 31 de Janeiro estragos visíveis após o temporal [Fonte: Jorge Freitas – Secretaria Regional do Equipamento Social]	111
Figura 60 - Os danos nas pontes abaixo da Ponte do Bettencourt e na ponte do Cidrão respectivamente [Fonte: Desconhecido]	111
Figura 61 - Mapa das zonas danificadas na bacia da ribeira de Santa Luzia Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]	112
Figura 62 - Mapas das zonas danificadas a montante e a jusante respectivamente Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]	113

INTRODUÇÃO

Na manhã do dia 20 de Fevereiro de 2010, a precipitação contínua que se fazia sentir nos meses anteriores na Ilha da Madeira, intensificou-se. Os caudais das ribeiras subiram, os sistemas de drenagem de águas pluviais atingiram o seu limite de capacidade deixando de dar resposta à quantidade de água que caía. As ruas transformaram-se em pequenas ribeiras, inundando algumas habitações e estabelecimentos comerciais. O grande aumento do volume do fluxo de água e detritos que percorria as ribeiras, tornou-se demasiado para que estas o conseguissem suportar, e assim, as ribeiras em certos pontos transbordaram provocando grandes prejuízos nas áreas mais baixas junto à foz. Além das inundações e danos provocados pela grande quantidade de precipitação desse dia, ocorreram muitos deslizamentos e derrocadas, sobretudo nas zonas altas da ilha. Registaram-se ainda vítimas mortais, alguns feridos e centenas de desalojados.

Desde tempos longínquos que a ilha da Madeira é sujeita à ocorrência de enormes e repentinas cheias que num curto espaço de tempo fazem aumentar o caudal das ribeiras que muitas das vezes transborda das suas margens, causando danos em habitações, estradas, lojas de comércio e chegando por vezes a causar mortes. A este fenómeno dá-se o nome de aluvião.

O risco de uma aluvião depende da perigosidade da bacia e da vulnerabilidade da mesma, criada pela acção do Homem. É importante estudar este risco, para que possam ser adoptadas medidas que previnam danos materiais e vítimas.

Assim, pretende-se com este trabalho contribuir com as equipas do Instituto Superior Técnico e Laboratório Regional de Engenharia Civil para o "*Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira*". O âmbito de estudo da equipa da Universidade da Madeira, mais concretamente do autor deste trabalho, incidiu em realizar a caracterização hidráulica, hidrológica e de transporte sólido do evento do dia 20 de Fevereiro na bacia hidrográfica da Ribeira de Santa Luzia.

Para este estudo, foi necessário analisar primeiramente, quais os factores que originam o fenómeno da aluvião. Através de estudos anteriores sabe-se que este fenómeno, aluvião, é muito propício de ocorrer na Ilha da Madeira pelas características que esta comporta. Estas características definem no risco de uma aluvião, a parcela da perigosidade. Assim, as características abordadas no primeiro capítulo foram a geomorfologia, o relevo, a geologia, a rede hidrográfica, o clima, os recursos hídricos, a vegetação e a pedologia, cada um destes com a sua influência no desencadear deste fenómeno. Posteriormente, fez-se referência às aluviões ocorridas anteriormente.

No capítulo 3, analisaram-se as características da bacia em estudo, anteriormente abordadas na generalidade para a ilha, para conhecer os respectivos factores que influenciaram a ocorrência dos danos verificados. Para a caracterização da bacia, utilizou-se um programa de Sistema de Informação Geográfica, o ArcGis, e efectuou-se a delimitação da bacia e a definição do curso de água principal, retirando através do programa as características destes. Determinaram-se através dos dados adquiridos do programa coeficientes que caracterizam uma bacia, em relação ao relevo, à drenagem, à permeabilidade entre outros.

Por fim, apresenta-se o trabalho efectuado em campo com apresentação dos respectivos resultados que caracterizam o evento de 20 de Fevereiro. Neste último capítulo fez-se uma abordagem à metodologia utilizada para o trabalho de campo, de recolha de dados e selecção das secções, metodologia de cálculo de áreas, volumes de material, caudais líquidos e velocidades de escoamento. Apresentam-se ainda a localização de áreas de inundação, zonas de deposição e áreas com danos em infra-estruturas.

CAPÍTULO 1 - CARACTERIZAÇÃO BIOFÍSICA DA ILHA DA MADEIRA

A caracterização biofísica da ilha é essencial para entender a relação entre as características da Ilha da Madeira e o fenómeno das aluviões.

Neste capítulo serão então abordados alguns factores que condicionam, preparam e possibilitam a ocorrência de aluviões, tais como: a localização geográfica, a geomorfologia, o relevo, a geologia, a rede hidrográfica, o clima, os recursos hídricos, vegetação e a pedologia. Cada um destes factores individualmente influenciam na formação de uma aluvião, mas é em conjunto que a originam.

1.1. Localização Geográfica

O Arquipélago da Madeira, situado no Atlântico Norte entre os paralelos 30° 01' N e 33° 08' N e os meridianos 15° 51' W e 17° 16' W, é formado pela Ilha da Madeira, Porto Santo, Desertas e Selvagens, sendo os dois últimos grupos de ilhas despovoadas (Ver Figura 1).

A ilha de maior dimensão, e a principal do arquipélago é a Ilha da Madeira, com cerca de 742 km², 58 km de comprimento e de 23 km de largura. Esta apresenta relevos muito acentuados e vales profundos. Os dois principais pontos culminantes da ilha, os picos Ruivo (com 1862 m) e do Areeiro (com 1818 m) sobressaem da superfície planáltica o Paúl da Serra.

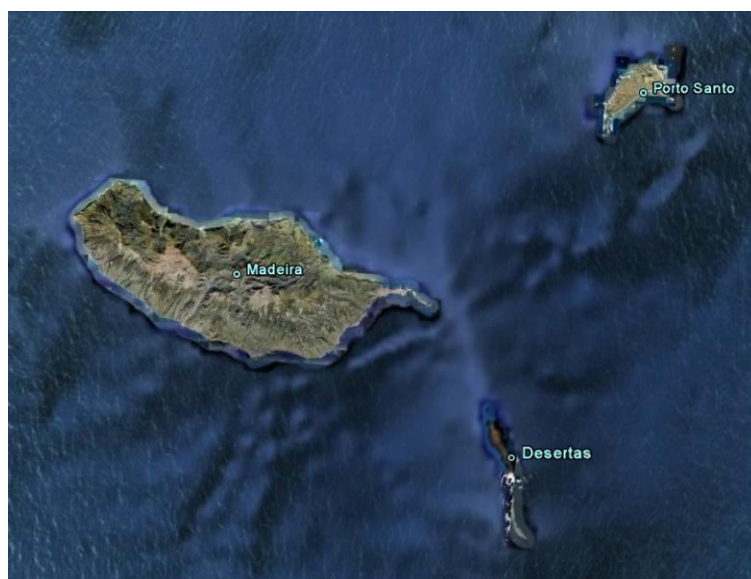


Figura 1 - Localização geográfica do Arquipélago da Madeira [Fonte: Google Earth]

Na Tabela 1 apresentam-se as áreas das ilhas do arquipélago da Madeira.

Tabela 1 – Áreas das ilhas do Arquipélago da Madeira

ILHAS DO ARQUIPÉLAGO DA MADEIRA	ÁREA (km ²)
Madeira	
Ilha da Madeira	742,00 ^(*)
Ilhéus ou afloramentos rochosos	0,26 ^(*)
Total	742,26 ^(*)
Porto Santo	
Ilha do Porto Santo	40,41 ^(*)
Ilhéus e afloramentos rochosos	2,18 ^(*)
Total	42,59 ^(*)
Desertas	
Deserta Grande	10,18 ^(**)
Bugio	3,15 ^(**)
Ilhéu do Chão	0,43 ^(**)
Total	13,75 ^(**)
Selvagens	
Selvagem Grande	2,41 ^(**)
Selvagem Pequena	0,21 ^(**)
Ilhéus	0,16 ^(**)
Total	2,78 ^(**)
ARQUIPÉLAGO DA MADEIRA	802,00

^(*) Bases geográficas à escala 1/25 000

^(**) Bases geográficas à escala 1/1 000 000

Fonte: Plano Regional da Água da Madeira, 2002

1.2. Geomorfologia

A ilha da Madeira é uma ilha vulcânica formada por um conjunto de aparelhos vulcânicos de crescimento múltiplo e variado, como sugere a sua configuração de perímetro alongado e irregular.

“A configuração deste aparelho vulcânico encarado na sua globalidade e complexidade, o qual está na origem da ilha, corresponde ao relevo vulcânico que se eleva do fundo do oceano e de que a Madeira, incluindo as Desertas, não são mais do que partes culminantes, que ultrapassaram o nível do mar.” [18]

O aspecto actual da ilha é o de um escudo achatado dissecado pela erosão vertical, apesar do seu relevo contrastante e dos vales profundamente incisos. São frequentes, ao longo do seu contorno, as arribas com algumas centenas de metros de altura predominantes na costa Norte, mais sujeita à acção abrasiva do mar e aos ventos dominantes do quadrante Norte. Embora esteja situado na vertente Sul o imponente Cabo Girão, um dos mais elevados da Europa, o litoral nesta vertente é mais suavizado, verificando-se alguma deposição dos sedimentos transportados pelos cursos de água que drenam a vertente.

A Madeira apresenta duas superfícies planálticas com regularidade significativa, contrastando com os vales profundos da Ribeira Brava e São Vicente, que separam os pontos mais altos da ilha, os picos Ruivo e o do Areeiro. São ainda importantes a evolução das vertentes originadas pelo processo de escorregamento, traduzidos pelo deslocamento de grande quantidade de volume de terrenos.

As ribeiras apresentam declives acentuados e vertentes muito inclinadas, que devido à ocorrência de regimes de escoamento torrencial resultantes da ocorrência de chuvas intensas, apresentam calhaus e blocos de grandes dimensões no seu leito rochoso, principalmente a montante.

1.3. Relevo

A ilha da Madeira apresenta um relevo muito acentuado com cerca de ¼ da sua superfície acima dos 1000m de altitude e declives elevados (Ver Figura 2). A altitude média da ilha é de 646 m, resultado de apenas 8% da área se situar abaixo de 100 m de altitude, e cerca de 51% da área apresenta altitudes situadas entre os 200 m e 800 m.

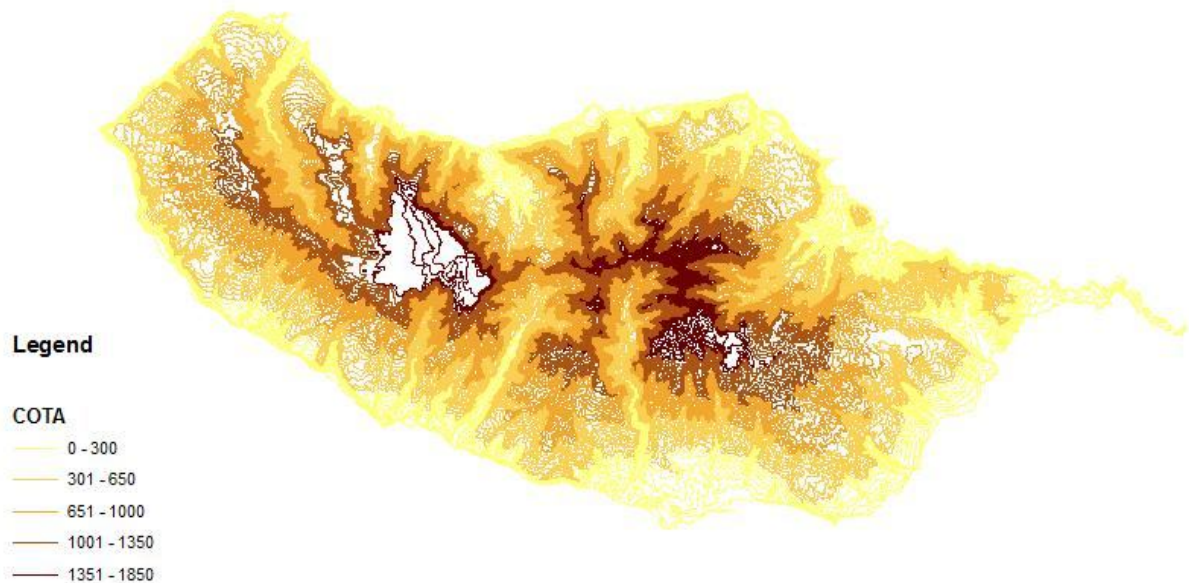


Figura 2 - Representação do relevo da Ilha da Madeira [Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente - Atlas do Ambiente]

Os relevos principais da ilha são o Maciço Central, situado na região central. Constituído pelo Pico Ruivo, o pico mais alto com 1862m, seguido do Pico das Torres com 1847 e o Pico do Areeiro com 1818m, entre os mais importantes. Fazem ainda parte dos relevos principais o Paúl da Serra, planalto que situa-se entre as cotas 1400m e 1500m e a Ponta de São Lourenço.

Contrastando com estes imponentes picos, apresentam-se enormes e profundas depressões, as cabeceiras dos vales, originadas pela erosão. Alguns exemplos de depressões são o caso do Curral das Freiras, com paredes com cerca de 600m de altura, a Ribeira Brava e São Vicente.

A Tabela 2 mostra a distribuição de altitudes na Ilha da Madeira por área e percentagem.

Tabela 2 - Hipsometria das Ilhas da Madeira

ALTITUDE (m)	ILHA DA MADEIRA	
	(km ²)	(%)
0-50	37,53	5,06
50-100	23,40	3,15
100-200	51,31	6,91
200-400	121,98	16,43
400-600	136,68	18,41
600-800	124,09	16,72
800-1000	95,36	12,85
1000-1200	71,00	9,57
1200-1400	46,15	6,22
1400-1600	31,67	4,27
1600-2000	3,07	0,41

Fonte: Plano Regional da Água da Madeira, 2002

A orografia da ilha com vales profundos e picos altos, originam encostas com declives acentuados. Cerca de 70% da superfície da Ilha da Madeira tem declives superiores a 30%, 19% tem declives entre 30% e 10% e apenas 11% da área total tem declives inferiores a 10%. São raras as áreas planas na ilha. O declive médio da área da ilha determinado através do modelo digital do terreno é de 56%, o que demonstra o relevo acentuado da Ilha. Na Tabela 3 apresenta-se a repartição das áreas por classes de declive.

Tabela 3 - Declives da Ilha da Madeira

DECLIVE (m)	ILHA DA MADEIRA	
	(km ²)	(%)
0-5	53,30	7,18
5-10	25,37	3,42
10-20	59,54	8,02

DECLIVE (m)	ILHA DA MADEIRA	
	(km ²)	(%)
20-30	80,98	10,91
30-40	83,43	11,24
40-50	78,73	10,61
50-60	73,13	9,85
60-70	66,72	8,99
70-80	55,53	7,48
80-90	42,61	5,74
90-100	31,02	4,18
100-125	46,42	6,25
125-150	22,51	3,03
150-200	16,80	2,26
200-250	4,51	0,61
250-900	1,64	0,22

Fonte: Plano Regional da Água da Madeira, 2002

1.4. Geologia

A Madeira teve origem há mais de 5,6 Ma por actividade vulcânica proveniente da ascensão de magma de um "hot spot" localizado no manto subjacente à placa tectónica Africana.

Distinguem-se três fases eruptivas, na formação da ilha, a mais antiga designada por Complexo Vulcânico Antigo (CA), desenvolvido há mais de 5,6 Ma, a intermédia Complexo Vulcânico Intermédio formado entre 5,6Ma e 2,2Ma, e a mais recente designada por Complexo Vulcânico Principal, que ocorreu entre os 1,8 Ma e os 0,006 Ma.

De acordo com estudos desenvolvidos recentemente na ilha por [4], foram identificadas várias unidades estratigráficas que compreendem "materiais vulcânicos e sedimentares produzidos quer em erupções individuais quer em épocas eruptivas, fases de

sedimentação e/ou erosão, períodos climáticos particulares ou por eventos de colapso gravítico que geraram importantes movimentos de massa.”

Assim, analisando da base da estratigrafia para o topo, o Complexo Vulcânico Antigo (CVA) é constituído por escoadas, cones e extensos campos de piroclastos, de todas as dimensões, cortados por filões. Os afloramentos das rochas mais antigas da parte emersa, que são provenientes deste complexo encontram-se actualmente em erosão, expostas pelas ribeiras mais profundas e pela abrasão marinha. Este complexo é composto por duas unidades, as quais descreve-se em seguida.

A mais antiga unidade da ilha, a Unidade de Porto da Cruz (CVA1), relacionada com o final da fase submarina do vulcão. É constituída por rochas muito alteradas de possível origem hidromagmática, cortadas por uma rede densa de filões. Esta unidade pode ser encontrada no Porto da Cruz e no interior do vale de S. Vicente. A unidade mais recente, a Unidade dos Lameiros (CVA2), fica situada próximo do Sítio dos Lameiros, no Vale de S. Vicente e é composta por uma sequência de depósitos carbonatados marinhos de baixa profundidade que assenta sobre CVA1.

O Complexo Vulcânico Intermédio (CVI) que faz parte da segunda fase de edificação do vulcão, desenvolvido em ambiente subaéreo, é composto por três unidades estratigráficas: a Unidade da Encumeada (CVI1), a Unidade da Penha d'Águia (CVI2) e a Unidade do Curral das Freiras (CVI3).

A Unidade da Encumeada aflora essencialmente na região da Encumeada, é constituída por produtos vulcânicos subaéreos de composição básica, às vezes muito alterados. Podem observar-se ainda alternâncias de derrames lávicos com depósitos piroclásticos de queda, ocasionalmente com brechas vulcânicas e depósitos de fluxo piroclástico.

Sobre a unidade CVI1 fica a Unidade da Penha d'Águia, que aflora em quase toda a ilha. É composta por sequências vulcânicas básicas resultantes de actividade efusiva e explosiva subaérea. Subsequente a esta tem a Unidade do Curral das Freiras formada por uma sequência de produtos de actividade efusiva. Em locais, é composta por empilhamentos de derrames basálticos espessos, como a Encumeada e Paul da Serra, e por empilhamentos de numerosas escoadas finas ou materiais piroclásticos no Maciço

Central. Inclui produtos de actividade freato-magmática, assim como concentrações de cones caracterizadas por predomínio de piroclastos basálticos sobre as escoadas, ou cones isolados dispersos e expostos em cortes nas vertentes dos vales e depósitos sedimentares.

No topo encontra-se o Complexo Vulcânico Superior (CVS), terceira e última fase de edificação do vulcão. Este é composto por duas etapas de actividade eruptiva em ambiente subaéreo, que são a Unidade dos Lombos (CVS1) e a Unidade do Funchal (CVS2).

A etapa de revestimento vulcânico insular é definida pela Unidade dos Lombos que representa o período em que a actividade vulcânica revestiu, quase na totalidade, o edifício vulcânico aumentando a dimensão da ilha e colmatando a maior parte das formas erosivas desenvolvidas até a essa altura. A unidade é composta principalmente por escoadas lávicas intercaladas por materiais piroclásticos de composição basáltica.

A Unidade do Funchal bem exposta na região do Funchal aflora um pouco por toda a ilha. É composta por escoadas lávicas e materiais piroclásticos basálticos, e engloba também algumas erupções que ocorreram em ambiente submarino litoral originando cones surtseianos e depositando piroclastos basálticos submarinos.

Na região do Porto da Cruz, é possível observar afloramentos de rochas intrusivas granulares de dimensão reduzida e má exposição, compostos por várias litologias desde gabros com feldspatóides a essexitos.

Mais recentes são os depósitos não vulcânicos, provenientes de aluviões e terraços, areias e cascalheiras de praia, areias eólicas, depósitos de movimentos de massa, depósitos de leque aluvial, depósitos periglaciários e glaciários. Encontram-se ainda depósitos de movimento de massa resultantes da acção da gravidade sobre as vertentes de declive elevado e grande desnível, como por exemplo a Penha de Águia e Cabo Girão, Ribeira dos Socorridos entre outros.

Outro tipo de depósito presente na ilha é o depósito de leques aluviais, situados geralmente na dependência de canais de escorrência torrencial, muito inclinados. Estes depósitos formam vertentes regulares de fraca inclinação para o interior dos vales,

compostos por conglomerados constituídos por blocos sub-angulosos a sub-rolados, em geral pouco consolidados.

Na Figura 3 estão representados os diferentes complexos vulcânicos da região do Funchal.

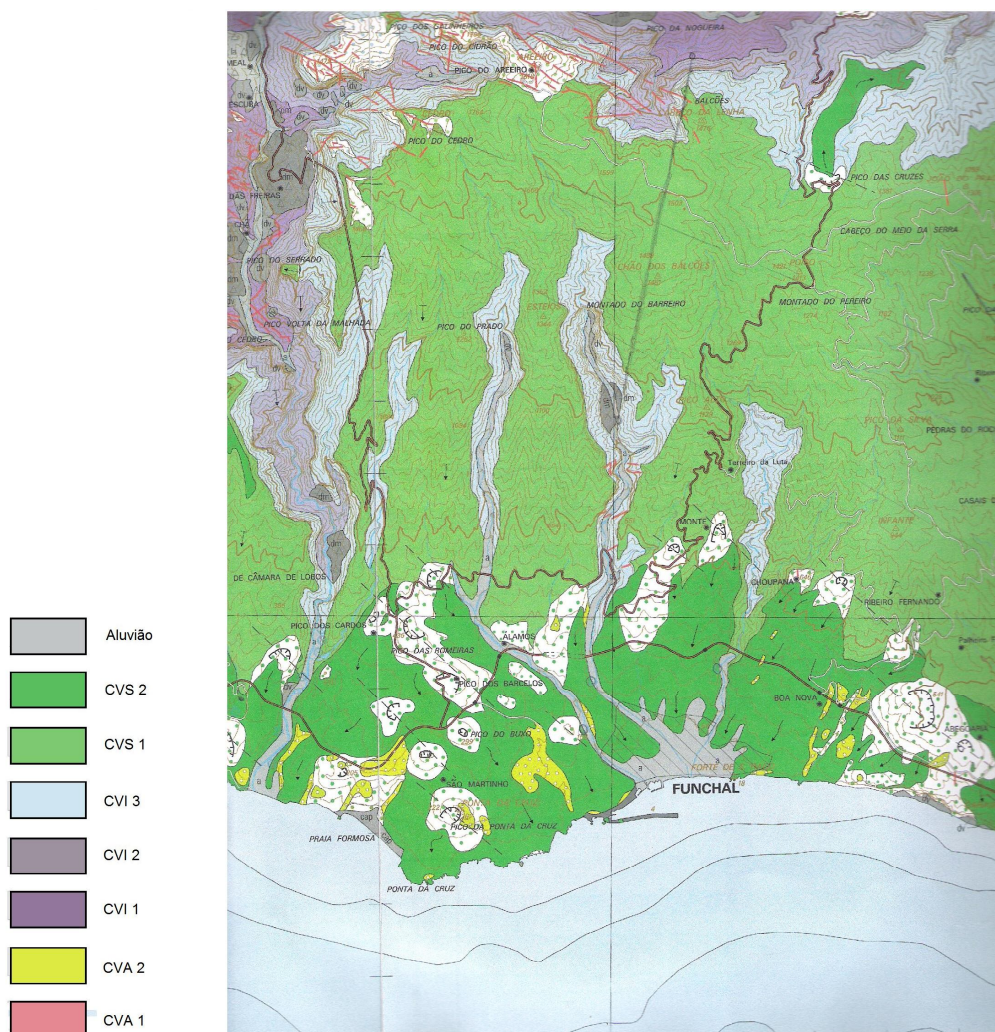


Figura 3 - Carta geológica do Funchal [Fonte: Brum Silveira *et al*]

1.5. Pedologia

O solo pode ser definido com um conjunto de corpos naturais que ocorrem na superfície da terra e que contêm matéria viva. Trata-se de um elemento de suporte das plantas composto por partículas de rochas em diferentes estádios de desagregação, água e

substâncias químicas dissolvidas, ar, organismos vivos e matéria orgânica em diferentes fases de decomposição [1].

Para a formação e evolução do solo são essenciais a contribuição de alguns factores, o material original, o clima, a actividade biológica, a topografia, a idade e a acção do Homem.

O material original, apesar de ter uma influência passiva, é a base para a formação do solo e é a partir dele que os outros factores vão incidir apresentando elevada importância. O clima influi na formação do solo, através da chuva e da temperatura combinada com a distribuição variada dos elementos solúveis e na velocidade das reacções químicas. A topografia influencia na exposição a vários factores como a água, vento, a temperatura e a insolação. Os microorganismos decompõem a matéria vegetal presente no solo, elemento importante e predominante no solo. A idade é o tempo que um solo tem para se formar, ou seja, o tempo que os diversos factores actuam para a sua formação.

O factor acção do Homem apresenta aspectos positivos e negativos. O aspecto negativo é a destruição da vegetação natural e a erosão dos solos devido à outrora, grande intensidade de pastoreio. Os aspectos positivos são a criação de espaços para culturas agrícolas, que ajudam na formação e evolução do solo. Salienta-se por exemplo o cultivo que contribui para a formação do solo, através das mobilizações, adubações, regas entre outras, e a construção de socalcos que controlam eficazmente a erosão dos solos.

Os solos existentes na Ilha da Madeira são constituídos, sobretudo, por material argiloso ou areno-argiloso, ácidos ricos em matéria orgânica, magnésio, ferro, alumínio, medianamente dotados de azoto e fósforo, pobres em potássio e muito pobres em cálcio. [1]

A caracterização dos solos que se apresenta de seguida foi realizada com base em [3] e a classificação adoptada foi da FAO/UNESCO, em que dividem-se os solos em grupos principais e unidades de solo, em que estes grupos são subdivididos.

Deste modo, os grupos principais identificados são: Fluvisolos, Arenossolos, Andossolos, Vertissolos, Cambissolos, Calcissolos e Faeozemes. De seguida, faz-se uma descrição e caracterização sucinta destes grupos.

Fluvisolos

São solos que apresentam propriedades flúvicas e que apenas podem apresentar um horizonte A ócrico, mólico ou úmbrico, ou um horizonte H hístico, ou horizonte sulfúrico, ou material sulfídrico a uma profundidade inferior a 125 cm. São constituídos por depósitos não consolidados muito heterogêneos, de origem aluvionar, localizados nas margens das linhas de água cujos cursos se encontram encaixados na sua maior extensão. Distinguem-se os Fluvisolos êutricos e Fluvisolos dístricos.

Arenossolos

Apresentam apenas um horizonte A ócrico ou um horizonte E alábico, não evidenciando propriedades flúvicas ou ândicas. São solos com textura mais grosseira do que franco-arenosa até aos 100 cm de profundidade. Na Madeira encontram-se apenas Arenossolos calcários, isto é, com propriedades calcárias que não apresentam propriedades gleicas até 100 cm de profundidade. São formados a partir de areias de dunas de natureza calcária com cor pardo-acinzentada, com textura grosseira com baixo conteúdo em matéria orgânica.

Andossolos

“Solos apresentando propriedades ândicas até à profundidade de 35 cm ou superior e tendo um horizonte A mólico ou úmbrico seguido, ou não, de um horizonte B câmbico, ou então tendo um horizonte A ócrico e um horizonte B câmbico; sem quaisquer outros horizontes de diagnóstico, sem propriedades gleicas a menos de 50 cm de profundidade; sem as características que são de diagnóstico dos “Vertissolos”, sem propriedades

sálicas.” Ocorrem sobretudo a partir de cerca de 400m, prevalecem em clima super-húmido (A) e húmido do tipo B₄. Fazem parte dos Complexos vulcânicos pós-miocénicos.

Na ilha podem encontrar-se andossolos de cor pardo avermelhado, de cor pardo escuro, pardo amarelado e vermelha. Os andossolos derivam em grande parte de rochas basálticas, por vezes originam-se a partir de tufos, em reduzida proporção. São ricos em matéria orgânica, o que faz com que se encontre horizontes orgânicos nos respectivos perfis. Observa-se com muita frequência erosão intensa, incluindo movimentos de massa.

Distinguem-se andossolos háplicos, andossolos mólicos, andossolos úmbricos e os andossolos vitricos.

Vertissolos

Solos que apresentam um teor de argila superior ou igual a 30% em todos os horizontes até pelo menos 50 cm de profundidade, após mistura do material nos 18 cm superficiais. Apresentam superfícies polidas por deslizamento que se cruzam, ou agregados estruturais angulosos ou prismáticos. Na Madeira apenas existem Vertissolos êutricos, com grau de saturação em bases igual ou superior a 50% e a uma profundidade entre 20 e 50 cm. Ocorrem sob clima semiárido e sub-húmido, distribuídos até aos 400 m de altitude sobretudo abaixo dos 200 m na costa Sul. Derivam somente de rochas basálticas de natureza compacta.

Cambissolos

São definidos por solos minerais com horizonte B câmbico e com um horizonte A ócrico, úmbrico ou mólico sobrejacente, no caso de ser mólico deve apresentar grau de saturação inferior a 50%; sem propriedades sálicas e sem propriedades gleicas até 50 cm de profundidade. Ocorrem abaixo dos 700 m em climas desde semiárido (D) a húmido (B₄). Distinguem-se os Cambissolos êutricos, Cambissolos dístricos, Cambissolos húmicos, Cambissolos crómicos e Cambissolos vérticos.

Calcissolos

Os calcissolos possuem um horizonte cálcico e/ou petrocálcico, ou concentrações de calcário brando pulverulento a menos de 125 cm de profundidade, com um horizonte A ócrico, um horizonte B câmbico ou um horizonte B árgico. Sem propriedades dos Vertissolos e dos Planossolos, sem propriedades sálicas e gleicas até à profundidade de 100 cm. Distinguem-se os Calcissolos háplicos, sem horizonte B árgico e sem horizonte petrocálcico. Encontram-se apenas sob clima semiárido e não ultrapassam os 100 m de altitude.

Faezomes

“Solos com um horizonte A mólico e com grau de saturação em base de 50% ou superior até 125 cm de profundidade, sem horizonte cálcico, horizonte gípsico e concentrações de calcário brando pulverulento; sem um horizonte B ferrálico e um horizonte B nátrico; sem as características de diagnóstico dos “Vertisols”, “Nitosols”, “Planosols” e “Andosols”; sem propriedades sálicas; sem propriedades gleicas até 50 cm de profundidade, na ausência de horizonte B árgico; não apresentando, nas faces dos agregados estruturais, grãos de limo e de areia sem revestimentos, quando o horizonte A mólico tem um croma de 2 ou inferior (no estado húmido) até 15 cm de profundidade pelo menos”. [1]

Neste tipo de solos não são evidentes as formas usuais de erosão, provavelmente por estarem armadas em socacos, no entanto é frequente apresentarem movimentos de massa.

Tipos especiais de terrenos

Depósito de Praia

Os depósitos de praia, são designados para distinguir as áreas de deposição de materiais grosseiros rolados de rochas basálticas que ocorrem ao longo da costa, sujeitas à acção das marés.

Terreno Acidentado

A unidade de terrenos acidentados foi considerada para englobar áreas montanhosas e sem escarpas, áreas montanhosas com maior ou menor extensão de escarpas e também áreas exclusivamente escarpadas.

Houve necessidade de distinguir duas unidades: o Terreno acidentado eútrico e o terreno acidentado dístrico. O terreno acidentado eútrico é constituído por vertissolos eútricos, cambissolos eútricos, cambissolos crómicos, cambissolos vérticos, calcissolos háplicos e/ou faeozemes háplicos e encontra-se até à altitude de 600 m, sob clima que varia desde semiárido a húmido de tipo B₄. O terreno acidentado dístrico é composto por andossolos háplicos e úmbricos (acima dos 400 m de altitude) e/ou cambissolos dístricos e húmicos (abaixo dos 700 m). Este distribui-se nomeadamente a partir dos 200 m, com clima húmido (B₁ a B₄) ou super-húmido (A). O escoamento superficial da água neste tipo de terrenos é grande assim como a sua erosão é muito activa.

Terreno Rochoso

São áreas ocupadas por afloramentos rochosos, em regra geral por lava basáltica, onde entre estes ocorrem solos muito delgados essencialmente Leptossolos. Distinguem-se Terreno Rochoso Eútrico e o Terreno Rochoso Dístrico. O primeiro encontra-se a 600 m de altitude, em clima entre semiárido e húmido do tipo B₄ e o seu grau de saturação em bases dos solos inclusos é superior a 50%. O terreno rochoso dístrico encontra-se a partir dos 200 m de altitude e sob clima que varia de húmido tipo B₂ a super-húmido, o grau de saturação é inferior a 50%.

Acumulações Salinas

Esta designação foi adoptada para indicar a área próxima do Paúl da Serra onde os solos apresentam grandes concentrações salinas à superfície e muito provavelmente também muito impregnados de sais até certa profundidade.

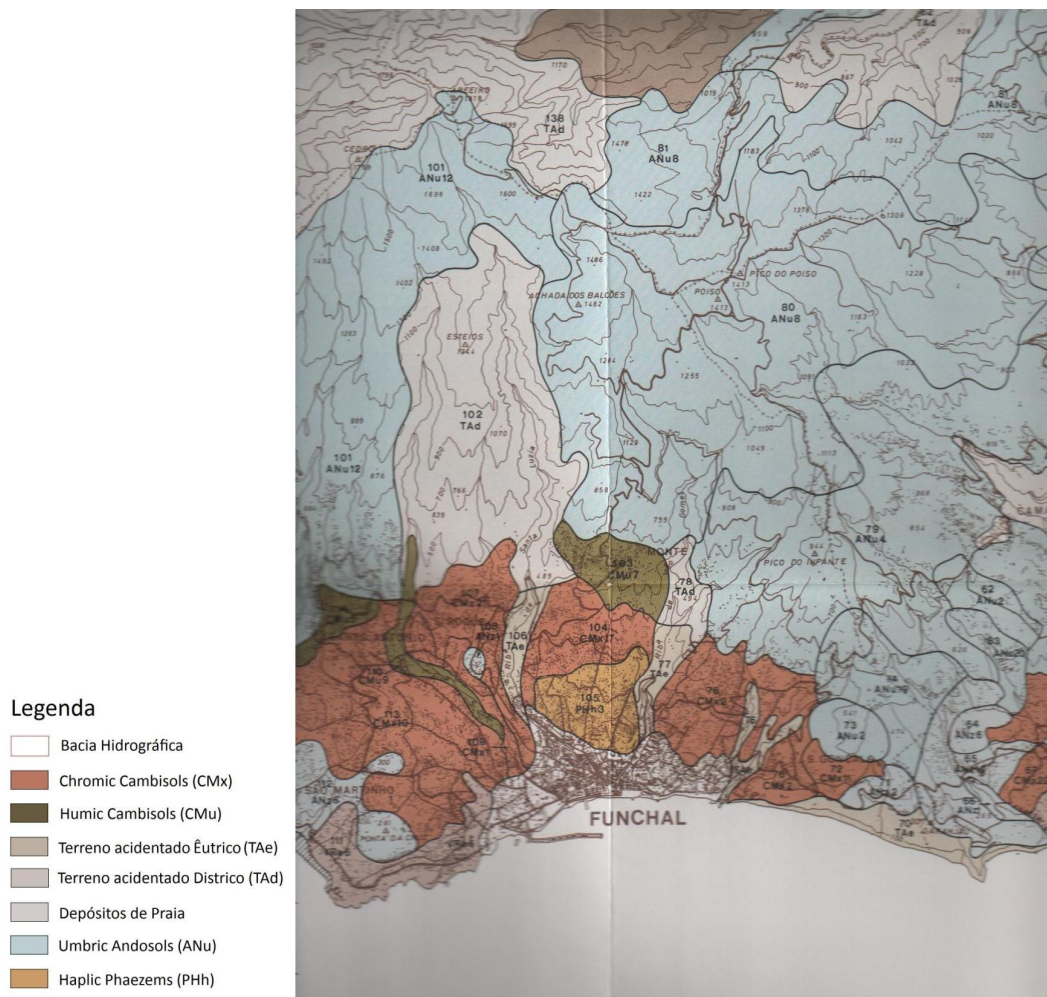


Figura 4 - Carta de Solos da região do Funchal [Fonte: Carta dos Solos da Ilha da Madeira, 1992]

1.6. Rede Hidrográfica

A grande altitude dos relevos da ilha em conjunto com a elevada pluviosidade faz com que o escoamento superficial, de carácter essencialmente torrencial, tenha uma grande capacidade modeladora do relevo, nomeadamente na definição dos seus vales.

A forma cónica que a ilha apresenta faz com que a rede de drenagem seja radial, divergindo as ribeiras das zonas altas para as baixas da periferia da ilha. Os cursos de água, em geral, são curtos e de orientação aproximadamente perpendicular à costa. Outra das características verificadas na maioria das ribeiras da ilha é o seu desnível acentuado. Na maioria dos casos os desníveis são superiores a 1200m, chegando a

atingir os 1600m em algumas ribeiras, tal como é o caso da ribeira de Santa Luzia com cerca de 1650m e o da ribeira dos Socorridos com 1633m.

Resultado do trabalho desenvolvido por [11], estão delimitadas 126 bacias hidrográficas, nas quais foram identificadas 234 linhas de água. Na sua maioria, os leitos das linhas de água são rochosos e face ao seu declive muito acentuado é raro observar a deposição de sedimentos finos no leito. As bacias hidrográficas dos principais cursos de água são estreitas e alongadas e de área reduzida, tendo as maiores cerca de 65km². A altitude média das bacias é muito elevada, sendo na maioria dos casos entre 500m e 800m.

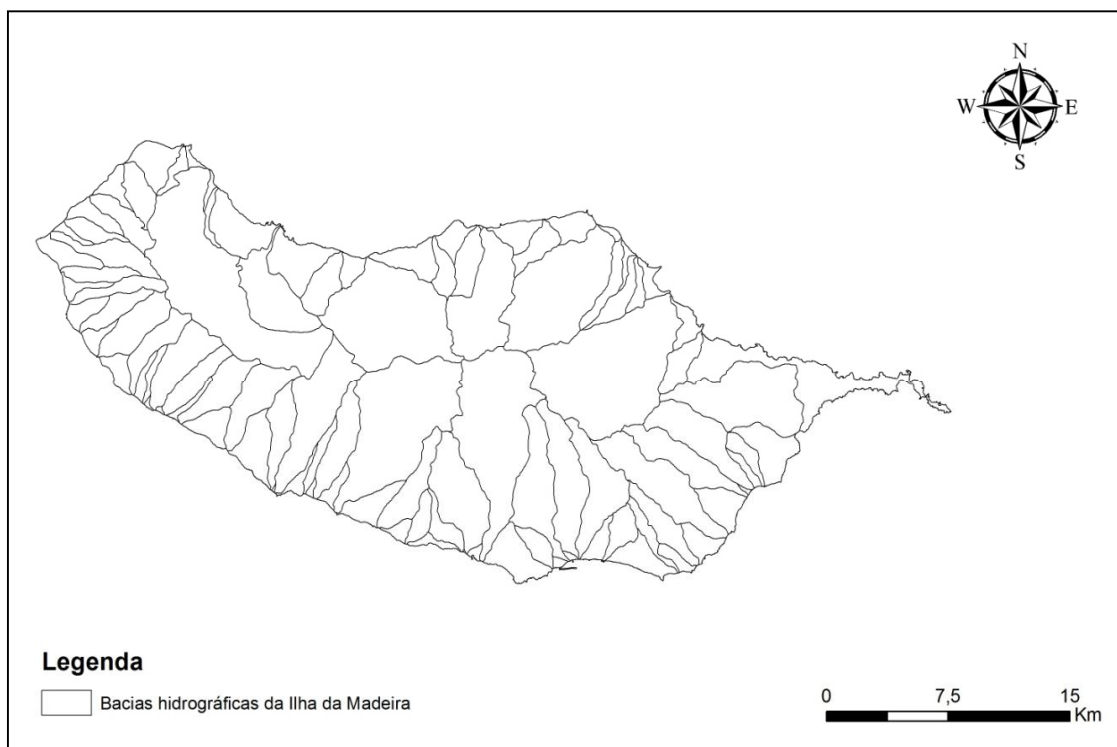


Figura 5 - Bacias hidrográficas da ilha da Madeira [Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente – ArcGis]

A rede hidrográfica apresenta indícios de grande juventude, devido à reduzida importância da erosão lateral ou regularização dos perfis longitudinais, que mantêm declives acentuados.

A erosão das encostas, constituídas por material menos erodível, forma vales profundos, estreitos e de perfil transversal em U. Este mesmo processo observa-se nas arribas altas

e escarpadas. Nestas encostas, o material predominante são os mantos, constituídos por material mais coeso, tornando-os menos susceptíveis à erosão. Nas encostas com materiais muito alterados, facilmente erodíveis, as linhas de água são mais abertas, tendendo para a forma em V.

Na Tabela 4 apresenta-se um resumo das características morfométricas dos principais cursos de água.

Tabela 4 - Características gerais dos principais cursos de água da Ilha da Madeira

Bacia/Curso de Água	Área da Bacia (km²)	Perímetro da Bacia (km)	Altitude Média da Bacia (m)	Comprimento do Curso de Água Principal (m)	Altitude Máxima do Curso de água principal (m)	Declive médio do curso de água principal (%)
Rib. de Machico	24,58	24,97	395	12384	1035	8,36
Rib. do Faial	49,94	31,69	712	14526	1493	10,27
Rib. de S. Vicente	37,54	27,93	747	10291	1640	15,94
Rib. de S. Jorge	32,02	25,40	646	10409	1399	13,44
Rib. do Porco	20,17	23,03	695	10245	1485	14,49
Rib. do Seixal	14,05	21,57	875	10472	1569	14,93
Rib. da Janela	51,09	44,56	843	21987	1564	7,11
Rib. do Porto Novo	17,28	24,39	552	12913	1379	10,68
Rib. da Boaventura	10,57	20,12	739	10626	1350	12,68
Rib. de Santa Cruz	12,85	19,31	556	10329	1273	12,33
Rib. dos Socorridos	38,69	35,28	797	16766	1633	9,74
Rib. do Campanário	7,73	16,43	618	8401	1420	16,90
Rib. Brava	41,22	31,87	755	13643	1540	11,29
Rib. da Tabua	8,86	16,83	684	7604	1505	19,76
Rib. da Ponta do Sol	19,34	25,01	837	11842	1566	13,22
Rib. da	9,75	16,42	742	6545	1396	21,32

Bacia/Curso de Água	Área da Bacia (km ²)	Perímetro da Bacia (km)	Altitude Média da Bacia (m)	Comprimento do Curso de Água Principal (m)	Altitude Máxima do Curso de água principal (m)	Declive médio do curso de água principal (%)
Madalena						
Rib. de S. Bartolomeu	10,11	15,56	607	6775	1201	17,72
Rib. dos Moinhos	5,20	11,10	634	9558	1231	12,87

Fonte : Plano Regional da Água da Madeira, 2002

Os dados sobre a bacia da ribeira de Santa Luzia não são apresentados na Tabela 4, porque esta será analisada em pormenor num dos próximos capítulos.

Através da Tabela 4 distinguem-se várias bacias existentes na ilha, complementadas com algumas das suas características principais. A maior bacia hidrográfica é a bacia da Ribeira da Janela com cerca de 51 km² de área e de 44,56 km de perímetro, segue-se a Ribeira de São Roque do Faial com cerca de 50 km² de área e 31,69 km de perímetro. No concelho do Funchal a maior bacia é a da ribeira dos Socorridos com 38,69 km² de área e 35,28 km de perímetro, tendo as outras ribeiras áreas e perímetros aproximados.

Analisando a orografia das linhas de água na ilha verifica-se a constante mudança de declives na mesma, muito comuns devido ao relevo montanhoso característico da ilha. As rupturas de declive são muito particulares em muitos dos cursos de água, em especial aqueles cujas nascentes se desenvolvem na superfície planáltica e que no rebordo do mesmo caem abruptamente várias centenas de metros. [1]

Através dos perfis longitudinais presentes na Ilha da Madeira, observam-se várias rupturas de declive nas ribeiras, sendo de destacar a ribeira da Ponta do Sol, ribeira da Janela e ribeira do Seixal, em que a ruptura aparece na parte inicial do curso de água. No entanto, existem outras rupturas de declives mais perto da foz, como é o caso da ribeira da Madalena, ribeira dos Moinhos, ribeira do Campanário, ribeira de Santa Cruz, e com diversas rupturas a ribeira de Santa Luzia, ribeira do Seixal e ribeira de Machico.

1.7. Clima

1.7.1. Caracterização genérica do clima do arquipélago da Madeira

O clima do arquipélago da Madeira é caracterizado essencialmente pela intensidade e localização do anticiclone subtropical dos Açores, tendo a morfologia, a orientação do relevo da ilha e a sua localização um papel importante.

O anticiclone dos Açores tem uma variação anual regular na sua intensidade e na sua localização, dependente da natureza e características das massas de ar que atingem a Madeira. Segundo [12] os factores que influenciam o clima são a advecção de ar polar ou tropical, com trajecto marítimo e a passagem de superfícies frontais provenientes de Oeste, a influência do anticiclone dos Açores não é factor determinante. Além deste salientam-se as influências dos anticiclones continentais do noroeste de África e da Europa Ocidental e os centros de baixa e alta pressão de origem térmica que se formam, respectivamente, a partir de meados da Primavera e se prolongam pelo Verão, e no Inverno.

No Verão há uma redução ou mesmo ausência, da ocorrência de precipitação, resultado das altas pressões do Anticiclone dos Açores, que determinam a subsidência do ar e consequentemente estabilidade atmosférica.

“No Inverno, a deslocação dos dois importantes sistemas de altas pressões para Sul deixa a região aberta à influência dos sistemas frontais provenientes de Oeste, responsáveis por uma parte significativa da precipitação que ocorre na Ilha da Madeira. Quando o trajecto dos sistemas depressionários se efectua a latitude mais meridional, ocorre precipitação abundante na região, sobretudo na Ilha da Madeira.” [1]

As depressões formadas sobre o Atlântico e que se centram a W ou a SW da Península Ibérica são responsáveis por trovoadas e precipitações abundantes, acentuadas pela condição insular e particularmente pelo relevo na Ilha da Madeira.

O relevo da Madeira tem um efeito de diferenciação climática local, por estar orientado NWW-SEE, sensivelmente perpendicular à direcção predominante dos ventos de NE,

originando temperaturas do ar e quantidades de precipitação muito diferentes à mesma cota, em encostas com diferentes exposições aos ventos predominantes.

A ocorrência com alguma frequência de depressões em altura, alimentadas por ar frio de NNW com temperaturas negativas, vêm alertar para a necessidade de se tomarem em consideração estas ocorrências. Estas provocam quantidades elevadas de precipitação em intervalos de tempo pequenos e têm efeitos catastróficos, devido ao escoamento elevado e do carácter torrencial que originam.

Em relação à precipitação, a quantidade média anual de precipitação aumenta com a altitude, sendo, regra geral maior na encosta norte que na encosta sul, para a mesma cota. É no Paúl da Serra e nos picos do Areeiro, Ruivo e Grande que ocorrem as maiores precipitações com um máximo de 2800 mm/ano. Os valores mais baixos de precipitação registam-se na encosta sul da ilha, como Lugar de Baixo e no aeroporto de Santa Catarina, com valores de 600mm e 700mm, respectivamente.

A variação sazonal da precipitação é muito acentuada, ocorrendo cerca de 80% nos meses de Outono e Inverno (Outubro a Março). Novembro é o mês com maior precipitação anual e Julho apresenta o valor mínimo. A precipitação anual média na ilha é de 1628mm. Nos anos muito secos e muito húmidos a precipitação atinge valores de 295 mm e 929 mm no Funchal, 939 mm e 1877 mm em Santana e 1034 mm e 2860 mm na região do Paúl da Serra. [1]

Em suma, o Outono e Inverno são as estações onde se registam valores mais elevados de precipitação, principalmente nos meses de Outubro a Abril. Nos meses de Verão a precipitação é muito reduzida em toda a Ilha, observando-se os menores valores em Julho na vertente Sul.

Na Figura 6 observa-se a precipitação máxima diária na ilha da Madeira. Constatando valores mais elevados em altitudes mais elevadas, com valores de 85mm no litoral, nomeadamente no Funchal e valores até 522mm no Pico do Areeiro.

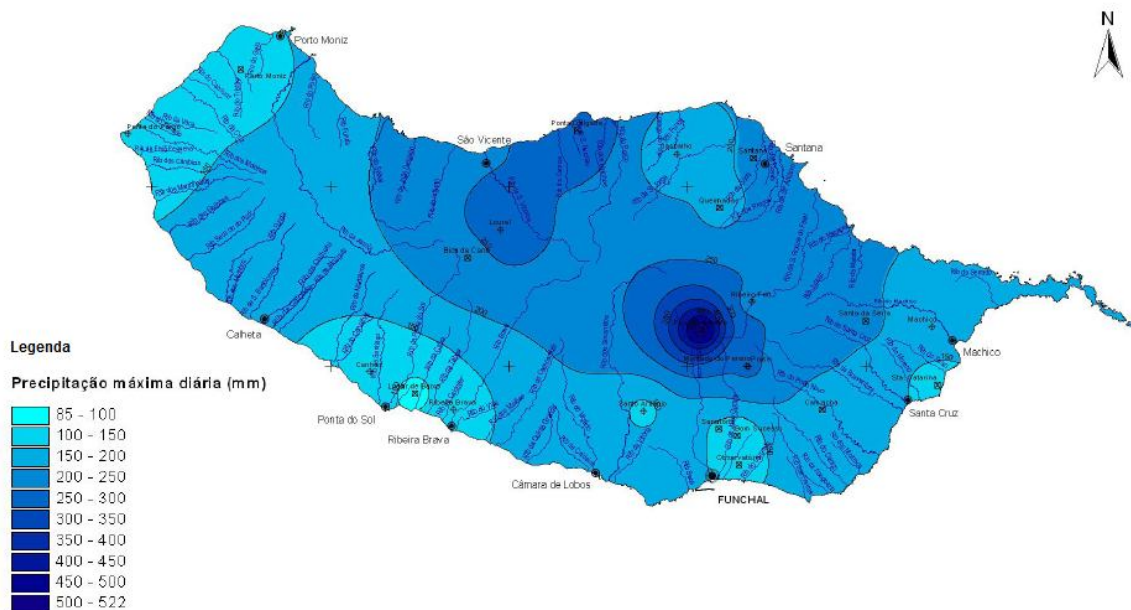


Figura 6 - Temperatura máxima diária [Fonte: PRAM]

Os valores da temperatura do ar dependem da altitude do local e da exposição aos ventos predominantes. Os valores mais elevados registam-se na encosta sul, nomeadamente nas regiões do Funchal, Lugar de Baixo e Aeroporto de Santa Catarina com temperaturas máximas médias de 26°C. Nas regiões altas do interior da ilha, a temperatura mínima média é de 2,4°C e 2,8°C, na Bica da Cana e Areiro respectivamente. A temperatura média anual do ar varia entre 19,3°C no Lugar de Baixo, e 9,0°C nos locais mais elevados, na Bica da Cana (Ver Figura 7). Temperaturas inferiores a 0°C são raras e ocorrem nas zonas de maior altitude, no Paúl da Serra e no Areiro.

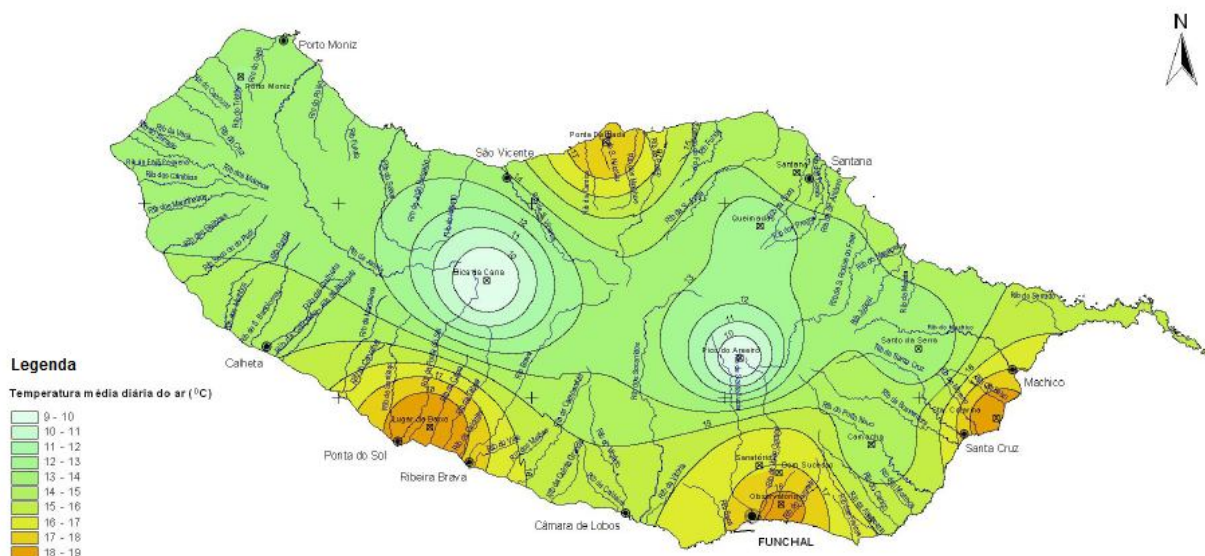


Figura 7 - Temperatura média anual do ar na Ilha da Madeira [Fonte: PRAM]

O regime mensal médio apresenta os valores mais elevados nos meses de Verão. Em Agosto o valor mais elevado registado de 23°C, ocorre normalmente na Ponta do Sol e no Aeroporto de Santa Catarina. O valor mais baixo ocorre no mês de Fevereiro, com valores de 5,4°C no Paúl da Serra e no Areeiro.

O valor médio anual da humidade relativa do ar, está compreendido entre os 75 e os 90%, para todas as estações, excepto para o Funchal, Lugar de Baixo e Aeroporto, que varia entre os 70 e 71%.

Na Madeira, os ventos predominantes são os de N e NE, com uma frequência de 40% na Ponta Delgada e Bica da Cana. No Inverno, os ventos predominantes são os ventos de N e NE, com uma frequência de 25% na Bica da Cana. No Areeiro fazem-se sentir principalmente os ventos de SW, com 20% e na Ponta Delgada a orientação mais frequente é de Leste com cerca de 4%. No Verão, a frequência dos ventos de N e NE aumenta em relação ao Inverno, aumentando nas áreas mais elevadas e particularmente em Santa Catarina, com uma frequência de 35%. E na Ponta Delgada a frequência do vento proveniente de Este aumenta para 60%.

1.8. Recursos Hídricos

Os recursos hídricos são as águas superficiais ou subterrâneas disponíveis para qualquer tipo de uso numa determinada região. Estes são originados através da precipitação que cai numa determinada região e que posteriormente passa a escoamento. O escoamento pode ser dividido em duas parcelas, o escoamento de superfície e o escoamento subterrâneo e hipodérmico.

Na região autónoma da Madeira, o problema da avaliação dos recursos hídricos é muito complexo, devido ao carácter específico da hidrologia, geologia e geomorfologia.

A escassez de dados hidrológicos sobre os escoamentos, dificultam a avaliação das disponibilidades hídricas superficiais da ilha da Madeira, nomeadamente no que se refere aos escoamentos em levadas e subterrâneos. A falta de informação existente sobre estes escoamentos adicionais dificulta a interpretação do processo de escoamento superficial.

A exploração e manutenção da rede hidrométrica na ilha da Madeira são bastante difíceis, devido ao escoamento torrencial dos cursos de água associado ao relevo, ocorrendo por isso desprendimentos e arrastamentos de blocos e outros materiais que obstruem as secções de medição ou danificam os equipamentos nelas existentes, com conseqüente interrupção das medições das alturas hidrométricas. Deste modo, surgem falhas de registos ou mesmo abandono de estações.

1.8.1. Recursos Hídricos Superficiais

O escoamento de superfície é o volume de água proveniente da precipitação que escoia sobre a superfície do terreno até à linha de água mais próxima.

Os valores máximos de escoamento superficial observam-se nas zonas altas da ilha, Pico Ruivo e Pico do Areeiro, com valores de 1600 mm, diminuindo de quantidade junto ao litoral (Ver Figura 8). A distribuição espacial das isolinhas do escoamento anual médio é mais uniforme na costa Norte, pois o escoamento é maior. No entanto, as contribuições

para os recursos hídricos das vertentes Norte e Sul são muito próximas, pelo facto da última representar 56% da área da Ilha da Madeira. [1]

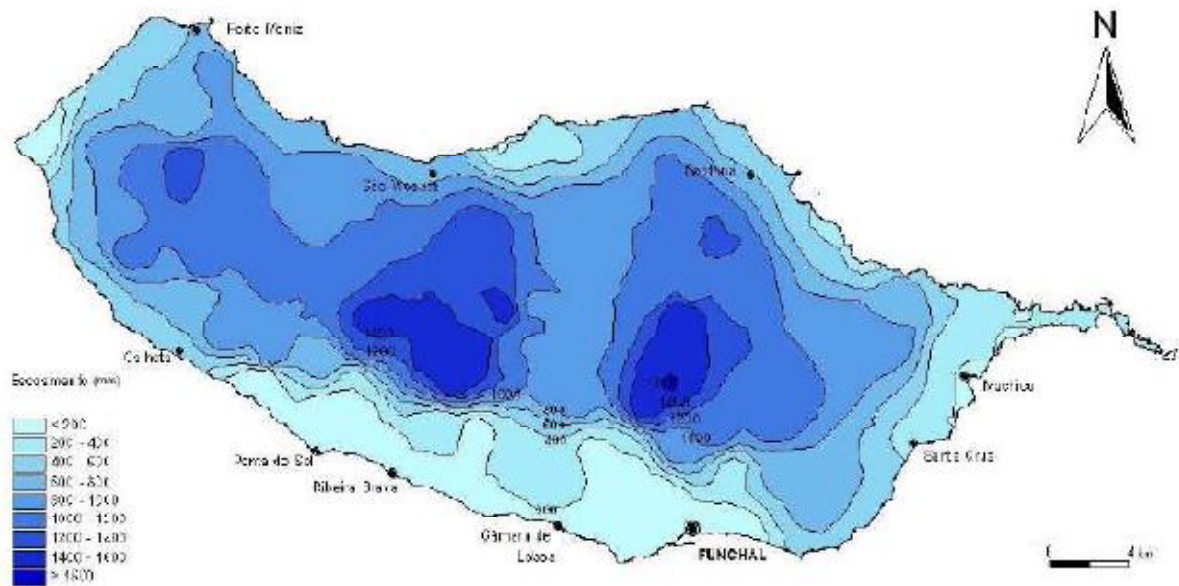


Figura 8 - Isolinhas anuais médias do escoamento superficial potencial total [Fonte: Prada *et al*, 2005]

1.8.2. Recursos Hídricos Subterrâneos

Na Madeira, durante o Verão, as águas subterrâneas constituem a principal fonte de abastecimento de água das populações, sendo suficientes para garantir as necessidades de consumo, apesar de as disponibilidades não se distribuírem uniformemente no espaço e no tempo. Durante o Inverno é adicionalmente aproveitado parte do escoamento superficial de algumas ribeiras. [20]

O escoamento subterrâneo é o escoamento que cai á superfície e infiltra-se no solo. O escoamento subsuperficial ou hipodérmico, define-se pelo escoamento que se infiltra, mas que volta à superfície sem ter atingido a zona de saturação. A soma das parcelas do escoamento superficial e o escoamento subterrâneo e hipodérmico resulta no escoamento superficial potencial total.

Os sistemas de captação de águas subterrâneas, podem resultar de perfurações horizontais (galerias ou túneis), ou perfurações verticais (furos e poços). É no Norte e Centro da Ilha onde se encontram as zonas de maior disponibilidade hídrica, infiltrações e recargas dos aquíferos.

O valor global médio da recarga dos aquíferos é de 424 mm/ano, destes 202 mm/ano correspondem ao escoamento subterrâneo. Extraem-se cerca de 91 mm de água subterrânea, provenientes de furos de captação, túneis e galerias, estima-se que cerca de 131 mm sejam para a recarga do aquífero de base.

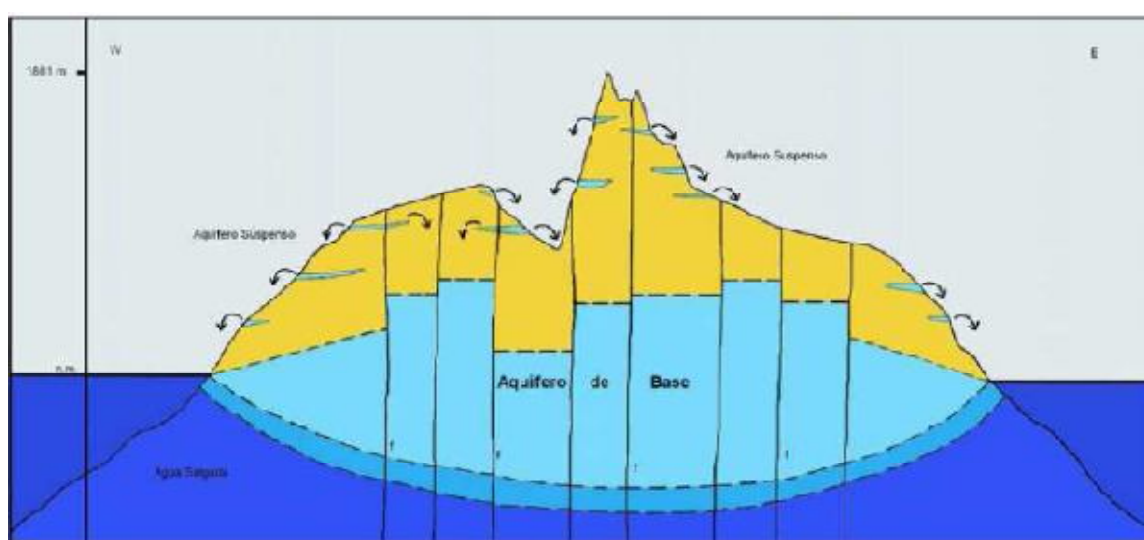


Figura 9 – Modelo hidrológico para a ilha da Madeira [Fonte: Prada *et al*, 2005]

As galerias, regra geral, são construídas nas zonas mais altas da ilha, para atravessar formações mais recentes e com maior permeabilidade, intersectando o maior número de fracturas, possibilitando que a água circule por gravidade.

Os furos e poços são construídos em zonas baixas, no leito das ribeiras, para captar as águas subterrâneas dos aquíferos de base.

Na Tabela 5 mostram-se os valores anuais de escoamento superficial e subterrâneo em toda a ilha.

Tabela 5 - Volumes anuais de escoamento que decorrem, quer para a totalidade da Ilha da Madeira, quer para as vertentes Norte e Sul

VERTENTE	ESCOAMENTO À SUPERFÍCIE DO TERRENO (hm ³)	ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO E HIPODÉRMICO (hm ³)	ESCOAMENTO SUPERFICIAL POTENCIAL TOTAL (hm ³)
Norte	222,5	71,6	294,1
Sul	209,6	78,6	288,2
Ilha da Madeira	431,9	150,1	582,0

Fonte: Plano Regional da Água da Madeira

O escoamento que contribui para as reservas subterrâneas e escoamento hipodérmico é obtido, por aplicação de modelos de regressão linear entre precipitações e escoamento mensais, sendo uma parcela do escoamento subterrâneo e hipodérmico que ocorre à superfície. O escoamento superficial anual médio é de 431 hm³ e o valor de escoamento subterrâneo anual médio é de 150,1 hm³, portanto o valor do escoamento superficial potencial total da ilha é de 582 hm³.

1.9. Vegetação

A vegetação é essencial para a estabilização do solo pois confere-lhe protecção à erosão, evitando desprendimentos, sejam derrocadas ou deslizamentos. É também de extrema importância na intercepção e consequente infiltração de água proveniente do intenso nevoeiro que se faz sentir, sobretudo a altitudes mais elevadas. Deste modo, é muito importante replantar os espaços com carência de vegetação, desde que a plantação seja efectuada com a vegetação mais adequada ao clima do local.

Na Madeira identificam-se vários andares de vegetação estratificados por altitudes, resultado da variação climática. Foram vários os investigadores que estudaram esta estratificação na Ilha da Madeira, sendo estes Bowdich 1825, Hartung 1860, Lowe 1868, Menezes 1903, Vahl 1904, Romariz 1957, Tavares 1965, Sjögren 1972 e Baez & Sanchez-Pinto 1983. [1]

A nível bioclimático estão definidos cinco andares na ilha são eles: inframediterrânico, termomediterrânico, mesomediterrânico, mesotemperado e supratemperado. Nestes

diferentes níveis estão contidas diferentes comunidades florestais, onde em cada andar diferente existe uma vegetação predominante. Segundo [5], estas comunidades estão dispostas da seguinte forma:

No nível inframediterrânico, situado na face sul da ilha, e no nível termomediterrânico ocorre uma vegetação arbórea-arbustiva predominando o zambujeiro. Neste andar ocorre a espécie prioritária e endémica distribui-se, neste andar, desde o nível do mar até aos 300 m de altitude na costa Sul e até aos 100 m na costa Norte.

Esta comunidade é constituída essencialmente por plantas de pequeno porte, adaptadas a habitats com pouca água, temperaturas elevadas, forte insolação e ventos fortes com maresia. Actualmente representa-se como uma comunidade residual, degradada pela acção do Homem.

No andar termomediterrânico, além do zambujal nas altitudes mais baixas encontra-se o barbusano em maiores altitudes e em locais com maior humidade. Esta comunidade igualmente como o zambujal, encontra-se actualmente reduzida pelo impacte do Homem, através da construção de habitações e da intensa actividade agrícola. Está situada entre os 300 e os 700 m na costa Sul e entre os 100 e 300 m na costa Norte da ilha.

Acima deste andar, nos andares mesomediterrânico e mesotemperado, a vegetação característica é o til. Localiza-se no sector Norte entre os 300 e os 1300 m de altitude e na costa Sul entre os 700 e os 1200 m de altitude. É uma espécie endémica da Ilha da Madeira, em geral bem conservada na vertente Norte onde se encontra em grande número composta por comunidades maduras com baixa degradação. Na vertente Sul esta comunidade apresenta um estado de degradação elevado, quase inexistente.

Por fim, no último andar bioclimático verifica-se a predominância do urzal molar acima dos 1500 m no Sul e dos 1300 m no Norte. Neste andar, o urzal característico é o urzal arbóreo, adaptado a situações climáticas extremas, como valores de precipitação elevada, grandes amplitudes térmicas (chegando a ficar coberto de geada ou neve) e ventos intensos.

CAPÍTULO 2 - ALUVIÕES

Além de se conhecerem as características biofísicas da Ilha da Madeira, é importante estudar as aluviões, como se originam, como ocorrem e o que provocam. Assim, efectuou-se uma análise histórica das várias aluviões ocorridas e descreve-se a mais recente, a aluvião de 20 de Fevereiro de 2010, a base do tema em estudo.

Aquando da ocorrência de uma forte precipitação numa área restrita, geram-se de imediato grandes caudais com uma enorme capacidade de arrastamento de materiais sólidos, tais como árvores, blocos rochosos e terrenos agrícolas, transportando-os pela ribeira e afluentes até ao mar. Quando o caudal ultrapassa a capacidade de vazão do curso de água, este ultrapassa as margens com elevada capacidade destrutiva, invadindo casas, arrastando carros e até pessoas. A este acontecimento de grandes chuvadas, geração de grandes caudais, transbordo do canal e arrastamento de material sólido designa-se por Aluvião.

2.1. História das Aluviões

Na História da Madeira ocorreram várias aluviões estando registadas 33 até à data, incluindo a aluvião de 20 de Fevereiro de 2010, a última a atingir a Madeira. De seguida são descritas sumariamente as aluviões registadas.

A primeira aluvião registada data de **18 de Novembro de 1724**. Os seus estragos fizeram-se sentir com maior intensidade em Machico, morrendo 26 pessoas e destruindo mais de 80 habitações. O testemunho do Padre Francisco de Santa Maria, diz que “padeceu a ilha da Madeira uma tormenta e dilúvio tão grande, que destruiu a vila de Machico, parte da de Santa Cruz e muitos outros logares e sítios da mesma ilha, também a cidade do Funchal experimentou grande dano e muitas ruínas, assim nas suas muralhas como na povoação, com a enchente da Ribeira do Pinheiro (Santa Luzia) que a divide.”[3]

18 de Novembro de 1765 – Devido à enorme quantidade de chuva, as ribeiras que atravessam o Funchal encheram-se, destruindo várias pontes da cidade, nomeadamente a Ponte da Praça. Registou-se apenas uma morte, por arrastamento das águas da ribeira de João Gomes para o mar.

9 de Outubro de 1803 – A aluvião ocorrida é considerada a maior tragédia da Ilha da Madeira e teve maior incidência no Funchal, Machico e Santa Cruz. Testemunhos descrevem que a precipitação iniciara-se pelas dez horas da manhã prolongando-se até às oito da noite aumentando gradualmente de intensidade. Às oito e meia as ribeiras começaram a transbordar arrastando troncos e quebradas disformes, destruindo as muralhas destas pelas fundações. Entre as nove e dez da noite, a enxurrada encheu as três ribeiras do Funchal provocando danos em grande parte da cidade. Pontes e ruas foram destruídas pela força das águas e detritos arrastados, causando mais de mil mortos.

30 de Outubro de 1815 – As lojas do centro do Funchal ficaram inundadas e sofreram prejuízos enormes. Foram registados dois mortos no Estreito de Câmara de Lobos. Muralhas em construção foram destruídas, mas nos locais onde estas já tinham sido finalizadas não houve qualquer tipo de estragos, como é exemplo a Ribeira da Nossa Senhora do Calhau. Várias pontes ficaram destruídas, como a Ponte de Pau do Torreão e a Ponte da Rua dos Ferreiros, tendo a Ponte da Praça sofrido apenas alguns estragos. Grandes danos ocorreram na Rua do Ribeirinho que ficou aterrada de material sólido até à actual Travessa da Malta fazendo comunicação com o Largo do Pelourinho.

24 de Outubro de 1842 - O Funchal foi o mais atingido tendo ficado completamente inundado e algumas casas destruídas. O mar muito agitado lançou à costa muitos navios, provocando a perda dos mesmos e de algumas pessoas da tripulação.

17 a 20 de Novembro de 1848 - Nesta aluvião o Funchal escapou a inundações e estragos, pois as suas ribeiras apesar terem sido percorridas por um escoamento violento não transbordaram. Foram afectadas cinco freguesias, de leste a norte, onde morreram oito pessoas. Em Santana o impacto da aluvião foi maior, destruindo a agricultura, armazéns, pontes e muralhas. Fez cair muitos socalcos causando a morte de muitos agricultores.

5 e 6 de Janeiro de 1856 – Choveu torrencialmente entre as duas e as três da tarde, alagando as ruas e enchendo as ribeiras. Juntamente com a água, as quebradas faziam o volume de escoamento aumentar, bloqueando as secções mais a jusante. A ribeira de João Gomes transbordou junto à ponte da Praça Académica, destruindo os mainéis desta ponte que, completamente soterrada tornava-se o leito da ribeira inundando tudo à sua volta. Por volta da uma da manhã as chuvas diminuíram enfraquecendo assim o caudal. Porém, das três para as quatro da manhã as chuvas intensificaram-se novamente voltando a encher o leito das ribeiras fazendo-as transbordar, inundando no caso da Ribeira de João Gomes, as ruas do Anadia e do Ribeirinho de Baixo descendo para o Pelourinho. Muitas casas ficaram inundadas, pondo em risco a vida dos moradores. A Ribeira de Santa Luzia ficou obstruída de detritos, mas não provocou estragos. Já a Ribeira de São João provocou danos nas imediações da capela. Foram muitas as freguesias atingidas pela aluvião, como Câmara de Lobos, Ribeira Brava, Serra de Água, Tabua, Ponta do Sol, Madalena, Paul do Mar e São Vicente.

14 e 15 de Março de 1856 – Chuva intensa e contínua, causaram o aumento do caudal nas ribeiras de João Gomes e Santa Luzia provocando inundações nas ruas circundantes. A ribeira de João Gomes, ficou obstruída de material e transbordou em vários pontos e a Ribeira de Santa Luzia encheu-se até à ponte do Bom Jesus. Outros sítios afectados foram a Ribeira Brava, onde a ribeira levou grande parte de uma muralha que protegia o lugar, e o arco da Calheta onde uma quebrada destruiu catorze casas e na Serra de Água.

1 de Janeiro de 1876 – A ribeira da Madalena foi a única a provocar estragos, sem registo de perdas humanas.

2 e 3 de Outubro de 1895 – Foram as freguesias da Calheta, Ribeira Brava e São Vicente que sofreram mais prejuízos como consequência desta aluvião. Casas, estradas e pontes destruídas e alguns mortos, foram o resultado das inundações causadas pela forte precipitação que ocorreu nesse dia.

29 de Novembro de 1901 – As ribeiras do Funchal transbordaram inundando alguns estabelecimentos e arrastando o seu recheio para as ruas. Em Machico, a ribeira arrasou com as pontes dos sítios da Ribeira Grande, Cales e Moinho da Serra e ainda uma quebrada provocou a morte a 9 pessoas.

25 e 26 de Novembro de 1920 – No Funchal as três principais ribeiras que o atravessam não causaram danos, no entanto houve inundações em vários sítios devido à abundância das chuvas e os ribeiros que ficaram obstruídos. Na Ribeira Brava, Machico, Santa Cruz, São Vicente e Camacha registaram-se grandes estragos. Registaram-se dois mortos na Camacha e alguns desaparecidos no mar em Câmara de Lobos.

5 e 6 de Março de 1921 – Chuvas intensas destruíram a agricultura em Machico, Santana, Faial e São Jorge. Em Machico as casas foram inundadas e na Ribeira Brava morreram três pessoas devido ao desmoronamento e arrastamento de casas.

15 de Dezembro de 1926 – Fortes chuvas e ventos de Sul-Sudoeste provocaram grandes ondulações no mar e fortes chuvas que fizeram subir o caudal nas ribeiras arrastando consigo troncos de árvores e animais.

6 de Março de 1929 – As chuvas contínuas durante vários dias foram saturando os solos lentamente, que não aguentaram com a pressão e colapsaram, causando vítimas e destruindo casas. A ribeira da Vargem, em São Vicente, ficou obstruída por uma derrocada, acabando por ser destruída com transbordo, provocando 32 mortos.

2 e 3 de Outubro de 1931 – O Funchal foi atingido por chuvas torrenciais e trovoadas, que provocaram inundações em algumas ruas da cidade. A rua de Santa Maria e o Largo das Fontes foram as principais ruas inundadas, com cerca de 75 cm e 1,5 m de altura de água respectivamente. O caudal das ribeiras subiu muito, mas sem transbordar.

30 de Dezembro de 1939 – No ano anterior, na Madalena do Mar, um grande desmoronamento obstruiu uma secção da ribeira que com as fortes chuvadas do dia 30 de 1939 levou à acumulação de água nesta espécie de barragem. Com um enorme volume de água acumulado a obstrução cedeu originando um enorme volume de água, lama e rocha, que arrastou casas, animais, árvores, pessoas e terrenos agrícolas. O Funchal também foi afectado, pois caudais das ribeiras aumentaram, provocando assim, vários danos materiais e pessoais. Morreram 5 pessoas, 4 das quais na Madalena do Mar e a outra no Funchal.



Figura 10 - Ribeira da Madalena, um dia após a cheia. [Fonte: Perestrellos Photographos]

14 e 15 de Outubro de 1945 – Mais uma vez a Madalena do Mar era vítima de um temporal, onde no sítio da Banda d'Além 25 famílias, constituídas por cerca de 130 pessoas perderam as suas casas. O Funchal foi menos afectado, pois só as ruas ficaram inundadas e os campos agrícolas destruídos.

3 de Novembro de 1956 – As freguesias atingidas pelo temporal foram Machico, Santa Cruz, Água de Pena, Porto da Cruz e Santo da Serra. Estradas, pontes e casas destruídas, terrenos de cultivo e animais arrastados para o mar e ainda 6 mortos registados.

A Ponte Nova, na Estrada para o Caniçal, ficou só com a parte central pois os seus extremos foram arrastados pela força da enxurrada (Ver Figura 11).



Figura 11 - Ribeira de Machico - Ponte Nova [Fonte: Perestrellos Photographos]



Figura 12 - Ribeira de Santa Cruz junto ao tribunal [Fonte: Perestrellos Photographos]

9 de Janeiro de 1970 – Foi na Ribeira Brava, com as chuvas torrenciais caídas na Serra de Água, que ocorreram estragos. Na Serra de Água morreram quatro pessoas soterradas, e na Ribeira Brava o miradouro da vila desapareceu com a força das águas (Ver Figura 13), assim como duas pessoas que foram arrastadas.



Figura 13 - Vila da Ribeira Brava [Foto: Carlos Fotógrafo]

8 de Março de 1970 – Nessa madrugada, no Porto Santo, choveu torrencialmente registando-se uma precipitação de 77 mm, dos quais 60 mm caíram em 27 minutos. Paredes, terrenos e estradas foram destruídas, provocando ainda a morte de uma criança no sítio do Tanque.

21 de Setembro de 1972 – Por volta das 4 da manhã na ribeira de São João ocorreu um aumento repentino do caudal da ribeira, transpondo as suas margens, no sítio da Ribeira Grande, por baixo do campo de futebol do Marítimo. A água arrastou grandes blocos que destruíram o bairro que ali existia, registando 3 vítimas mortais.

20 de Dezembro de 1977 – Muitas derrocadas nas zonas altas do Funchal, originaram a morte de uma criança no sítio do Tanque, na freguesia do Monte. A precipitação atingiu os 70 mm no Funchal, cerca de 70 l/m² de água, valor muito elevado.

No Jardim da Serra, a queda de um barranco obstruiu o ribeiro, fazendo com que este transbordasse matando 3 mulheres. Ainda em consequência desta aluvião 45 pessoas ficaram desalojadas.

20 a 24 de Janeiro de 1979 – Chuvas intensas começaram a cair na madrugada do dia 20, vindo a intensificarem por volta das três e as quatro da manhã. Estas chuvas fizeram aumentar o volume de água nas ribeiras, destruindo estradas, pontes e casas tirando a vida a duas pessoas, no concelho de Machico. Foram vários os desmoronamentos e derrocadas ocorridas em Machico e Porto da Cruz, provocando a morte de uma pessoa no sítio da Referta, no Porto da Cruz.



Figura 14 - Ribeira da Maiata no Porto da Cruz [Fonte: Desconhecido]

A Camacha também foi afectada pelo mau tempo, registando-se uma vítima devido a uma enxurrada que destruiu parte da sua habitação.

Nos Canhas três casas foram destruídas resultando na morte de duas crianças. No concelho da Calheta a ribeira invadiu a vila danificando a rua principal. Já no sítio das Faias, uma derrocada soterrou uma residência provocando a morte a um casal.

O norte da ilha também foi atingido, mais precisamente na Boaventura, onde na tarde do dia 23 um desmoronamento de terras, soterrou um automóvel matando seis pessoas.

Como resultado deste temporal registaram-se vários danos provocados por desmoronamentos e derrocadas e um total de 14 vítimas mortais.

1e 2 de Março de 1984 – Chuvas e ventos fortes causaram derrocadas no sul e norte da ilha, registando-se uma casa destruída em São Roque por uma derrocada e um homem arrastado pelas águas na Ribeira dos Socorridos. Parte da ponte do Faial com cerca de 170 m, não resistiu à força das águas e desmoronou.

27 de Setembro de 1989 – A precipitação no Funchal atingiu os 97,7 mm, sendo que 34,4 mm ocorreram em apenas 60 minutos, originando inundações no Funchal. Santa Cruz e Machico, também sofreram inundações, mas não havendo registo de danos.

18 de Setembro de 1990 - Às duas da tarde o Funchal estava sob chuvas intensas e trovoadas, registando no udómetro do Funchal uma pluviosidade com cerca de 37,8 mm entre as 14h 05m e as 14h 45m.

Houve inundações em várias ruas e uma derrocada que provocou 2 mortos. Na rua das Fontes a altura de água chegou a um metro de altura em poucos minutos.

24 de Outubro de 1991 – Desta aluvião não foram registados mortos, apenas inundações e derrocadas nos concelhos de Machico, Faial, Santana e Porto da Cruz.

29 de Outubro de 1993 – Choveu durante todo o dia 28, registando-se uma precipitação de 88,9 mm entre as 09h deste dia e as 09h do dia seguinte. Entre as 21 e as 03h observou-se maior intensidade de chuva, pois num período de 6 horas choveu 66,4 l por m², dos quais 29,8 l entre as 02 e as 03h.

No Curral das Freiras registou-se o maior valor de precipitação, com cerca de 210 mm, chegando a atingir um pico de numa hora chover 38,8 mm. Seguido do Curral, está o Santo da Serra com um valor de 163,8 mm; o Trapiche com 104,5 mm e por fim o Funchal com 88,9 mm.

Com um grande volume de água a cair sobre as bacias do Funchal, as ribeiras transbordaram por não terem capacidade para transportar tanta quantidade de água e detritos. Assim, regista-se o transbordo de quatro ribeiras do Funchal, Santa Luzia, João Gomes, São João, e a ribeira do Socorridos.



Figura 15 - Avenida do Mar, ribeiras de Santa Luzia e de João Gomes [Foto: Rui Marote - Arquivo do Diário de Notícias]

A baixa do Funchal ficou coberta por lama, pedras e troncos. “Vários armazéns destruídos, lojas comerciais arrasadas, estradas rebentadas, falta de água potável durante quinze dias, uma escola destruída, 9 embarcações inutilizadas, muitos carros tragados pelas águas que saltaram as muralhas das ribeiras, 200 desalojados, cerca de 30 feridos, 7 mortos!” [23]

Muito afectados ficaram também os concelhos de Câmara de Lobos, Santa Cruz e Machico, mas sem registo de vítimas mortais.



Figura 16 – Vale da ribeira de São João no dia 29 de Outubro de 1993 [Foto: Agostinho Spínola - Arquivo do Diário de Notícias]

19 e 20 de Outubro de 1997 – Choveu intensamente de 19 para 20, com registos de pluviosidade no Curral das Freiras de cerca de 349,9 mm entre as 09h do dia 19 e as 09h do dia 20 com 52,5 mm das 19 às 20h. No pico do Areeiro foi registada uma pluviosidade de 309,2 mm, sendo que das 18 às 19h a precipitação chegou aos 36,6 mm e das 19 às 20h chegou aos 34,8 mm.

O caudal das ribeiras subiu consideravelmente, causando a destruição da ponte velha dos Socorridos e a queda da ponte de acesso à Estação de Tratamento do Tornos, na ribeira de Santa Luzia. Houve grande acumulação de material sólido nas secções terminais das ribeiras do Funchal e apesar desta enorme deposição, as ribeiras não transbordaram.



Figura 17 - Ponte velha da ribeira dos Socorridos, parcialmente destruída [Foto: Raimundo Quintal]

1 de Fevereiro de 1998 – Devido às fortes chuvadas da noite de 31 Janeiro para 1 de Fevereiro, no sul da ilha presenciaram-se muitas inundações e escorregamentos de terras. O Ribeiro Seco, situado em São Gonçalo, inundou várias casas e arrastou carros chegando à Igreja de São Gonçalo, devido à obstrução do ribeiro. Assim como no Caniço, em que um pequeno ribeiro galgou as suas pequenas muralhas e inundou ruas e casas. No Garachico, um escorregamento de terras provocou a morte a uma pessoa.

5 e 6 de Março de 2001 – Choveu torrencialmente durante 2 dias, desde as 04h do dia 4 e as 04h do dia 6 choveu cerca de 724,2 mm, registado na ribeira de São Vicente. São Vicente foi a localidade mais atingida por este temporal, onde morreram 5 pessoas, arrastadas pelo caudal proveniente do ribeiro do Loural, que inundou a estrada nova de acesso ao Funchal.



Figura 18 - Ribeiro do Loural, quatro dias após a cheia [Foto: Raimundo Quintal]

Ocorreram também grandes deslizamentos em São Vicente, mas sem causar vítimas. No Curral das Freiras várias casas ficaram soterradas deixando 30 pessoas desalojadas. No Funchal não houve danos.

Comparando os valores registados na aluvião de 1993 e esta, temos uma precipitação de 231 mm em 1993 e 277,8 mm em 2001, no Curral das Freiras. No Poiso foi registada uma pluviosidade de 135,6 mm em 1993 e de 100,5 mm em 2001. Nota-se destes valores que no Curral das Freiras no ano de 2001 a precipitação foi mais intensa, o mesmo já não acontece no Poiso nem no Funchal onde a precipitação foi menor. No Areeiro, o udómetro do IGA, registou 242,8 mm no dia 5 e 352,3 mm no dia 6.

2.2. Aluvião de 20 de Fevereiro de 2010

Através do Instituto de Meteorologia, IP Portugal, o mês de Fevereiro foi considerado como muito chuvoso devido à passagem de várias depressões com superfícies frontais associadas. Na Madeira registaram-se valores diários de precipitação na ordem de 144,3

mm das 00h às 24h do dia 20, sendo este o valor mais alto registado desde 1920 e registou 97 mm das 09h do dia 20 às 09h do dia 21.

O maior registo de precipitação em uma hora foi de 52 mm, observado entre as 09:00 UTC (Universal Time Coordinated) e as 10:00 UTC. Registaram-se ainda valores de 92 mm em 3 h, das 09:00 UTC às 11:00 UTC e 117 mm em 6h, das 07:00 UTC às 13:00 UTC.

Desde o dia 1 de Outubro de 2009 a 22 de Fevereiro foram registados valores altos de precipitação, com maior incidência em Dezembro e Fevereiro. Só em Fevereiro, até dia 22 choveram cerca de 426 mm correspondente a 70% do valor total anual médio.

Devido às fortes chuvadas que atingiram a ilha, tanto nos picos mais altos como nas localidades mais à beira mar, houve muitos estragos provocados um pouco por toda a ilha, desde o Funchal, Camacha, Ribeira Brava, Curral das Freiras, Serra de Água e Tabua. Ocorreram muitas inundações, deslizamentos, destruição de casas, arrastamento de carros, troncos e muito material sólido.

Com precipitação mais intensa com início às 09h, as ruas começaram a ficar alagadas. Os solos saturados da quase ininterrupta chuva começaram a ceder caindo no fundo dos vales, sobre habitações e estradas. Os leitos das ribeiras ficaram obstruídos pelo deslizamento de terras e o volume de água aumentou. Assim, o caudal das ribeiras que atravessam o Funchal aumentou abruptamente transpondo as suas margens, inundando casas, arrastando carros e arrastando consigo muito do material sólido de montante.

A ribeira de São João iniciou o seu transbordo na chamada Ribeira Grande, acima do Complexo Desportivo do Marítimo, arrastando grandes blocos causando prejuízos em edifícios comerciais e destruindo dezenas de carros. Nas zonas altas da bacia hidrográfica de São João, a elevada quantidade de água originou deslizamentos e consequentemente arrastamento de carros e destruição de várias habitações, causando vítimas mortais em alguns casos, nomeadamente na freguesia de Santo António. Ainda a queda de uma grua, usada na construção da Cota 500, devido às fortes rajadas e ao descalçamento das fundações desta, destruiu parcialmente algumas casas e provocou a morte de algumas pessoas.

Na Rua Maximiano de Sousa eram visíveis as “ondas de enxurrada” a passarem mais alto que as margens da ribeira a grande velocidade.

A jusante em frente ao Edifício do Dolce Vita registaram-se grandes danos, pois a força das águas era tão grande que acabou por levantar as lajes sobre a ribeira onde se situava uma pequena rotunda, também como partes da via. Ao sair por ali, a água enlameada e com detritos começou a circular pelos túneis que comunicam com a rotunda Sá Carneiro escoando para a marina do Funchal, inundando os armazéns dos clubes desportivos lá existentes e amontoando os túneis e a rotunda de pedras, troncos e lama.



Figura 19 - Destruição da Avenida Calouste Gulbenkian [Fonte: Desconhecido]

Na ribeira de Santa Luzia pequenos afluentes encheram-se de água que escoando traziam árvores e rocha que se desprendiam das margens. Nas secções a montante o leito amontoou-se de enormes blocos com alturas de sedimentos a chegar aos 5m. Todos estes componentes em conjunto destruíram parte da margem direita da ribeira com que ligava com a ponte dos Tornos. Parte deste material foi-se depositando nas margens, enquanto que o restante foi arrastado provocando pequenas derrocadas ao longo do seu percurso. Junto à Pedreira da Fundoa a ribeira transbordou transportando detritos pela Estrada da Fundoa, inundando e amontoando-se em armazéns e parques e destruindo o asfalto da estrada. Nas imediações das instalações da CMF, foi onde se verificou maior número de estragos na zona a montante, pois o escoamento não

obedeceu ao seu percurso e transbordou as margens destruindo o acesso da Estrada da Fundoa para a Estrada da Fundoa de Cima. Causando muita deposição de material e inundação dos edifícios circundantes.



Figura 20 - Deposição de material sólido na Fundoa [Fonte: Jorge Freitas – Secretaria Regional do Equipamento Social]

Na Estrada Comandante Camacho Comandante de Freitas, o afluente ali presente ganhou força e alagou a estrada e o edifício da Socipamo que ficou parcialmente destruído, devido a uma derrocada de grandes dimensões na encosta na parte posterior do edifício.

Nas zonas altas da bacia hidrográfica da ribeira de Santa Luzia, os danos mais significativos ocorreram na freguesia do Monte, no sítio da Corujeira de Dentro e Livramento, onde houve muitas inundações e deslizamentos de terras causando vítimas mortais.

A jusante na baixa do Funchal, todo o material sólido depositou-se naquelas secções impedindo a passagem do escoamento e provocando o transbordo da ribeira para a Rua 5 de Outubro, inundando a Rua dos Taneiros, Rua da Alfandega, Largo da Praça, Rua da Praia, Travessa dos Açougues, o Largo dos Varadouros e Avenida do Mar. Muitas lojas ficaram inundadas, preenchidas parcialmente por material proveniente da ribeira, com as fachadas destruídas e o seu interior destruído.



Figura 21 - Rua dos Tanoeiros inundada na tarde do dia do temporal [Fonte: <http://francis.fotosblogue.com/94724/Temporal-da-Madeira-2010-funchal/>, 11/10/10]

Na bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes as áreas com danos em infra-estruturas sofridos a montante foram a estrada Luso-Brasileira, caminho da Lombada, largo das Babosas, travessa dos Poços, Travessa do Pina, Rua Pedro José Ornelas, Beco do Matadouro e Núcleo terminal da Rua da Pena. A capela das Babosas desapareceu completamente do seu local de implantação, devido à força das águas e detritos. O escoamento desenvolveu-se pela estrada até à Estrada Luso-Brasileira provocando a morte a várias pessoas que se encontravam na altura a percorrer a estrada nos seus carros (ver Figura 22).



Figura 22 - O local onde se situava a Capela das Babosas [Fonte: Desconhecido]

A torrente prolongou-se até à Rua Pedro José Ornelas arrastando dezenas de carros, alguns deles que acabaram sobre casas, e ainda chegou a arrastar uma pessoa que teve morte imediata. Este caudal percorreu desde as Babosas até à rua do Carmo, do Seminário e por fim à Rua do Ribeirinho de Baixo, onde submergiu por completo o parque de estacionamento do Centro Comercial adjacente, bem como todos os estabelecimentos dessa área.

A jusante os estragos foram imensos, onde o leito da ribeira entulhou e as ruas ficaram com cerca de 70 cm de altura de carga sólida. A ribeira transpôs as margens para a Rua Dr. Pestana Júnior e a Rua da Ribeira de João Gomes escoando pelas ruas até à Avenida do Mar. Este fluxo transportava material sólido de grandes dimensões, causando imensos estragos na via. As ruas ficaram muito danificadas, lojas comerciais com vidros partidos e completamente inundadas e cobertas com carga sólida. Os Centro comerciais adjacentes a estas ruas registaram muitos prejuízos, os jardins do Largo do Conde Canavial e a Praça do Tenerife ficaram bastante afectadas, assim como o Posto de Abastecimento de combustível ali existente (consequentemente desmantelado) e algumas das pontes que atravessam esta ribeira.



Figura 23 - Ribeira de João Gomes no centro do Funchal [Fonte: Desconhecido]

Muitas foram as ruas afectadas por inundações e deposição de material no piso térreo, tais como a Rua da Boa Viagem, Rua da Infância, Rua de Santa Maria, Rua do Carmo, Rua do Ornelas, Rua Dom Carlos, Rua Hospital Velho, Rua Latino Coelho, Rua Miguel de Carvalho, Travessa da Infância, Rua Visconde Anadia, Largo do Anadia – Oudinot e Rua Direita.

Na Ribeira Brava, Serra de Água e Tabua as dimensões dos estragos foram muito superiores ao que foi vivido no Funchal, pois a maior parte destas ribeiras não é canalizada.

Na Tabua a água enlameada juntamente com grandes blocos e troncos de árvores foram arrastados a grande velocidade para jusante, transpondo as margens, levando consigo os automóveis que se encontravam parados nas estradas adjacentes, entrando em algumas casas e levando muito do conteúdo do seu interior, destruindo-as parcialmente. No leito ficou depositado muito do material transportado pela ribeira vindo de montante e a água passou a escoar pela estrada ou pelo que restava dela no lado esquerdo do curso de água.



Figura 24 - Ribeira da Tabua [Fonte: Celso Figueira, 21/05/10]

A Serra de Água foi uma das zonas mais lesadas pela força da água, nesta freguesia a confluência de várias ribeiras tornaram a ribeira da Ribeira Brava num rio, pois a quantidade de água era tal que ocupou para além do seu leito (Ver Figura 25). Além da água proveniente das ribeiras muitos foram os afluentes que abriram caminho pela encosta transportando água e pedras, destruindo terras de cultivo, casas, pontes e estradas. A ocorrência de muitas quebradas foi mais um factor para aumentar o volume do caudal da ribeira. Em alguns casos as quebradas chegaram a matar pessoas, soterrando-as nas suas casas, ou arrastando-as pela enxurrada. Pontes quebraram, estradas ruíram, casas e carros foram arrastados para dentro do leito.



Figura 25 - Serra de Água no dia do temporal [Fonte: Desconhecido]

Esta localidade ficou isolada durante um dia, pois o acesso foi cortado pelo material arrastado pela ribeira. Muitas pessoas ficaram desalojadas, pois as suas habitações ficaram irrecuperáveis. A cerca de 2850 m da foz, no Centro Desportivo da Madeira, toda a área ficou inundada.

Para jusante os danos não foram tão intensos pelo facto de o material ter ficado sobretudo nas margens da ribeira na Serra de Água. Mas a força das águas também fez-se sentir na Ribeira Brava, onde um stand de automóveis e uma bomba de gasolina ficaram inundados com destruição de parte do armazém do stand que se encontrava junto à ribeira. As ruas pareciam ribeiros, com água a correr a uma grande velocidade. A maioria dos danos observou-se na ponte no centro da Ribeira Brava, pois foi aqui que a ribeira com a sua força destruiu a ponte e transbordou para as laterais inundando o adro, a igreja e as ruas contíguas (Ver Figura 27).



Figura 26 - Ribeira da Ribeira Brava antes da ponte do centro da Ribeira Brava
[Fonte:
<http://www.youtube.com/watch?v=EOHTABhyX2U&feature=PlayList&p=D5434AF719B5388F&index=0&playnext=1> , 11/10/10]



Figura 27 - Ponte do centro da Ribeira Brava que ficou danificada [Fonte:
<http://www.youtube.com/watch?v=N1ZAV2PSVu0&feature=related> , 11/10/10]

Esta ponte teve que ser demolida por não oferecer segurança à passagem de veículos e pessoas. A foz e a praia deste concelho transformaram-se num amontoado de lama, troncos de árvores e cascalheiras.

No geral, esta tempestade provocou 42 mortos (número oficial comunicado pelo Governo Regional da Madeira), 8 desaparecidos, 120 feridos e 600 pessoas foram apoiadas por motivo de deslocação das suas habitações e os prejuízos causados estimam-se em cerca de 1 080 milhões de euros.

CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA RIBEIRA DE SANTA LUZIA

A caracterização geomorfológica da bacia em estudo pretende particularizar as características, anteriormente estudadas para a ilha e relacioná-las com o evento de 20 de Fevereiro de 2010 e os efeitos verificados na mesma. O estudo da caracterização da bacia teve como base a ferramenta de Sistema de Informação Geográfica, através do programa ArcGis. Este programa associado aos mais recentes modelos digitais do terreno disponibilizados pela DRIGOT, permitiram obter os valores que caracterizam morfométricamente a bacia. Deste modo, é possível avaliar o risco de cheia nesta bacia em particular.

3.1. Enquadramento geográfico da bacia hidrográfica da Ribeira de Santa Luzia

Situada na Ilha da Madeira, na vertente sul, é uma das bacias que pertence à cidade do Funchal. Nasce no Pico do Areeiro e desagua na baixa do Funchal, passando pela freguesia da Sé, São Pedro, Santa Luzia, Imaculado Coração de Maria, Monte e São Roque.

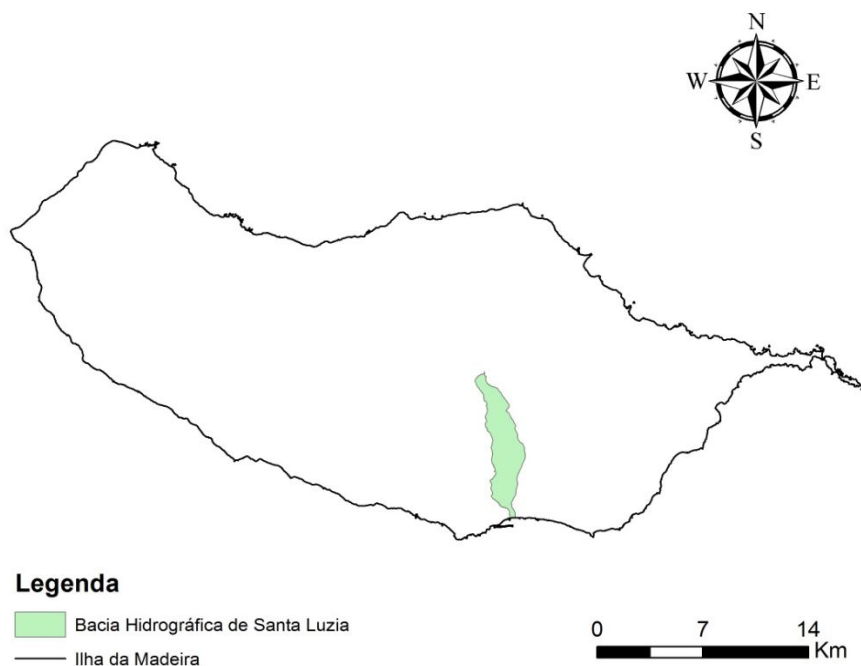


Figura 28 - Localização da Bacia Hidrográfica de Santa Luzia [Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente– Atlas do Ambiente]

Através da página da Agência Portuguesa do Ambiente, exportou-se as shapefiles relacionadas com as bacias hidrográficas e a linha de costa da Ilha da Madeira, para um Sistema de Informação Geográfica, mais precisamente para o programa ArcGis e procedeu-se à delimitação da bacia hidrográfica.

3.2. Geologia e Geomorfologia das Bacias Hidrográficas do Funchal

O concelho do Funchal é constituído por formações sedimentares, rochas eruptivas e materiais piroclásticos. Os materiais que constituem estas formações são os basaltos, escórias, saibros vulcânicos, areias e cascalheiras de praias.

É importante analisar a geologia das bacias, averiguando a capacidade de escoamento através das formações geológicas, que dependem da dimensão dos espaços vazios existentes. Deste modo, é possível avaliar a influência deste factor no processo de

escoamento, nomeadamente se facilita o escoamento superficial com menor perigosidade em situação de cheia rápida. Ao analisar a carta geológica da Ilha da Madeira observa-se que as formações basálticas associadas às bacias hidrográficas do Funchal são relativamente recentes, não sendo o grau de permeabilidade do substrato muito elevado, potenciando o escoamento superficial.

A ilha da Madeira é constituída por três conjuntos, do ponto de vista morfológico e estrutural, estes conjuntos são o maciço vulcânico central, parte ocidental da ilha e a parte oriental da ilha. O concelho do Funchal está inserido no primeiro e terceiro.

Através de um estudo efectuado por Duarte (2002), citado por Lopes (2003), sobre furos de captação de água de determinadas bacias hidrográficas do Funchal, foi possível identificar algumas características geológicas nas áreas a jusante das ribeiras do Funchal, por análise da periferia dos furos de captação.

Na bacia hidrográfica da ribeira de São João, existem duas fracturas, uma a montante e outra a jusante, que formam uma depressão. Regista-se a ocorrência de uma série de episódios lávicos nas vertentes. A montante do furo identificou-se um nível de cascalheira fossilizada composta de seixos e calhaus. [10]

Na ribeira de João Gomes a caracterização geológica na envolvente do furo apresenta uma fissura ao longo da qual passam três chaminés bem alinhadas, relacionadas com quebras de declive, modificações na morfologia das linhas de água, alteração na disposição das vertentes, etc.

A bacia hidrográfica da ribeira de Santa Luzia é formada por um complexo vulcânico que tem origem em dois grandes aparelhos emissores localizados nas cabeceiras da linha de água. Na zona dos Esteios e Chão dos Balcões encontram-se outros aparelhos vulcânicos, que originaram diversas escoadas entrecruzadas, onde posteriormente deu origem à ribeira de Santa Luzia. O leito da ribeira apresenta uma morfologia larga, com declive pouco acentuado e vertentes abruptas.

Ao longo do curso de água principal da bacia está presente o complexo vulcânico intermédio 3. A baixa do Funchal é composta por material aluvionar, alterando para o CVS2 para montante até encontrar o CVS 1 (Ver Figura 29).

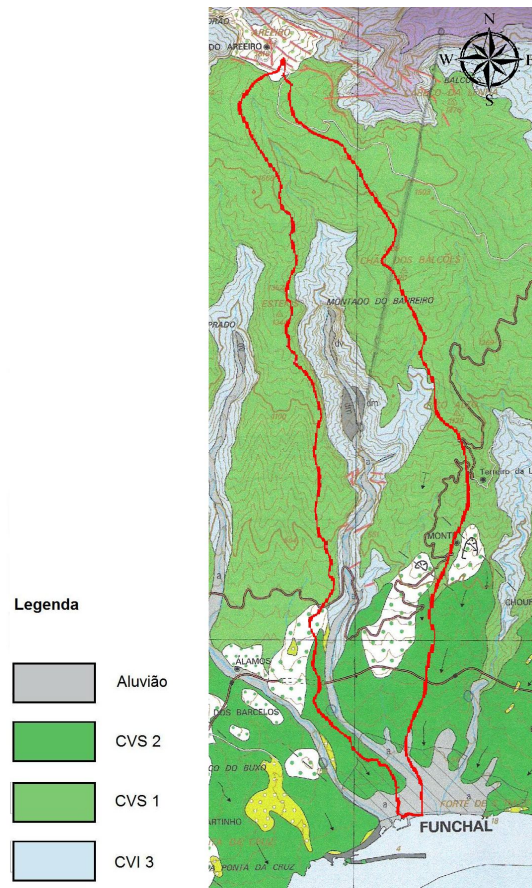


Figura 29 - Geologia na bacia hidrográfica de Santa Luzia [Fonte: Brum Silveira *et al*]

3.3. Caracterização geral da bacia hidrográfica da Ribeira de Santa Luzia

“A ribeira de Santa Luzia tem uma forma alongada no sentido norte-sul numa extensão de cerca de 10 km. A esta ribeira confluem dois cursos de água de relativa importância localizados na margem esquerda da bacia. Uma pequena sub-bacia que conflui com a ribeira de Santa Luzia a montante da Fundoa e a ribeira do Pisão confluindo menos de 1 km a jusante dos Tornos” [10]. O vale é muito entalhado, o que sugere uma fase extremamente jovem do ciclo de erosão a que está sujeito.

Em relação à sua morfologia, nas zonas em que o declive médio é inferior a 25%, geralmente altitudes superiores a 1000 m na envolvente do Funchal, o processo de erosão é pouco significativo mesmo com carência de cobertura vegetal.

Para as áreas com inclinações entre 25 e 100%, incluem as bacias de recepção da ribeira de Santa Luzia e da ribeira do Pisão, as vertentes atingem os 45°. Estas áreas são compostas predominantemente por formações piroclásticas onde evidenciam-se massas rochosas lávicas, cujos afloramentos, apresentam-se separados por uma rede aproximadamente ortogonal de fracturas. Uma das possíveis causas para o facto, tem a haver com o clima a altitudes elevadas, que provocam o desconjuntamento rápido dos afloramentos rochosos. Consequentemente, este material desagrega-se e por gravidade é transportado para o fundo do vale, que pela força das precipitações intensas são transportados pela ribeira.

Nas áreas de declive muito acentuado, localizadas no trecho intermédio da ribeira, a configuração é de uma garganta muito profunda composta por coberto vegetal contínuo, protegendo a erosão das suas vertentes íngremes. Segundo um estudo de Duarte (2002), esta ribeira está sujeita a dois tipos de erosão: a vertical e a lateral, a erosão lateral faz-se essencialmente pela ocorrência de quebradas ocasionais, sobretudo em áreas constituídas por material piroclástico, onde as vertentes recuam várias dezenas de metros em relação às mais resistentes. São exemplos, a área dos Tornos, na ribeira do Pisão, e entre os Tornos e a Fundoa.

Por último, nas áreas do fundo de vale alargado, entre a área dos Tornos e Fundoa, a ribeira exhibe um traçado meandrizado, provocado pela alternância dos sectores mais ou menos resistentes. Nos sectores menos resistentes temos um fundo de vale profundo, em que a sua largura pode atingir os 50 a 80 m e é constituído por depósito torrencial grosseiro.

O curso de água principal encontra-se canalizado desde a Foz até à Fundoa. Posteriormente será abordada com mais pormenor a caracterização geométrica do curso de água principal.

3.4. Caracterização dos solos da bacia hidrográfica da Ribeira de Santa Luzia

A bacia hidrográfica de Santa Luzia, é caracterizada por diversos tipos de solos sendo eles os cambissolos (Cambisols CM_x e CM_d), os andossolos (Andosols AN_u), os faezemes (Phaezems PHh) e outros tipos especiais de terrenos. A Figura 30 permite visualizar quais os solos pertencentes à bacia hidrográfica da ribeira de Santa Luzia.

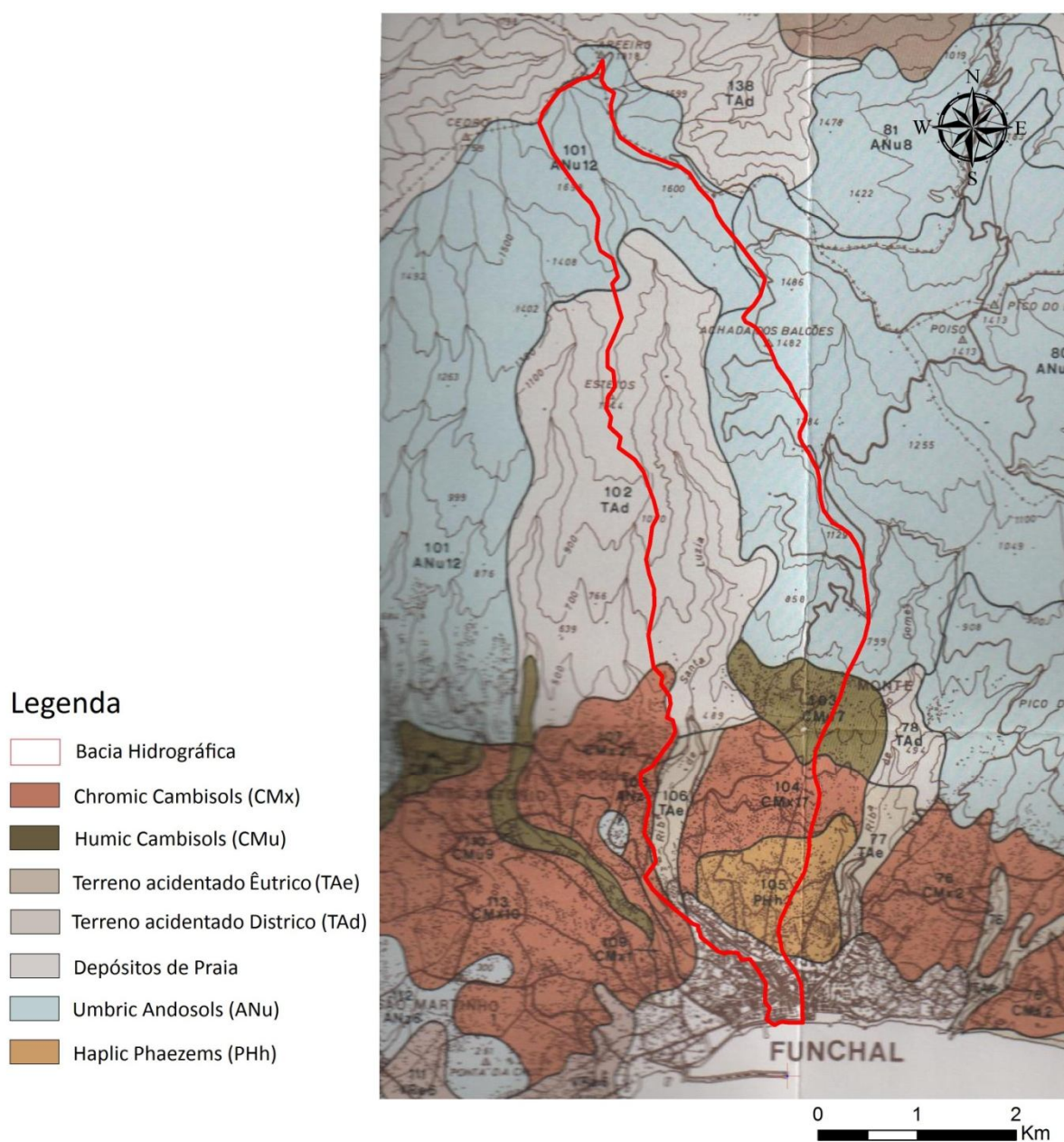


Figura 30 - Carta dos solos na bacia hidrográfica de Santa Luzia [Fonte: Carta do Solos da Ilha da Madeira, 1992]

Segundo a [3], encontram-se na bacia andossolos úmbricos caracterizados com um horizonte A úmbrico com consistência untuosa e textura fina, sem propriedades gleicas a 100 cm de profundidade.

Observam-se na zona mais a montante desta bacia Andossolos úmbricos do tipo 8 constituídos por Andossolos úmbricos como unidade dominante, com leptossolos como sub-dominantes, com inclusões de Andossolos háplicos. E ainda Andossolos úmbricos do tipo 12 em que o solo dominante é Andossolo úmbrico, o sub-dominante é terreno rochoso dístrico e com inclusões de andossolos háplicos, cambissolos dístricos e cambissolos húmicos.

Na parte mais a jusante da bacia estão presentes cambissolos crómicos do tipo 17 e 21. O solo do tipo 17 tem como material dominante os cambissolos crómicos, sub-dominante cambissolos êutricos e faezemes háplicos com inclusão de leptossolos, andossolos háplicos, andossolos úmbricos, cambissolos dístricos e húmicos. Também presentes os cambissolos do tipo 21 que são compostos maioritariamente por cambissolos crómicos, seguidos por cambissolos êutricos, cambissolos húmicos e faezemes háplicos, com inclusão de leptossolos, andossolos úmbricos e cambissolos dístricos. Encontram-se ainda cambissolos húmicos do tipo 7 com a unidade dominante o próprio, sub-dominante andossolos úmbricos, cambissolos dístricos e faezemes háplicos com inclusão de leptossolos, cambissolos êutricos e cambissolos crómicos.

Os Cambissolos húmicos são definidos com um horizonte A úmbrico ou mólico sobrejacente a um horizonte B câmbico com grau de saturação em bases inferiores a 50%, sem propriedades vérticas, ferrálicas no horizonte B e gleicas até à profundidade de 100 cm. Os Cambissolos crómicos são compostos por um horizonte A ócrico e tem grau de saturação em bases de 50% ou superior, entre 20 a 50 cm de profundidade, não sendo calcários nesta mesma espessura. Sem propriedades ferrálicas no horizonte B, sem propriedades vérticas e gleicas até à profundidade de 100 cm. Encontram-se próximos dos Cambissolos úmbricos.

Na Madeira observam-se somente Faezemes háplicos e na bacia estes encontram-se na área a jusante próximo do centro do Funchal, caracterizados por não terem horizonte B árgico e que não são calcários entre 20 e 50 cm de profundidade; sem propriedades

gleicas até à profundidade de 100 cm e sem propriedades estagnicas. Distribuem-se até cerca de 600 m de altitude em climas sub-húmidos C₁ a húmido B₄ e são originários principalmente por rochas basálticas. O solo presente nesta bacia tem como dominante as unidades faezemes háplicas com inclusões de leptossolos e vertissolos éutricos.

Na bacia da ribeira de Santa Luzia pode-se ainda encontrar tipos especiais de terreno, tais como depósitos de praia, terreno acidentado éutrico e terreno acidentado dístrico. Estes tipos especiais de terreno encontram-se essencialmente ao centro da bacia e ao longo dela.

Estes solos vão caracterizar a bacia quanto à sua permeabilidade, influenciando na velocidade de escoamento e na quantidade de escoamento. Pois se um terreno for mais permeável, a água infiltrada será maior e assim o escoamento superficial menor.

3.5.Precipitação

O fenómeno da precipitação é o elemento fundamental para o ciclo hidrológico e portanto é um factor importante para os processos de escoamento superficial directo, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos, escoamento no leito dos rios, entre outros.

A precipitação orográfica é característica na Ilha da Madeira, e define-se como sendo uma massa de ar húmido que é empurrada por ventos contra uma barreira montanhosa, obrigando a massa de ar subir, esta ao subir arrefece o ar até chegar ao ponto de condensação, levando à formação de nuvens. Ao continuar a ser forçada a elevar-se, a massa de ar vai levar à ocorrência de chuva, o que leva a massa de ar a perder muita humidade. Após passar o cume da montanha, o ar desce a encosta em que é comprimido e aquecido, tornando-se assim uma massa de ar quente e seco.

Em consequência deste factor, precipitação orográfica, a frequência de precipitação é maior nas áreas montanhosas, sendo o seu vale mais seco e quente.

No caso em particular da bacia hidrográfica de Santa Luzia, observa-se através da Figura 31, que a precipitação é tanto maior quanto maior é a altitude da bacia. A montante da bacia a precipitação média anual é superior aos 2800 mm, chegando a ser na área do Funchal menor que 800 mm. Devido à precipitação orográfica, sabe-se que a precipitação é mais frequente a montante da bacia, no Pico do Areeiro e Parque ecológico.

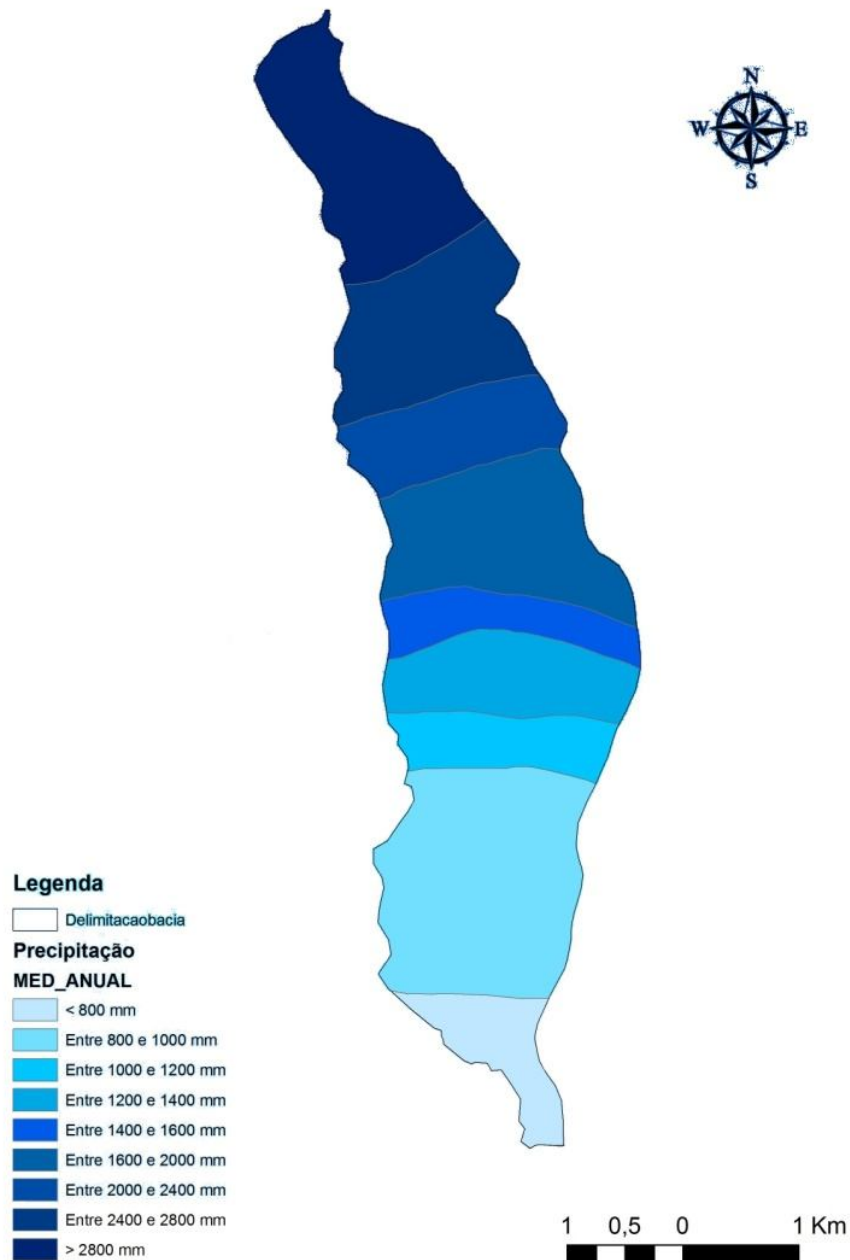


Figura 31 – Precipitação média anual na Bacia Hidrográfica de Santa Luzia [Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente - Atlas do Ambiente]

Conclui-se que na região a montante da bacia a quantidade de precipitação é elevada e por isso influência bastante no escoamento que vai percorrer a bacia, pois parte desta precipitação vai contribuir para o escoamento na rede de drenagem desta bacia.

Comparando o valor da precipitação ocorrida no dia 20 de Fevereiro em que apenas numa hora choveu 52 mm, com os valores anuais médio, nota-se que este é um valor muito elevado só para uma hora.

Este mapa da precipitação média anual foi retirado de shapefiles disponibilizados pelo Atlas do Ambiente Digital, através do ArcGis.

3.6. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica da Ribeira de Santa Luzia

3.6.1. Delimitação da bacia e Rede de drenagem - ArcGis

A determinação da rede de drenagem foi efectuada com recurso a shapefiles das bacias hidrográficas do Atlas do Ambiente, como já referido anteriormente, ao MDT da bacia em estudo (levantamento altimétrico produzido pela DRIGOT) e ortofotomapas da área da bacia. Primeiramente foi necessário converter e unir os ficheiros de altimetria. De referir que a altimetria recolhida foi efectuada após os eventos de Fevereiro de 2010.

Após a conversão e união destes ficheiros, procedeu-se à delimitação da bacia. Inicialmente foi calculada a direcção do escoamento, onde cada célula representa a direcção do escoamento da água. Após este passo foi necessário verificar a existência de depressões no terreno que influem na análise da direcção e acumulação do escoamento, essenciais para a delimitação da bacia. O preenchimento destas células foi feito através de um processo de interpolação de valores das células vizinhas, assim evita-se a ocorrência de erros devido a enganos do MDT.

Depois corrigidos os erros do MDT, voltou-se a calcular a acumulação do escoamento, para obter a rede de drenagem da bacia. Na Figura 32 está representada a rede de drenagem obtida para a bacia em estudo.

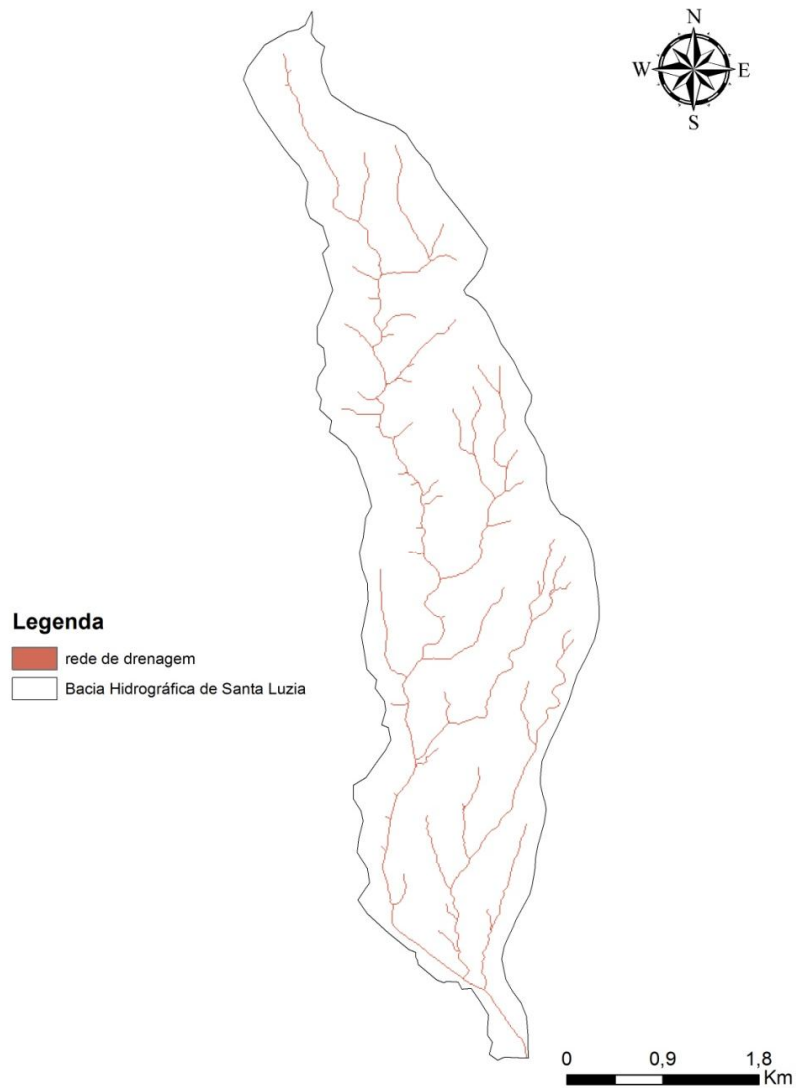


Figura 32 - Rede de Drenagem da Bacia de Santa Luzia

Através da acumulação do escoamento procedeu-se à interpolação da rede através de um valor de referência que se introduz que irá definir a densidade da rede de drenagem. Este valor de referência, influencia na maior ou menor pormenorização da rede de

drenagem, consoante o que se pretende estudar. Neste caso, foi utilizado um valor de 500, valor este intermédio para definir a rede de drenagem.

Posteriormente, foi efectuada a identificação e individualização de cada um dos troços da rede de drenagem e a vectorização das linhas de água. A partir da direcção do escoamento o programa efectua a delimitação da bacia referente à rede de drenagem que foi identificada no MDT. De seguida foi necessário criar um novo shapefile do tipo polígono e vectorizar manualmente o limite da bacia com auxilio dos ortofotomapas, pois nem sempre a delimitação automática encontra-se correcta. A Figura 33 mostra a delimitação da Bacia de Santa Luzia, obtida no final de todo este processo.

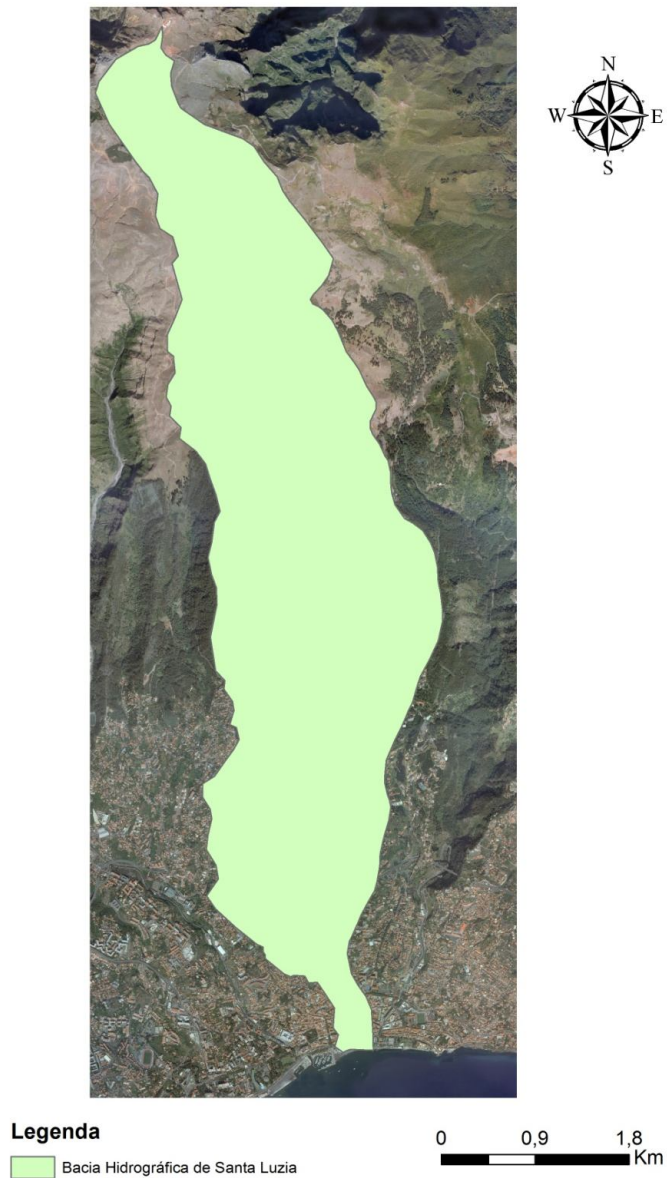


Figura 33 - Delimitação da Bacia Hidrográfica de Santa Luzia [Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente (Atlas do Ambiente)]

Da delimitação determinou-se que a área da bacia é cerca de $14,22 \text{ km}^2$, o perímetro $23,53 \text{ km}$ e o comprimento é de $9,9 \text{ km}$. Através do MDT do Funchal retiraram-se os valores das altitudes máximas e média da bacia hidrográfica. Na Tabela 6 apresentam-se os valores das características da bacia, obtidos através do ArcGis.

Tabela 6 – Valores das características da bacia

Bacia Hidrográfica da ribeira de Santa Luzia	
Área da bacia (km ²)	14,22
Perímetro (km)	23,53
Comprimento da bacia (km)	9,9
Altitude máxima (m)	1800
Altitude média (m)	826,6

3.6.2. Hierarquização da Rede de Drenagem

A hierarquização da rede de drenagem, que classifica por ordem de importância as linhas de água, pode ser feita por dois métodos, o de Strahler ou o de Shreve. O método de Strahler considera todos os canais que contribuem para o curso de água principal, sendo classificados de primeira ordem as linhas de água iniciais, que não tenham afluentes, quando duas linhas de água de primeira ordem se unem, é formada uma de segunda ordem; a junção de duas de segunda ordem dá lugar à formação de uma terceira ordem e assim sucessivamente.

O método de Shreve considera para os canais iniciais a magnitude 1, as magnitudes superiores são a soma das magnitudes anteriores que confluem para esse canal, uma vez que cada vez que há uma confluência de um curso de água o escoamento total vai aumentando, bem como a probabilidade de ocorrência de cheias. (Ver Figura 34)

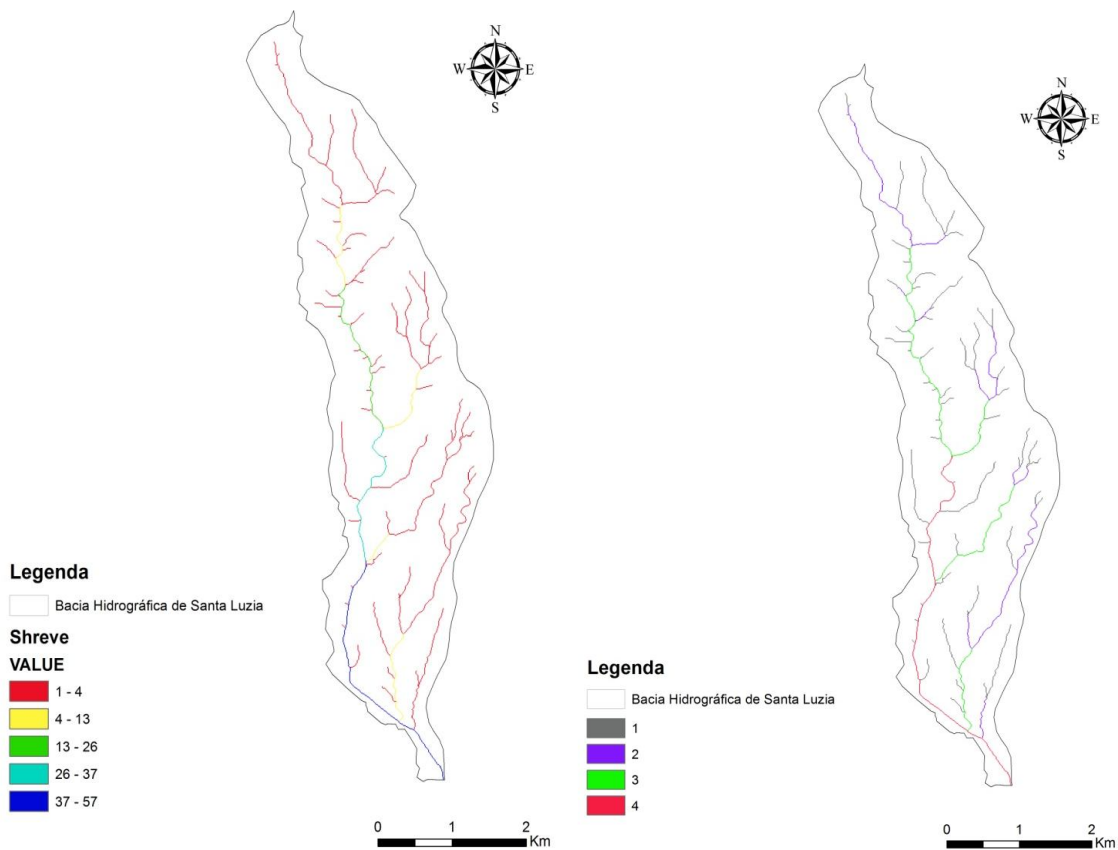


Figura 34 - Hierarquização de Shreve à esquerda e Hierarquização do Strahler à direita

Da hierarquização de Shreve, o canal principal recebe a contribuição de 57 canais, estes com magnitudes entre 1 e 57. Do método de Strahler observa-se que esta bacia contém canais de ordem 4, representada pela linha de água do curso principal mais a jusante.

O método de hierarquização de redes de drenagem mais utilizado é o de Strahler, pois é o método mais descritivo e de mais fácil interpretação.

3.6.3. Curso de água principal

Efectuada a hierarquização da rede de drenagem, consegue-se identificar o curso de água principal da bacia, sendo retirados os valores do comprimento e declive médio. O curso de água principal é identificado, pelo facto de ser a linha de água que recebe contribuição de todas as outras linhas de água. Na figura seguinte visualiza-se o curso de água principal.

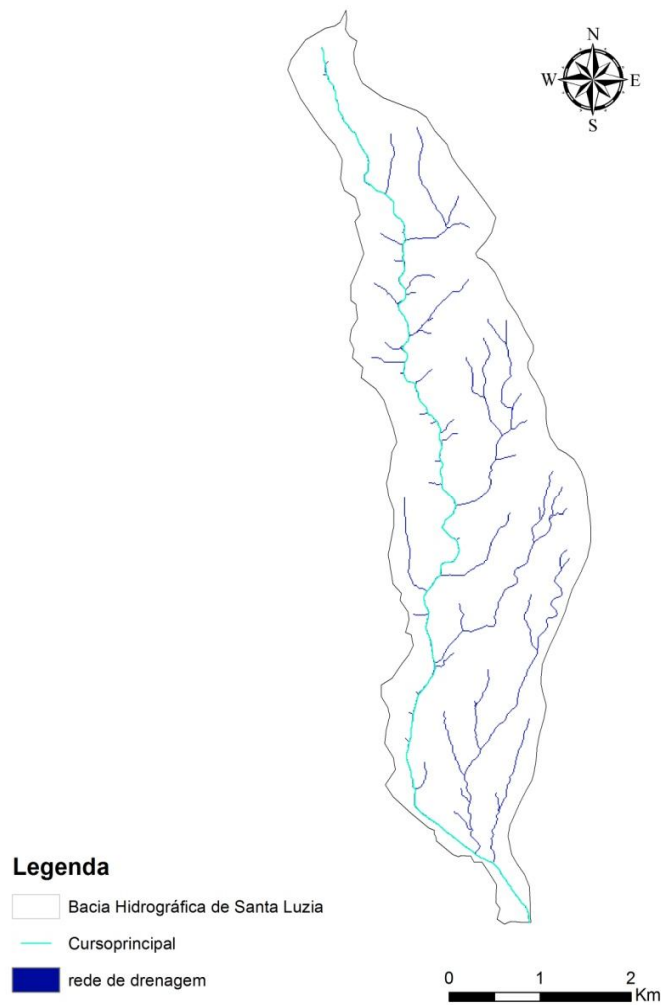


Figura 35 - Identificação do curso de água principal [Fonte: ArcGis]

O curso de água principal inicia-se no Parque Ecológico, no Pico do Areeiro e percorre o vale, passando pelos Tornos, Fundoa dirigindo-se para a baixa do Funchal onde termina o seu percurso, com contribuição de diversos afluentes desde a sua cabeceira até à zona do Jardim de Santa Luzia.

Deste mapa, desenhou-se o perfil longitudinal do curso de água principal para melhor entender a morfologia do curso de água (Ver Figura 36).

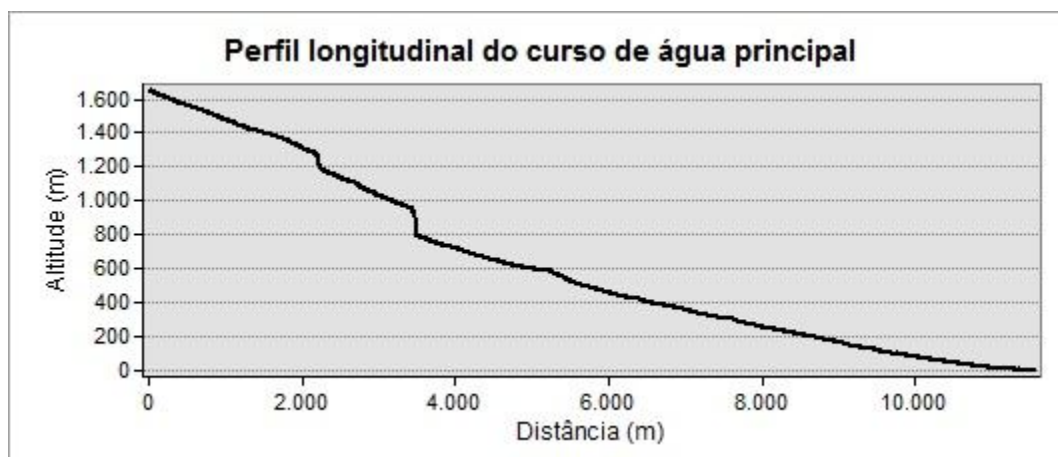


Figura 36 - Perfil longitudinal do curso de água principal [Fonte: ArcGis]

Da Figura 36, pode-se constatar que a orografia da ribeira de Santa Luzia é de declive acentuado com algumas rupturas a meio curso. A sua altitude máxima é superior aos 1600 m, com um declive muito acentuado no início do seu percurso, suavizando depois das rupturas a meio curso. Na Tabela 7 apresentam-se algumas características do curso de água principal.

Tabela 7 - Características do curso de água principal

Bacia hidrográfica da ribeira de Santa Luzia	
Comprimento do curso de água principal (km)	11,5
Comprimento de todos os cursos de água da bacia (km)	41,1
Altitude máxima do curso de água principal (m)	1650
Altitude média do curso de água principal (m)	620,7

3.6.4. Declives

A bacia hidrográfica de Santa Luzia apresenta maioritariamente declives com cerca de 30°, sendo que no fundo do vale as inclinações são superiores, tendo mesmo as

inclinações mais altas da bacia com cerca de 60° a 80°. O declive máximo obtido na bacia foi de 83,7° e o médio de 27,5°.

Declives acentuados provocam um maior escoamento superficial e conseqüentemente menor escoamento subterrâneo, pois com declives acentuados a água não tem tempo para se infiltrar nos solos, ainda para mais quando os solos nesta bacia na sua maioria são rochosos com reduzida capacidade de infiltração (elevada densidade de drenagem).

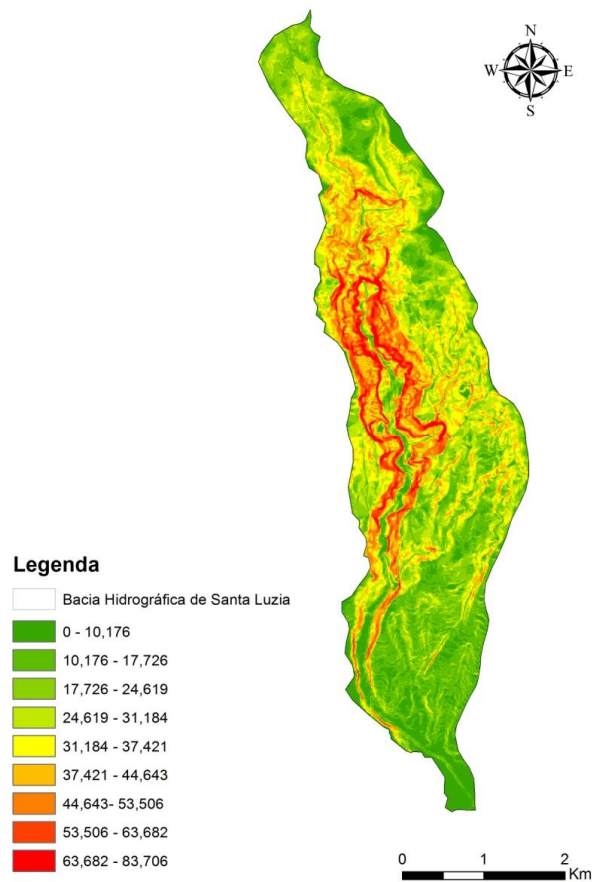


Figura 37 - Mapa de declives da Bacia Hidrográfica de Santa Luzia

Em relação ao declive do leito da ribeira na sua maioria com declives de cerca de 0° a 9°, tendo pontualmente valores que chegam aos 70° na zona a montante da ribeira, a montante dos Tornos. Na baixa do Funchal os valores estão dentro do intervalo de 0° a 10° com algumas inclinações chegando aos 25°. O declive máximo obtido, através do ArcGis foi de 72,2° e o declive médio de 7,69°.

Efectuou-se uma comparação aos declives do leito das ribeiras nas zonas canalizadas e não canalizadas e obteve-se para as zonas canalizadas um valor de 6,28° e para as não canalizadas 5,64°. Nota-se que a zona não canalizada tem um declive médio mais baixo, sendo mais propícia a deposição de material, esta zona encontra-se na zona a montante da bacia. Assim na zona canalizada, com um declive maior, conclui-se que o escoamento faz-se de uma forma mais rápida e há menos propensão para a deposição de material sólido.

3.7. Características geométricas da bacia hidrográfica da Ribeira de Santa Luzia

3.7.1. Factor de Forma

O factor de forma das bacias hidrográficas afecta o hidrograma de escoamento e os picos de cheia. Logo, o factor de forma é definido como a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia e é representado pela seguinte fórmula:

$$F_f = \frac{L}{C_b} = \frac{A/C_b}{C_b} = \frac{A}{C_b^2} \quad (1)$$

Em que:

L – é a largura [m];

C_b – é o comprimento do curso de água mais longo; e

A – é a área da bacia hidrográfica.

O valor do factor de forma varia entre 0.1 e 0.9, quanto maior é este valor maior será a probabilidade de ocorrência de cheias para uma dada área e a sua forma aproxima-se à de um círculo. Assim, para valores mais baixos a bacia terá uma forma mais alongada e a

probabilidade de ocorrência de cheia é menor. Portanto o valor obtido para a bacia em estudo é de 0.1, o que significa que é uma bacia bastante alongada. [10]

3.7.2. Densidade de drenagem, Densidade hídrica e Torrencialidade

A densidade de drenagem permite averiguar a maior ou menor susceptibilidade de ocorrência de cheias numa bacia hidrográfica. Este parâmetro permite também determinar a maior ou menor permeabilidade do terreno da bacia, onde áreas com maior porosidade, a infiltração é mais rápida e a densidade de drenagem tende a ser mais baixa. Em solos rochosos, a infiltração é reduzida, o escoamento superficial é maior e conseqüentemente a densidade de drenagem também.

A densidade de drenagem é definida pela relação entre o comprimento total dos cursos de água (C_{tc}) e a área da bacia hidrográfica (A'), expressa pela fórmula seguinte:

$$D_d = C_{tc}/A' \quad (2)$$

A densidade de drenagem obtida foi de 2.88 km/km², o que indica que é uma bacia bem drenada, pois admite-se que para bacias mal drenadas este índice tem o valor de 0.5 km/km² e para bacias bem drenadas um valor de 3.5 km/km².

Além da densidade de drenagem, pode-se calcular também a densidade hídrica que define-se pela relação entre o número de cursos de água com a área padrão da bacia.

$$D_h = N/A' \quad (3)$$

Em que:

D_h – é a densidade hídrica [Nº c.a./km²];

N – é o número de cursos de água (retirado do método de Shreve); e

A' – é a área da bacia hidrográfica [km²].

Portanto, a densidade hídrica da bacia hidrográfica de Santa Luzia é de 4 N° c.a./km². Representa matematicamente a capacidade que a bacia tem de gerar novos cursos de água, neste caso, esta bacia gera 4 cursos de água num quilómetro quadrado, o que representa uma bacia bem drenada.

É ainda essencial determinar a torrencialidade da bacia, ou seja, o regime torrencial com grandes amplitudes de variação dos caudais típicos das ribeiras da ilha. Esta define-se como o produto entre a densidade de drenagem e a densidade hídrica e permite saber a probabilidade da ocorrência de cheias numa bacia.

$$T = D_d \times D_h \quad (4)$$

Em que:

T – é o coeficiente de torrencialidade da bacia [N° c.a./km³]

O valor obtido do coeficiente de torrencialidade é de 11.58 N° c.a./km³, valor considerado baixo.

3.7.3. Análise do Relevo da bacia

O relevo influencia o comportamento hidrológico de uma bacia, determinando também a sua geometria e a rede de drenagem. No âmbito de averiguar a importância ou influência que o relevo tem no escoamento fluvial procedeu-se ao cálculo de vários índices de relevo.

A relação entre o relevo e a densidade de drenagem resulta no índice de rugosidade (I_r), que representa-se matematicamente pela seguinte fórmula:

$$I_r = A_{m\acute{a}x} \cdot D_d \quad (5)$$

Em que:

$\Delta_{\text{máx}}$ – é a altura da bacia (m);

D_d – é a densidade de drenagem (km/km²).

Valores elevados de índice de rugosidade associados a elevadas densidades de drenagem, com um comprimento mínimo do escoamento superficial, vertentes íngremes e elevados declives dos canais, propiciam a possibilidade de ocorrência de cheias rápidas [10]. O valor obtido para o índice de rugosidade foi de 5198.7 m.km/km², com este valor a bacia apresenta indícios que propiciam a possibilidade de ocorrência de inundações.

Outro índice calculado foi de relevo, que define-se por ser a relação existente entre a amplitude altimétrica máxima da bacia e a maior extensão da referida bacia. Pode ser calculado pela expressão seguinte:

$$R_r = \Delta_{\text{max}}/C_b \quad (6)$$

Em que:

$\Delta_{\text{máx}}$ – é a altitude máxima da bacia (m);

C_b – é a extensão máxima da bacia (km).

O valor resultante foi de 181.8 m/km. Este é um valor elevado de índice de relevo indicando relevos acentuados nesta bacia.

3.7.4. Tempo de Concentração e Tempo de Resposta

Ao tempo que a água demora para atingir a desembocadura desde o ponto mais afastado, a partir do momento em que se iniciou a precipitação, ou seja, o tempo

necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento na sua secção de referência denomina-se por tempo de concentração.

O tempo de concentração (T_c), pode ser calculado por vários métodos, sendo eles o método Kirpich, Vem Te Show, CHPW (California Highways and Public Works), Picking, TEMEZ e Giandotti, Neste caso o método utilizado foi o método de TEMEZ, definido pela seguinte fórmula:

$$T_c = 0,3 \left(\frac{C_c}{i^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (7)$$

Em que:

T_c – é o tempo de concentração (h);

C_c – é o comprimento do canal principal (km);

i – é o declive médio (m/m)

O resultado obtido para esta bacia para o tempo de concentração foi de 2h48m, o que representa o tempo que a bacia demora a transportar a água, caída a montante, até à foz.

Para obter o tempo de resposta, que é o tempo que a bacia leva a responder à precipitação útil responsável pela ponta de cheia (valor máximo do caudal durante uma cheia), basta multiplicar o tempo de concentração por 0.6. Assim, o valor obtido foi de 1h41m, representa um tempo reduzido para alertar a população em risco.

Em resumo apresentam-se os valores obtidos das características geométricas da bacia hidrográfica na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores das características geométrica da bacia hidrográfica da ribeira de Santa Luzia

Características geométricas	
Factor de Forma	0.1
Densidade de drenagem (km/km ²)	2.88
Densidade hídrica (N° c.a./km ²)	4
Torrencialidade (N° c.a./km ³)	11.58
Índice de rugosidade (m.km/km ²)	5198.7
Índice de relevo (m/km)	181.8
Tempo de concentração	2h48m
Tempo de resposta	1h41m

CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA, HIDROLÓGICA E DE TRANSPORTE SÓLIDO DO EVENTO DO DIA 20 DE FEVEREIRO DE 2010 – BACIA HIDROGRÁFICA DE SANTA LUZIA

A caracterização do evento do dia 20 de Fevereiro foi efectuada, de modo a compreender quais os factores que contribuíram para desencadear o fenómeno e determinar os efeitos e impactos que este teve na bacia hidrográfica em estudo. Assim, neste capítulo fez-se um estudo sobre a caracterização geometria do corredor fluvial analisando o curso de água principal e as suas secções.

Após um reconhecimento do corredor fluvial, foram levantados e recolhidos todos os dados necessários à caracterização das secções transversais. Depois de seleccionadas as secções foram preenchidas fichas de campo para caracterizar a secção transversal do curso de água, posteriormente apresentadas no Anexo I. As fichas do Anexo I, contêm a designação da secção, coordenada militar, distância à foz, descrição sumária da secção e da razão para a sua escolha, um croquis da secção transversal, indicando as principais dimensões, indicação dos declives do leito, indicação do material e da vegetação do leito e das margens, uma lista de elementos relevantes, cronologia dos eventos do dia e historial desta secção noutro evento.

Para a quantificação do volume de material depositado em toda a bacia hidrográfica, foram preenchidas fichas de campo, apresentadas no Anexo II. No Anexo II, as fichas contêm a localização da zona de depósito, o cálculo da área e volume e caracterização granulométrica do material depositado.

É de referenciar que as fichas utilizadas para estas caracterizações, foram fornecidas pelo Instituto Superior Técnico, pelo professor Rodrigo Proença de Oliveira.

Após o levantamento das secções foram calculados os caudais e velocidades no período de cheia, com base em fotos e vídeos disponíveis desse período. Para o cálculo destas variáveis foi utilizada a fórmula de Manning-Strickler.

Além da caracterização do corredor fluvial, efectuou-se a análise e avaliação das áreas inundadas, áreas com depósito de material e áreas com danos em infra-estruturas, de modo a reconhecer quais as zonas afectadas por este evento.

4.1. Caracterização da geometria do corredor fluvial do curso de água principal

A ribeira de Santa Luzia tem um canal com uma extensão, consideravelmente grande, com cerca de 11,49 km, uma largura média de 13,7 m e altura média de 5,8 m. As margens da ribeira, podem ser classificadas como totalmente canalizadas, parcialmente canalizadas e naturais. No Funchal, o canal é totalmente canalizado até à entrada de acesso à via rápida na Estrada da Fundoa, diversificando entre pedra aparelhada e betão. A montante a ribeira é parcialmente canalizada, com uma margem natural e a outra em betão. Na Fundoa a ribeira alterna entre parcialmente canalizada e natural, pois após a ponte situada próxima da pedreira da Fundoa o canal está no seu estado natural. Os trechos em estado natural comportam margens de vertentes íngremes e de grande altitude num dos lados e vertentes com cerca de 10 m chegando até aos 20 m de altura máxima no outro.

O leito da ribeira apresenta calhau rolado, com alguma presença de vegetação nas zonas onde a ribeira é canalizada. Na zona da Fundoa o leito apresenta blocos de grande dimensão e presença de vegetação nas suas margens.

Paralelamente ao curso de água principal existem duas vias de circulação, uma de cada lado, passando apenas para uma via após a rotunda dos Viveiros. Além destas vias encontram-se edifícios em alguns troços da ribeira.

4.2. Selecção das secções de referência

Face à inexistência de dados sobre as características geométricas da ribeira procedeu-se à caracterização da geometria do corredor fluvial para o estudo do evento do dia 20/02/2010, foi realizada para obter mais dados no sentido de uma melhor

caracterização do evento. Para tal, foram seleccionadas várias secções transversais de acordo com vários critérios, sendo eles:

- A ocorrência de situações de transvasamento do leito com ocorrência de danos significativos;
- O escoamento no canal da ribeira sem aparente problema do caudal gerado;
- O conhecimento com um rigor razoável das condições de escoamento, nomeadamente através de fotografias, vídeos ou testemunhos pessoais;
- A deposição de grandes quantidades de material sólido;
- A localização próxima de edifícios ou infra-estruturas críticas;
- A confluência de linhas de águas importantes;
- A passagem de vias de comunicação importantes (pontes).

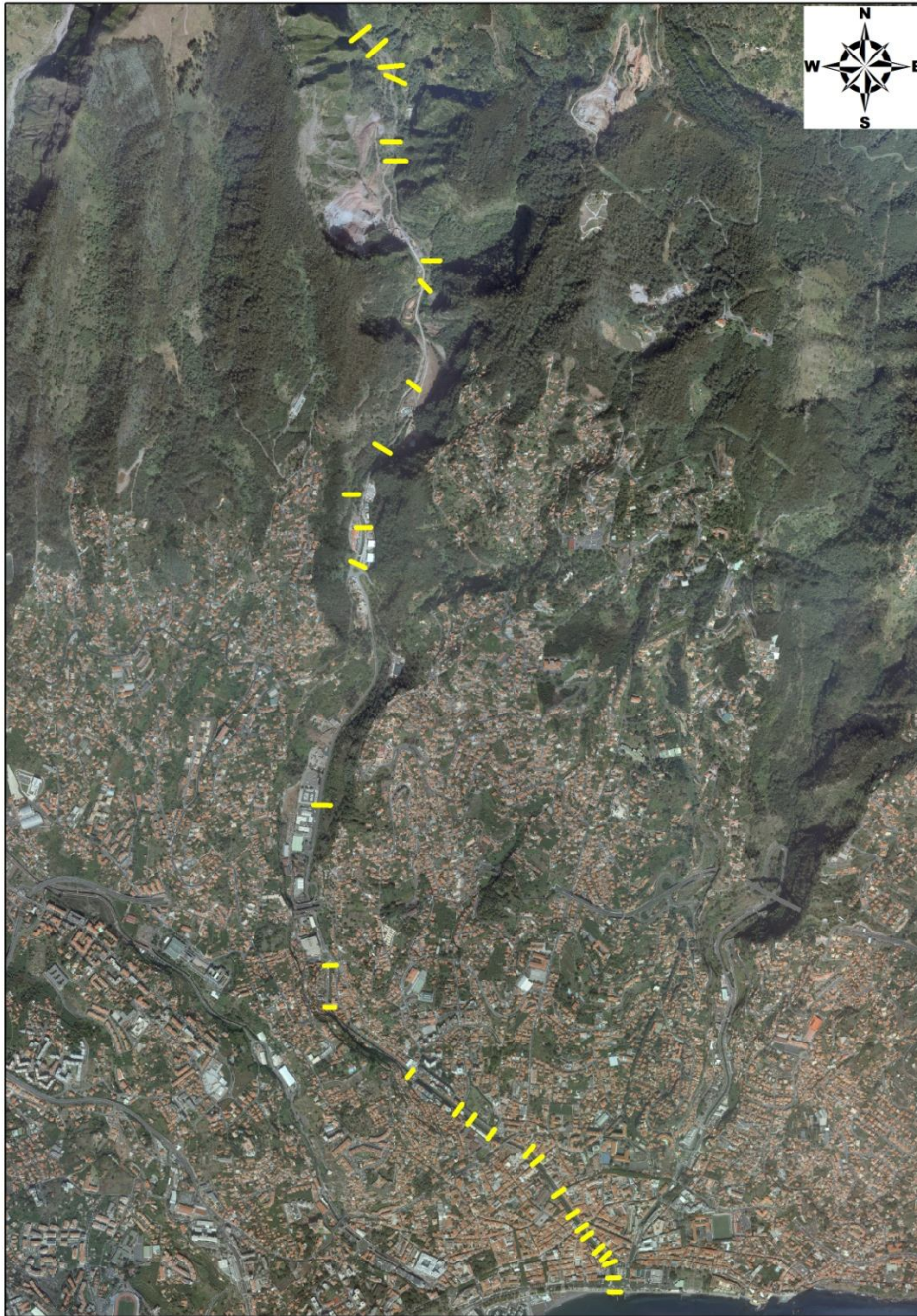
Em seguida apresentam-se na Tabela 9 as secções seleccionadas, a sua designação, localização, coordenadas do seu ponto médio e a distância da secção à foz.

Tabela 9 - Selecção das Secções

Designação	Localização	Coordenadas militares	Distância à foz (m)
SL_1	Foz	28 S CB 21275 13750	0
SL_2	Avenida do Mar	28 S CB 21275 13775	62
SL_3	Ponte do Cidrão	28 S CB 21275 13850	128
SL_4	Ponte D. Manuel I	28 S CB 21250 13888	161
SL_5	Ponte demolida	28 S CB 21200 13925	204
SL_6	Rua 5 de Outubro	28 S CB 21175 13950	247
SL_7	Ponte do Bettencourt	28 S CB 21138 14250	325
SL_8	Ponte Nau Sem Rumo	28 S CB 21100 14063	399,6
SL_9	R. M. Funchal	28 S CB 21038 14175	508,7
SL_10	Ponte Nova	28 S CB 20950 14300	676,3
SL_11	Ponte de Santa Emília	28 S CB 20900 14350	733,1
SL_12	Ponte do Torreão	28 S CB 20750 14425	916,1
SL_13	Ponte frente ao Jardim de Santa Luzia	28 S CB 20525 14500	1023,3
SL_14	Ponte do Til	28 S CB 20600 14525	1095,5
SL_15	Ponte de Pau	28 S CB 20400 14675	1354,8
SL_16	Rua abaixo dos Viveiros	28 S CB 20025 14975	1818,2
SL_17	Rotunda dos Viveiros	28 S CB 20025 14175	1999,3
SL_18	Esquinado Edifício dos Horários do Funchal	28 S CB 19975 15775	2713,8

Designação	Localização	Coordenadas militares	Distância à foz (m)
SL_19	Rotunda Fundoa	28 S CB 20150 16925	3843,5
SL_20	Frente à porta superior do Edifício da CMF	28 S CB 20175 17075	4004,5
SL_21	Parque de autocarros	28 S CB 20125 17225	4228,1
SL_22	Acima do parque	28 S CB 20225 17375	4352,3
SL_23	Acima da fábrica	28 S CB 20425 17650	4731,3
SL_24	Ponte	28 S CB 20450 18125	5260,3
SL_25	Acima da Ponte	28 S CB 20475 18250	5394,5
SL_26	Pedreira	28 S CB 20325 18525	5860,4
SL_27	Desabamento da estrada	28 S CB 20300 18575	5933,8
SL_28	Tornos	28 S CB 20300 19025	6258,2
SL_29	Acima da ponte dos Tornos	28 S CB 20300 19125	6298,3
SL_30	Afluente	28 S CB 20225 19175	6437,4
SL_31	Acima do afluente	28 S CB 20200 19225	6484,6

Para melhor visualizar a localização destas secções, efectuaram-se mapas com a sua localização e identificação, como é possível visualizar na figura seguinte:



Legenda

— secções

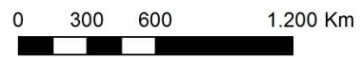
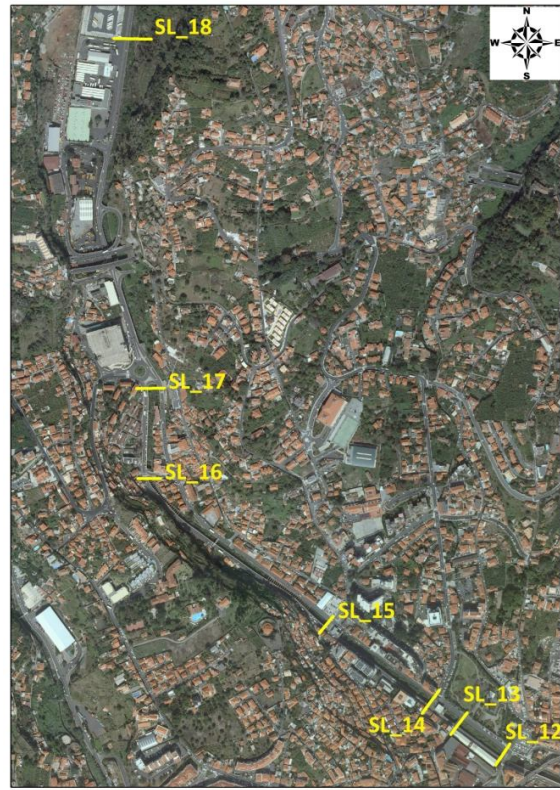
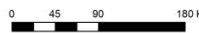


Figura 38 - Localização das secções seleccionadas Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]

De seguida apresenta-se em mais pormenor a localização e respectiva designação das secções.



Legenda
 — secções



Legenda
 — secções

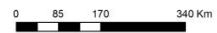


Figura 39 - Mapas da localização das secções na baixa do Funchal e no trecho intermédio do curso de água principal, à esquerda e direita respectivamente Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]

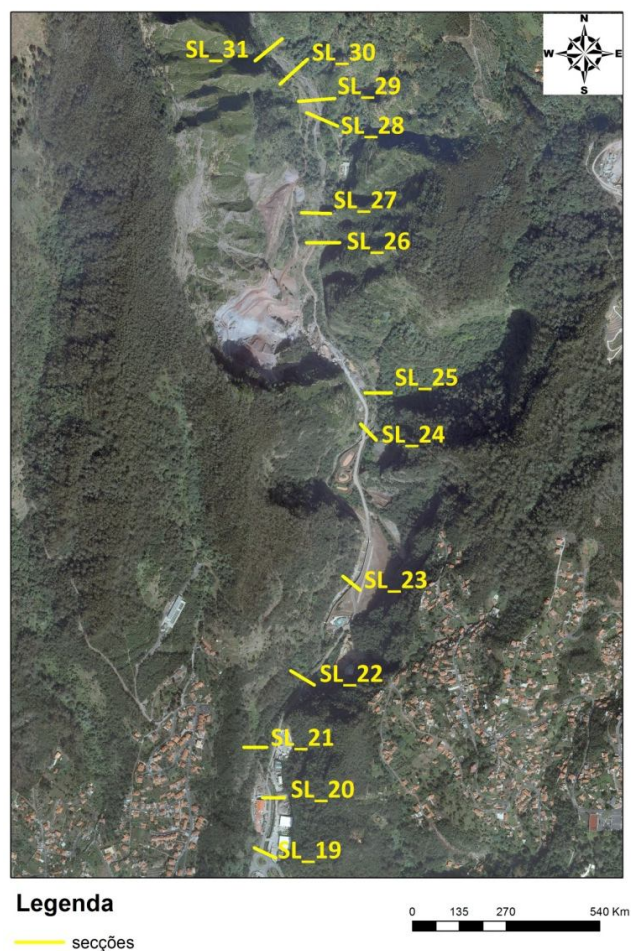


Figura 40 - Mapa da localização das secções a montante Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]

4.2.1. Metodologia para o Levantamento das secções

A metodologia utilizada para o levantamento de secções teve como base a identificação das secções com interesse, em especial onde ocorreram danos significativos e aquelas que permitem estimar o caudal líquido e deposição de material sólido.

Após a recolha dos dados necessários procedeu-se à compilação e tratamento dos mesmos, de forma a estimar o valor do caudal e da velocidade através da equação de Manning – Strickler. Para este cálculo foi preciso identificar as seguintes variáveis:

- a largura do canal de escoamento, B (m);
- a altura do canal, H (m);

Secção	B (m)	H (m)
1	13,5	4,6
2	14,1	4,8
3	13,7	5,2
4	13,7	7,2
5	13,5	6,1
6	12,6	5,9
7	12,6	6,2
8	12,5	4,8
14	14,2	8,5
15	11,2	8,3
16	8,9	6,2
17	9,6	7,1
18	9,6	5,6
19	10,6	5,8
20	10,3	4,1
21	30	5
22	25,4	4
23	11	7
24	11	8
25	24,5	4
26	36,5	10
27	70	20
28	35	5
29	41	4
30	56	6
31	20	5

4.2.2. Cálculo das áreas da secção

De modo, a caracterizar as secções quanto às suas dimensões para posteriormente quantificar as áreas de água e material sólido, foi efectuado o levantamento, no terreno, das mesmas. Os materiais utilizados, para a recolha das dimensões, foram uma fita métrica e um medidor de distâncias a laser.

Foram medidas 31 secções numa extensão de 6,5 km aproximadamente. Não foram analisadas mais secções a montante, pois não se dispunham de dados suficientes para determinar os valores necessários no estudo em questão, bem como a acessibilidade. Em algumas das secções escolhidas não foi possível obter valores de áreas, devido á falta de informação sobre os níveis de água ou sólidos no dia d evento. Foram obtidas 12

secções transversais com informação sobre a área de água e 21 com informação da área de material sólido. Na Tabela 10 apresentam-se os valores das dimensões das secções e níveis de água e sólidos.

Tabela 10 - Áreas de água e sólidos para cada secção

Secção	B (m)	H (m)	Nível de água (durante evento) (m)	Nível de sólidos (após evento) (m)	Área da secção (m ²)
1	13,5	4,6	0,2	4,4	62,1
2	14,1	4,8	0,3	4,4	67,68
3	13,7	5,2	0,35	4,6	71,24
4	13,7	7,2	0,35	6,4	98,64
5	13,5	6,1	0,4	5,9	82,35
6	12,6	5,9	0,35	5,9	74,34
7	12,6	6,2	0,3	5	78,12
8	12,5	4,8		4,2	60
14	14,2	8,5	1,5		120,7
15	11,2	8,3	8,7		92,96
16	8,9	6,2	5,6		55,18
17	9,6	7,1	7,9		68,16
18	9,6	5,6	5,3		53,76
19	10,6	5,8		0,3	61,48
20	10,3	4,1		0,3	42,23
21	30	5		4,8	150
22	25,4	4		3	101,6
23	11	7		2,5	77
24	11	8		3	88
25	24,5	4		3	98
26	36,5	10		2	365
27	70	20		2	1400
28	35	5		3,8	175
29	41	4		3,8	164
30	56	6		3,1	336
31	20	5		3	100

4.3. Determinação do caudal do dia 20 de Fevereiro

Antes do cálculo da estimativa do caudal foi necessário efectuar alguns cálculos auxiliares, como o cálculo das inclinações do leito da ribeira, a determinação de um coeficiente de Manning-Strickler equivalente e cálculo de perímetros e áreas molhadas.

4.3.1. Metodologia utilizada para a determinação do caudal

O valor do caudal, foi calculado através da fórmula de Manning-Strickler, representada da seguinte forma:

$$Q = K_{eq} \cdot A_w \cdot R_h^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (8)$$

Em que:

Q – é o caudal (m^3);

K_{eq} – é o coeficiente de rugosidade equivalente;

A_w – é a área molhada da secção (m^2);

R_h – é o raio hidráulico (m), definido pela razão entre a área molhada e o perímetro molhado;

i – é o declive do leito do curso de água principal (m/m).

Devido ao canal ter, na mesma secção, rugosidades diferentes foi necessário calcular um coeficiente de rugosidade equivalente, expresso pela seguinte fórmula Einstein:

$$K_{eq} = \frac{1}{n_i} \quad (9)$$

$$\text{Onde } n_i = \sum_{i=0}^n \left(\frac{P_i \cdot n_i^{3/2}}{P_w} \right)^{2/3} \quad (10)$$

n_i – coeficiente de rugosidade de cada parede;

P_i – perímetro molhado (m);

P_w – perímetro molhado total (m).

Para o caso de existência de material rochoso, a equação para o cálculo do coeficiente de Manning – Strickler utilizada é a equação Meyer – Peter e Müller:

$$n = \frac{D_{90}^{1/6}}{26} \quad (11)$$

D_{90} – diâmetro da peneira que permite a passagem de 90% do material da superfície do álveo (m).

Os coeficientes de rugosidade utilizados, para os diferentes materiais constituintes da ribeira, estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Valores do coeficiente de rugosidade

n	Tipo de material
0.031	Rocha
0.026	Material aluvionar grosseiro (seixos, calhaus e blocos de pequenas dimensões)
0.0167	Asfalto rugoso
0.013	Betão
0.014	Pedra aparelhada em bom estado
0.025	Alvenaria de pedra argamassada
0.030	Depósitos de margem constituídos majoritariamente por material argiloso

Para a determinação do caudal foi necessário estimar a altura da coluna de água, h_w (estimada através dos registos fotográficos e de vídeos). O cálculo da altura de coluna de água, foi efectuado da seguinte forma:

$$h_w = H - h_s \quad (12)$$

Onde:

h_s – é a altura do material sólido depositado (m) (estimado através de registos fotográficos, vídeos e visita de campo);

H - altura de coluna de água na secção de transvasamento (m)

Além da altura de coluna de água foram calculados:

- largura da secção de transvasamento, B (m);
- área dos depósitos sólidos, A_s (m²);
- área molhada das secções com e sem transbordo, A_m (m²);
- perímetro molhado, P_w (m);
- área molhada, A_w (m²);
- inclinação, i (m/m) (retirada do MDT com recurso ao ArcGis).

4.3.2. Cálculo das inclinações do leito da ribeira

Para o cálculo do caudal de escoamento no canal, foi necessário fazer o levantamento das inclinações do leito de cada secção. Estas foram recolhidas através de SIG's, a partir do programa ArcGis, os valores foram retirados em graus e posteriormente convertidos em m/m para aplicar na equação de Manning – Strickler.

Tabela 12 - Declives do leito de cada secção da ribeira de Santa Luzia

Secção	i (°)	i (m/m)	Secção	i (°)	i (m/m)
SL_1	3,2	0,056	SL_17	5,71	0,100
SL_2	3,04	0,053	SL_18	4,3	0,075
SL_3	4,2	0,073	SL_19	2,86	0,050
SL_4	0,8	0,014	SL_20	2,86	0,050
SL_5	10,1	0,178	SL_21	7,33	0,129
SL_6	3,6	0,063	SL_22	11,4	0,202
SL_7	9,3	0,164	SL_23	12,01	0,213
SL_8	10,6	0,187	SL_24	3,64	0,064
SL_9	12	0,213	SL_25	3,65	0,064
SL_10	15,4	0,275	SL_26	7,86	0,138
SL_11	12,3	0,218	SL_27	14,04	0,250
SL_12	1,43	0,025	SL_28	4,3	0,075
SL_13	1,43	0,025	SL_29	1,43	0,025
SL_14	8,65	0,152	SL_30	4,52	0,0791
SL_15	3,04	0,053	SL_31	3,65	0,0638
SL_16	1,43	0,025			

O declive médio determinado através do ArcGis, para cada secção foi de 4,3°, o declive máximo encontra-se na Ponte Nova no Funchal e é de 15,4.

4.3.3. Determinação do caudal no leito da ribeira

Como já foi descrito anteriormente, o caudal foi estimado pela equação de Manning-Strickler, após o levantamento e estimativa dos valores necessários ao seu cálculo. A velocidade foi determinada através do caudal. A inexistência de vídeos viáveis não permitiu a determinação desta, para o efeito de validação dos resultados.

Os valores estimados para o caudal nas diversas secções são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Estimativa dos valores de caudal líquido e velocidade para cada secção

Secção	B (m)	h (m)	h _w (m)	P _{molhado} (m)	A _w (m ²)	R _h (m)	n	i (°)	i (m/m)	Q (m ³ /s)	V (m/s)
SL_1	13,5	4,6	0,2	13,9	2,7	0,194	0,025	3,2	0,056	8,40	3,11
SL_2	14,1	4,8	0,3	14,7	4,23	0,288	0,025	3,04	0,053	16,80	3,97
SL_3	13,7	5,2	0,35	14,4	4,80	0,333	0,025	4,2	0,073	24,82	5,18
SL_4	13,7	7,2	0,35	14,4	4,80	0,333	0,025	0,8	0,014	10,82	2,26
SL_5	13,5	6,1	0,4	14,3	8,28	0,579	0,025	10,1	0,178	97,03	11,72
SL_6	12,6	5,9	0,35	13,3	6,93	0,521	0,025	3,6	0,063	44,88	6,48
SL_7	12,6	6,2	0,3	13,2	3,78	0,286	0,025	9,3	0,164	26,37	6,97
SL_8	12,5	4,8	0,3	13,1	3,75	0,286	0,025	10,6	0,187	27,96	7,46
SL_14	14,2	8,5	1,5	17,2	21,3	1,238	0,023	8,65	0,152	418,71	19,66

O valor de caudal mais elevado verificado foi na secção 14, à hora do pico de cheia, com um valor de aproximadamente 420 m³/s, sendo esta a única secção com dados a esta hora. Para a mesma secção, fazendo uma estimativa de valores de caudal de uma dia normal, de precipitação regular, com uma altura de água com cerca de 0,30 m, o valor do caudal seria de 28,6 m³/s. Nota-se que o caudal no pico de cheia é muito mais elevado que o valor estimado para um dia normal, devido à diferença na altura de água existente na secção.

Os caudais para as restantes secções foram calculados a partir das 14h e portanto os valores são mais baixos.

4.3.4. Discussão de Resultados

Os valores acima calculados, são meras estimativas, pois são baseados em fotos, vídeos e testemunhos de pessoas que presenciaram no local o evento, que podem levar a diferentes interpretações.

Os valores obtidos foram coerentes com as horas a que estes decorreram, pois é possível verificar que os valores de caudais mais reduzidos, ocorreram nas horas em que

o escoamento encontrava-se mais estabilizado, contrastando com o único valor retirado à hora do pico de cheia de 420 m³/s, registado por volta das 11h.

4.4. Avaliação do material sólido depositado ao longo do curso de água principal

O objectivo desta avaliação é o de caracterizar o material depositado resultado do evento do dia 20 de Fevereiro de 2010. Para esta caracterização foi necessário calcular a quantidade de material sólido depositado e fazer uma avaliação granulométrica. O cálculo de volumes de água e de sólidos, foi efectuado com recurso a registos fotográficos e vídeos, onde foi possível estabelecer as áreas e as cotas de material depositado.

As áreas abrangidas com material sólido foram calculadas em extensão através do programa ArcGis, pois permitiu ter valores mais aproximados do real, para depois obter os volumes pretendidos.

Assim, foram definidos troços entre secções, a que foram chamadas de zonas. As zonas de 8 a 13 dizem respeito a ruas onde houve deposição de material, as restantes são do leito da ribeira.

Tabela 14 - Volume total de material sólido

Troço	Distância da foz (m)	Bmédio (m)	Hmédio (m)	Nível sólido (m)	Área sólida (m²)	Volume sólido (m³)
Zona 1	62,0	13,8	4,7	4,4	855,6	3764,6
Zona 2	128,0	13,9	5	4,5	917,4	4128,3
Zona 3	161,0	13,7	6,2	5,5	452,1	2486,6
Zona 4	204,0	13,6	6,65	6,15	584,8	3596,5
Zona 5	247,0	13,05	6	5,9	561,15	3310,8
Zona 6	325,0	12,6	6,05	5,45	982,8	5356,3
Zona 7	399,6	12,55	5,5	4,6	936,23	4306,7
Zona 8				0,9	555,3	499,77

Troço	Distância da foz (m)	Bmédio (m)	Hmédio (m)	Nível sólido (m)	Área sólida (m ²)	Volume sólido (m ³)
Zona 9				1,6	273,3	437,28
Zona 10				0,4	420,7	168,28
Zona 11				2	3540	7080
Zona 12				1	905,7	905,7
Zona 13				1,5	1340	2010
Zona 14	4004,5			0,3	2060	618
Zona 15	4228,1	20,15	4,55	2,55	4505,54	11489,127
Zona 16	4352,3	27,7	4,5	3,9	3440,34	13417,326
Zona 17	4731,3	18,2	5,5	2,75	6897,8	18968,95
Zona 18	5260,3	11	7,5	2,75	5819	16002,3
Zona 19	5394,5	17,75	6	3	2382,05	7146,15
Zona 20	5860,4	30,5	7	2,5	14209,95	35524,875
Zona 21	5933,8	53,25	15	2	3908,55	7817,1
Zona 22	6258,2	52,5	12,5	2,9	17031	49389,9
Zona 23	6298,3	38	4,5	3,8	1523,8	5790,44
Zona 24	6437,4	48,5	5	3,45	6746,35	23274,91
Zona 25	6484,6	38	5,5	3,05	1793,6	5470,48

Dos resultados obtidos verifica-se que a partir da Zona 15, situada na Fundoa, o volume de material sólido aumenta consideravelmente. O volume total estimado para a bacia hidrográfica da ribeira de Santa Luzia foi de 232.960,3 m³, sendo que no leito da ribeira obteve-se um valor de 221.859,2 m³.

Tabela 15 - Volume de material sólido nas ruas e infra-estruturas onde houve deposição de material sólido

Ruas	Volume (m ³)
Zona 8 - Rua dos Tanoeiros	499,77
Zona 9 - Rua da Alfândega	437,28
Zona 10 - Rua 5 de Outubro	168,28
Zona 11 - Instalações da CMF - Fundoa	7080,00
Zona 12 - Estrada - Fundoa	905,70
Zona 13 - Estaleiro - Fundoa	2010,00
TOTAL	11.101,03

Através dos valores acima estimados observa-se que os locais de maior deposição de material foram na Fundoa, tal como já tinha sido referido para o leito. O edifício das instalações da CMF foi o mais atingido com cerca de 7080 m³ na área da Fundoa e no Funchal temos a rua dos Tanoeiros com mais volume de material sólido. Como resultado final o volume total estimado para as ruas e edifícios foi de 11 101,03 m³.

4.4.1. Discussão dos resultados

Os valores determinados anteriormente representam as áreas com maior deposição de material, pois nas zonas em que a altura era reduzida o cálculo do volume foi desprezado. As áreas desprezadas, eram normalmente áreas com alturas inferiores a 30 cm e pequenas áreas, não influenciando no resultado final. Não foram também contabilizados os volumes de carga sólida que assorearam no mar.

Analisando os valores obtidos, verifica-se que só nas zonas de deposição a montante, nomeadamente na Fundoa, Zonas de 11 a 25, têm um volume de 204.905,2 m³. Este valor representa quase a totalidade do valor total depositado.

No leito da ribeira, depositou-se a maior percentagem de volume de material sólido, pois apenas cerca de 5% do volume total depositou-se fora dele.

Salienta-se ainda, que a razão entre a área da bacia e a área de material sólido é de cerca de 58%. Assim, é possível concluir que mais de metade da bacia ficou coberta por material sólido, apesar de não ser perceptível tal quantidade no mapa das zonas de depósito.

4.5. Localização das áreas afectadas – Inundações, Deposição de material sólido e Danos em infra-estruturas

4.5.1. Localização das zonas inundadas

Na sequência do decorrido no dia 20/02/10 ocorreram várias inundações na bacia hidrográfica da Ribeira de Santa Luzia. As áreas mais afectadas pelas inundações foram as áreas da Fundoa de cima e a zona baixa do Funchal.

Na zona dos Tornos a montante (*Secção de transbordo I*) na secção SL_28, ocorreu o transbordo do leito no lado direito do canal provocando o desabamento e arrastamento de uma grande parte da margem por onde passava uma estrada em terra.

Ainda na Fundoa de cima junto à secção SL_25, *secção de transbordo II*, a ribeira ultrapassou a margem do lado direito, inundando a via e os edifícios da Pedreira adjacentes.



Figura 41 - Inundação na Fundoa de cima junto à Pedreira [Fonte: Jorge Freitas – Secretaria do Equipamento Social]

A jusante da secção de transbordo anterior, secção SL_24, *secção de transbordo III*, devido a uma mudança de direcção do curso de água, a intensidade do escoamento

provocou o transbordo, alagando a via e outras áreas adjacentes percorrendo ainda vários metros para jusante, como é possível observar na Figura 41.

Outro dos locais onde houve inundação, foi na Estrada Comandante Camacho de Freitas e no edifício da Socipamo (Ver Figura 42). A excessiva quantidade de água precipitada nesse dia escoou pela encosta e inundou o edifício e o parque de camiões situado no lado esquerdo do edifício, alagando igualmente a estrada que passa na frente destes.



Figura 42 - Inundação do Edifício da Socipamo [Fonte: Desconhecido]

Na zona do Til, na Ponte da Cama Azeda, houve transbordo nesta secção (esta secção não foi definida, apenas há conhecimento dos estragos causados na mesma) inundando parte do Jardim de Santa Luzia, não sendo possível quantificar por não haver registos fotográficos da área.

Desde a rotunda da Fundoa até à Avenida do Mar, a água proveniente da ribeira e das chuvas escoava pela estrada.

Na baixa do Funchal, depois da ponte do Bettencourt, na secção SL_6 (Ver Figura 43), a ribeira transbordou o muro da margem direita do canal inundando toda a Rua dos Tanoeiros, Rua 5 de Outubro, a Rua da Alfandega e ainda as Ruas da Praça do Colombo, o Parque de estacionamento da Praça do Colombo e o Largo dos Varadouros.



Figura 43 - Transbordo da secção junto à Rua 5 de Outubro e inundação da rua do Esmeraldo e do Largo dos Varadouros [Fonte: Desconhecido]

A água transbordou na secção SL_5 da ribeira (Ver Figura 44) e este escoamento juntou-se ao anterior transbordo, causando um aumento do caudal fora desta.



Figura 44 - Secção de transbordo SL_5 [Fonte: Paulo J. T. Coelho]

Na Ponte do Cidrão, secção SL_3, a enxurrada ao danificar uma parte da ponte fez com que a água transbordasse nessa zona.



Figura 45 - Transvasamento na Ponte do Cidrão [Fonte: Paulo J. T. Coelho]

Já na parte final do canal junto à Avenida do Mar, secção SL_2, houve novo transbordo da ribeira, sendo este provocado por “ondas de enxurrada”.



Figura 46 - Secção junto à Avenida do Mar [Fonte: Paulo J. T. Coelho]

A Tabela 16 abaixo resume as secções onde ocorreram transbordo de água, as suas características, as causas do transbordo e a altura de água na secção.

Tabela 16 - Secções de transbordo e suas características

Secções de transbordo	Ponto Inicial - Distância à foz [m]	Extensão [m]	Características da secção	Motivo	Altura de água [m]
I - Acima dos Tornos	6307,2	68,2	Curva, com estreitamento do canal	Assoreamento da secção e desabamento da margem da ribeira	
II - Pedreira	5616,5	316,5	Curva	Desabamento da margem da ribeira e caudal de escoamento superior à capacidade do canal	
III - Ponte	5299,5	1096,8	Curva	Caudal de escoamento superior à capacidade do canal	
IV - Ponte Fundoa	4059,4	269,3	Curva, ponte	Caudal de escoamento superior à capacidade do canal	
V - Rua 5 de Outubro	291,4	231,6	Curva	Assoreamento total da ribeira e caudal de escoamento superior à capacidade do canal	0,35
VI - Ponte demolida	204	172,5	Ponte	Assoreamento total da ribeira e caudal de escoamento superior à capacidade do canal	0,4
VII - Ponte do Cidrão	128	86,2	Ponte	Assoreamento total da ribeira e caudal de escoamento superior à capacidade do canal	0,35
VIII - Ponte junto à Avenida do mar	62	17	Ponte	Assoreamento total da ribeira e caudal de escoamento superior à capacidade do canal	0,3

Além das secções de transbordo foram calculadas as áreas de inundação das ruas, dos edifícios e outros locais onde também ocorreu inundação. O valor total de área de inundação das ruas é de 56 392 m², dos edifícios é de 47 889 m² e terrenos é de 10 888 m², o que dá um valor total de inundação de 115 169 m².

As áreas de inundação são visíveis nas figuras seguintes, onde temos o mapa da distribuição total de inundação da bacia hidrográfica da Ribeira de Santa Luzia (Ver Figura 47) e os restantes mapas correspondem às inundações por zonas (Ver Figura 48).



Figura 47 - Mapa com área inundada na bacia hidrográfica de Santa Luzia Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]



Figura 48 – Mapas de áreas de inundação na Fundoa e na baixa do Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]

Como   perceptível nas figuras, na área da Fundoa a ribeira transbordou em vários pontos inundando uma grande  rea. No Funchal apenas na baixa as inunda es tiveram impacto.

4.5.2. Localiza o das zonas de depósito material

A deposi o de material sólido ocorreu na sua maioria no leito da ribeira, com maior concentra o na zona baixa do Funchal e a montante na zona da Fundoa de Cima.



Figura 49 - Deposição de material sólido na Fundoa a montante da ribeira [Fonte: Ana Spínola 28/06/10]

Na área da Fundoa houve grande deposição de material acima dos Tornos diminuindo gradualmente o volume deste para jusante, sendo a sua altura máxima de 4,8m e a mínima de 0,3m. No encontro do afluente da Fundoa, que passa pela Estrada Comandante de Freitas, agora canalizado, o arrastamento de grandes quantidades de material a montante provocaram desabamentos e desprendimentos de solos das margens depositando-se por sua vez no leito principal da ribeira, como se pode verificar pelas figuras.



Figura 50 - Deposição de material na Estrada Comandante Camacho de Freitas [Fonte: Desconhecido]

Na baixa do Funchal, a deposição de material sólido no leito deu-se quase por completo a partir da Ponte Nau Sem Rumo até à foz. O volume total de material sólido depositado no leito da ribeira em toda a extensão estudada foi de 221.859,22 m³.



Figura 51 - Material depositado na zona baixa do Funchal, Ponte do Bettencourt [Fonte: Jorge Freitas – Secretaria Regional do Equipamento Social]

O assoreamento fora do canal ocorreu principalmente na Fundoa junto aos edifícios da CMF, no estaleiro, no parque de autocarros e na estrada da Fundoa de Cima e ainda na baixa do Funchal principalmente na Rua dos Tanoeiros, Rua da Alfandega e Rua 5 de Outubro com uma altura média de 1,20m, o volume total depositado nas ruas foi de 11.101,03 m³. As figuras representam o volume de material depositado na zona a montante da ribeira.



Figura 52 - Deposição de material nas ruas na Fundoa [Fonte: Jorge Freitas – Secretaria Regional do Equipamento social]

As figuras seguintes representam a deposição de material sólido na baixa do Funchal.



Figura 53 - Material depositado nas ruas circundantes à Ribeira de Santa Luzia [Fonte: Desconhecido]

Os valores de altura média e granulometria da deposição de material sólido encontram-se resumidos na Tabela 17, definidos por locais.

Tabela 17 - Estimativa da granulometria predominante da deposição no leito da ribeira e nas ruas circundantes

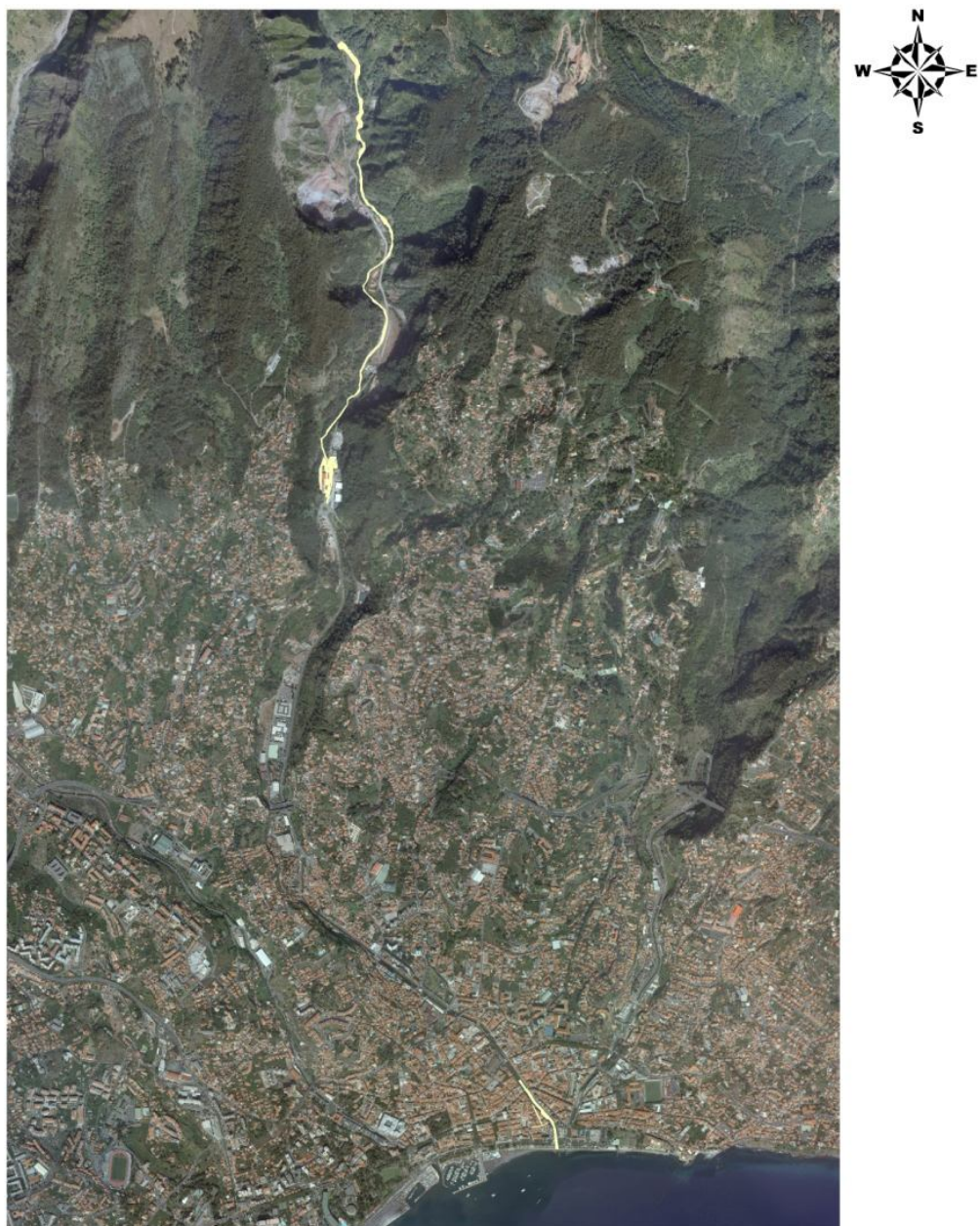
Localização	Altura média [m]	Granulometria
Zona 8 - Rua dos Tanoeiros	0,9	A granulometria predominante é a areia com cerca de 65% do volume total depositado nesta zona, o seguinte é o areão com 20%, o seixo com 10% e por fim o calhau com 5%.
Zona 9 - Rua da Alfândega	1,6	A granulometria predominante é a areia com cerca de 65% do volume total depositado nesta zona, o seguinte é o areão com 20%, o seixo com 10% e por fim o calhau com 5%.
Zona 10 - Rua 5 de Outubro	0,4	A granulometria predominante é a areia com cerca de 60% do volume total depositado nesta zona, o seguinte é o areão com 30%, o seixo com 5% e por fim o calhau com 5%.
Zona 11 - Instalações da CMF - Fundoa	2	A granulometria predominante são os balastros de bloco com cerca de 70%, de seguida 20% de calhau e 10% de seixo.
Zona 12 - Estrada - Fundoa	1	A granulometria predominante são blocos com cerca de 80% do volume total depositado nesta

Localização	Altura média [m]	Granulometria
		zona, o seguinte é o calhau com 10% e o seixo também com 10%.
Zona 13 - Estaleiro - Fundoa	1,5	A granulometria predominante é o bloco com cerca de 90% do volume total depositado nesta zona, o seguinte é o calhau e o seixo com 10%.
Leito da Ribeira - Zona a montante	3,0	Predominam os blocos, contendo calhau e seixo com alguma quantidade de areia.
Leito da Ribeira - Zona central	2,45	Nesta zona predominam os calhaus, contudo não houve deposição de muito material sólido nesta zona.
Leito da Ribeira - Baixa do Funchal	5,21	A granulometria predominante é o areão com cerca de 50% do volume total depositado neste troço, o seguinte é o seixo com 30%, o calhau com 15% e por fim os blocos com 5%.

Para a classificação granulométrica foi tido em conta as rochas sedimentares de origem detrítica, mais propriamente os balastros por terem sido os mais encontrados nas zonas de deposição. Os balastros podem ainda subdividirem-se em quatro, das quais: areão, seixo, calhau e blocos, diferenciando-se pelas suas dimensões.

Nota-se que o material de maiores dimensões depositou-se a montante do canal principal e arredores, diminuindo de dimensão para jusante, não havendo deposição significativa de material na zona intermédia do curso. Isto deve-se ao facto de na zona dos Tornos o estrangulamento que a ponte existente provoca na secção SL_28, fez com que o material fosse depositando antes desta secção e criasse uma barreira à passagem do material de maiores dimensões existentes nas zonas de cabeceira. Assim, com a ajuda da água, o material de menores dimensões ia transpondo essa barreira, tal como o material que era transportado pelos afluentes mais a jusante, depositando-se por fim na foz da ribeira.

Nas figuras seguintes estão representados os mapas com as áreas de depósito de material em toda a bacia e com mais pormenor nas zonas a montante e a jusante na baixa do Funchal.



Legenda

 Detritos

0 0,3 0,6 1,2
Km

Figura 54 - Mapa da área de depósito de material na bacia da ribeira de Santa Luzia Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]

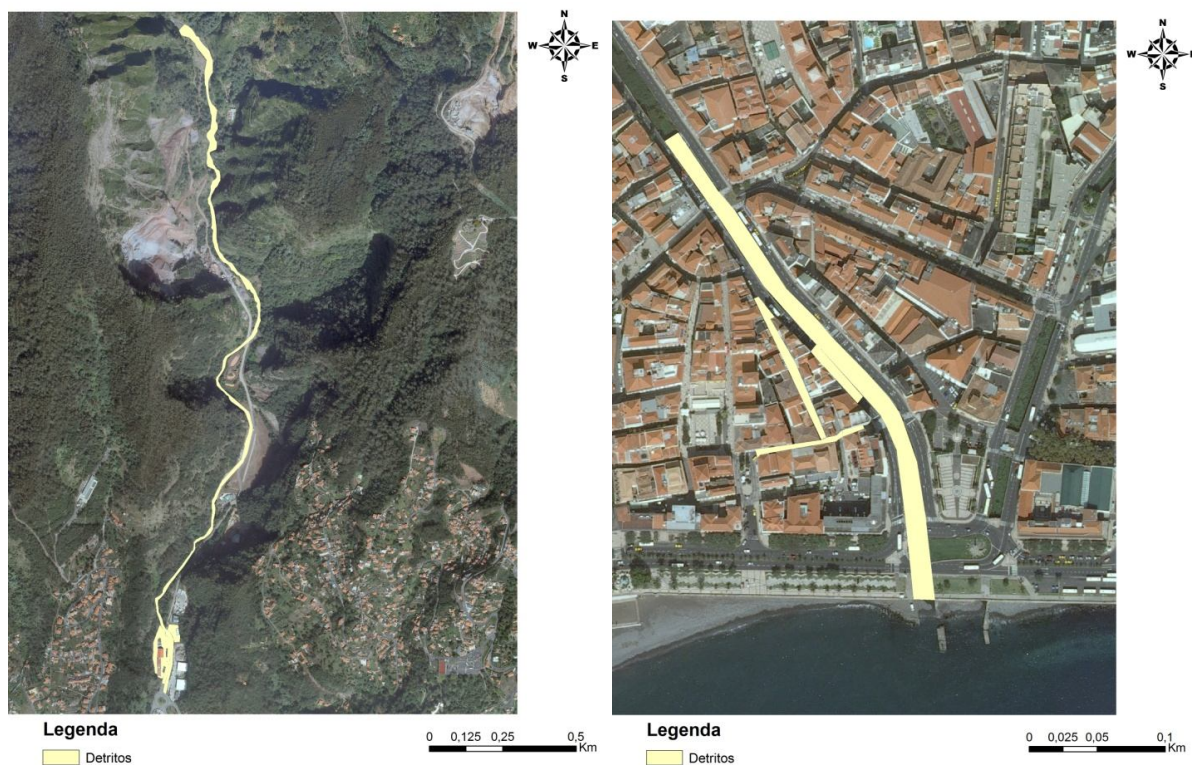


Figura 55 - Mapas de áreas de depósito de material na bacia hidrográfica de Santa Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]

4.5.3. Localização das áreas com danos em infra-estruturas

Após a intempérie ocorrida na ilha da Madeira, foram visíveis os danos provocados por esta. O arrastamento de muito material sólido e de grandes quantidades de água originaram inundações e deposição de material nas áreas de menor altitude da ilha, causando muitos danos nas infra-estruturas circundantes. Nas zonas altas, os danos ocorreram devido ao desprendimento de solo saturado devastando tudo no seu percurso.

O primeiro caso ocorreu na Fundoa onde a ribeira transbordou a estrada percorrendo-a em todo a sua extensão e danificando a mesma, ocorrendo desabamentos desta em certos pontos como é visível na Figura 56.



Figura 56 - Danos provocados pelo temporal na Estrada da Fundoa [Fonte: Jorge Freitas – Secretaria Regional do Equipamento Social]

Junto com a água enlameada, balastros de blocos e calhau eram arrastados provocando estragos ao longo da estrada até aos edifícios mais a jusante. Acima da secção SL_20, passa uma ponte que faz a comunicação de uma margem da ribeira para a outra. Neste local, devido à reduzida altura da ponte e à grande quantidade de material sólido transportado pela ribeira, o material foi-se depositando, acabando por obstruir por completo esta secção. Assim a ribeira transpôs a ponte, invadindo os edifícios que ali se encontram e a estrada. A ponte acabou por ficar destruída e a passagem para a Estrada da Fundoa de Cima interrompida. A Figura 57 traduz bem o que se passou naquele local.



Figura 57 - Ponte destruída na Fundoa [Fonte: Jorge Freitas – Secretaria Regional do Equipamento Social]

Um pouco mais a jusante na Estrada Comandante Camacho de Freitas a grande quantidade de água e detritos obstruíram a estrada e originaram desabamentos de grandes porções de terra, causando assim a destruição de parte da estrutura do edifício da Socipamo e dos muros do afluente que passa ao lado deste edifício, visíveis na figura seguinte.



Figura 58 - Estragos no edifício da Socipamo e no afluente [Fonte: Desconhecido]

Na Rua 31 de Janeiro entre a Ponte de Pau e a Ponte do Til, a muralha da margem direita da ribeira ficou destruída em 3 locais, e ainda a estrada dessa mesma margem abateu em dois pontos diferentes. Nesta rua duas das habitações contíguas que se encontravam

em frente aos dois pontos onde a estrada abateu, sofreram danos visíveis das fachadas desconhecendo-se, no entanto, se houve estragos no interior das habitações.



Figura 59 - Rua 31 de Janeiro estragos visíveis após o temporal [Fonte: Jorge Freitas – Secretaria Regional do Equipamento Social]

Outra infra-estrutura que sofreu danos foi uma pequena ponte na Travessa da Cama Azeda, onde a deposição de material bloqueou a passagem de água naquela zona causando a destruição da ponte.

Na baixa do Funchal, duas das pontes que atravessam a ribeira sofreram estragos. A ponte da secção SL_5, foi demolida por estrangular o escoamento e a Ponte do Cidrão ficou parcialmente destruída. O pavimento e a varanda desta foram destruídos devido ao choque provocado pelas “ondas de enxurrada”.



Figura 60 - Os danos nas pontes abaixo da Ponte do Bettencourt e na ponte do Cidrão respectivamente [Fonte: Desconhecido]

Em toda a bacia registaram-se danos, tanto nas áreas circundantes à ribeira, como as de maior altitude, onde os danos provocados foram essencialmente devido ao desabamento e deslizamento de solos ou por transbordo de afluentes da ribeira. Na Figura 54 e Figura 55 apresentam-se os mapas com a localização dos danos na bacia da ribeira de Santa Luzia, dados fornecidos através do Instituto da Habitação, a Câmara Municipal do Funchal e da ACIF.

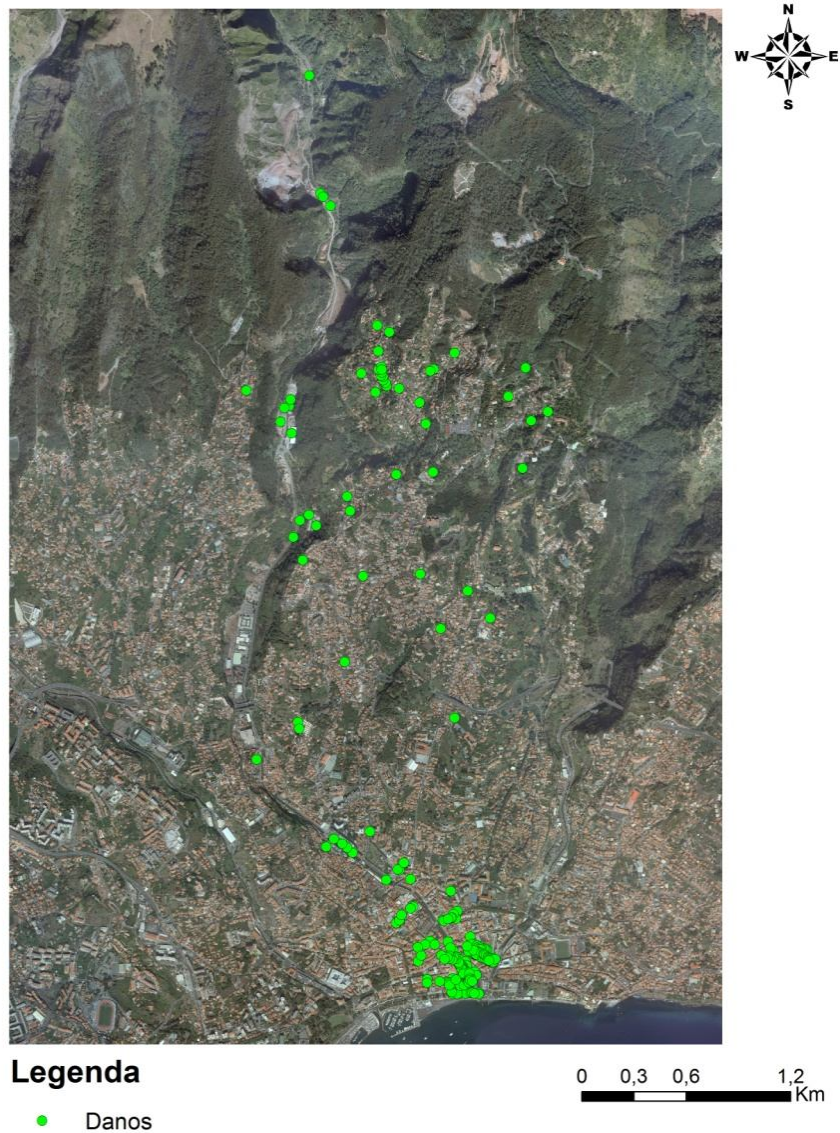


Figura 61 - Mapa das zonas danificadas na bacia da ribeira de Santa Luzia Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]

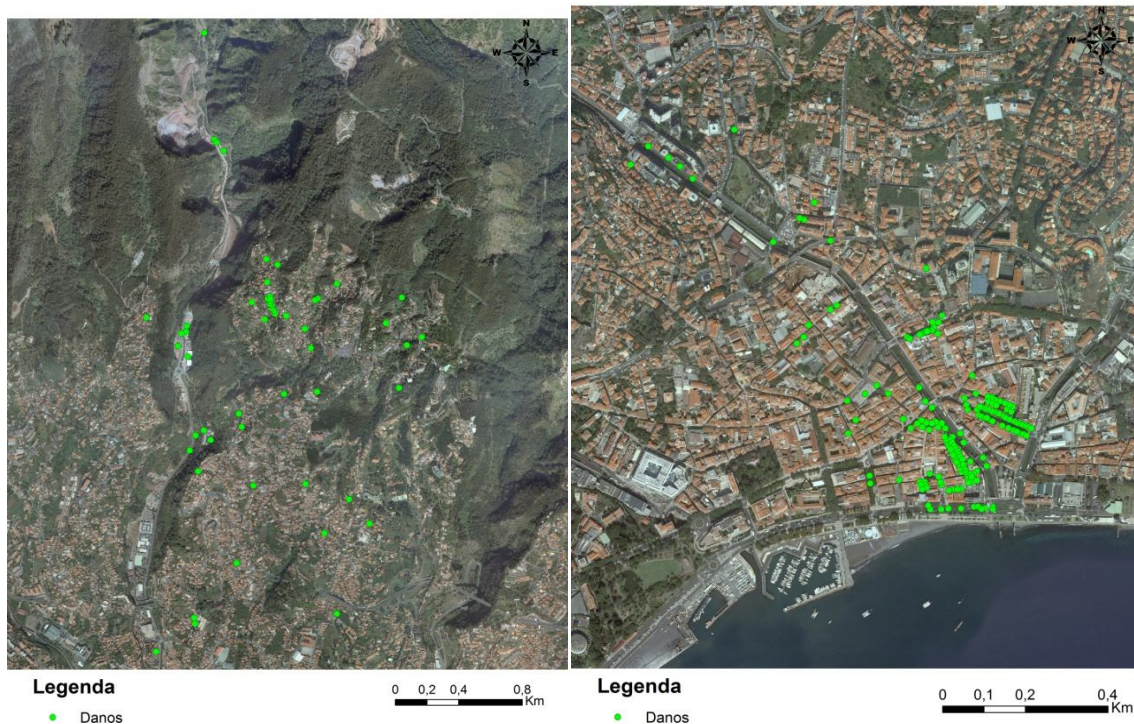


Figura 62 - Mapas das zonas danificadas a montante e a jusante respectivamente Funchal [Fonte: ortofotomapas da DRIGOT]

Como se pode observar pelos mapas as áreas mais afectadas foram na cabeceira e na foz da ribeira, respectivamente Fundoa e Funchal. A montante as zonas mais prejudicadas foram as freguesias do Monte, Imaculado Coração de Maria e São Roque com danos mais avultados no Monte e São Roque. Segundo os dados fornecidos pelas instituições acima mencionadas, ficaram lesadas infra-estruturas no Caminho da Corujeira, Caminho dos Marcos, Caminho dos Tornos, Caminho da Levada dos Tornos, Caminho do Pico, Estrada do Livramento, Jardim do Monte, Lajinhas, Torrinha, Ponte do Pisão, Ribeiro da Cal, Largo da Fonte e Caminho do Saltos.

Para jusante verificaram-se mais danos na freguesia da Sé, Santa Luzia e São Pedro. As infra-estruturas mais afectadas localizaram-se na Avenida do Mar, Largo dos Varadouros, Largo do Phelps, Rua 31 de Janeiro, Rua 5 de Outubro, Rua Câmara Pestana, Rua da Alfandega, Rua da Praia, Rua das Murças, Rua do Bom Jesus, Rua Direita, Rua do Carmo, Rua do Sabão, Rua do Seminário, Rua dos Ferreiros, rua dos Netos, Rua dos Tanoeiros e Rua Dr. Fernão de Ornelas.

Estes danos ocorreram essencialmente em estradas, em algumas habitações nas áreas a montante e em lojas comerciais, na baixa do Funchal.

CONCLUSÕES

A Ilha da Madeira é propícia ao acontecimento das aluviões, pois apresentam em conjunto diversos factores que originam estas condições. O estudo destes factores foi essencial, antes da realização da caracterização em estudo. Para permitir o enquadramento das características que influenciam o fenómeno. Estes factores são o clima, precipitação, orografia, vegetação, acção do Homem entre outras.

Da análise morfométrica da bacia, os valores obtidos resultam numa bacia com forma alongada, bem drenada e com capacidade de gerar cerca de 4 cursos de água num quilómetro quadrado. O índice de rugosidade obtido de 5198,7 é um valor elevado e que representa que esta bacia é propícia à ocorrência de cheias rápidas. De referir ainda que os valores de tempo de concentração e tempo de resposta são reduzidos. O tempo de concentração é de cerca de 3h, ou seja, o tempo em que a água precipitada demora a atingir a desembocadura a partir do ponto mais afastado. Em relação ao tempo de resposta, o valor resultante foi de cerca de 2h, significando que em apenas 2 horas a bacia atinge a ponta de cheia. Em casos extremos como o que ocorreu no dia 20, em que os solos encontram-se muito saturados e sem capacidade de permitir a infiltração da chuva caída nesse dia, é que se verificou o aumento da quantidade de escoamento superficial.

Após a caracterização realizada ao evento do dia 20/10/10, é possível perceber a dimensão do mesmo. Estimando caudais e velocidades, no período de ponta de cheia, de aproximadamente $420 \text{ m}^3/\text{s}$ e uma velocidade de 70 km/h ocorrido por volta das 11 h da manhã. O valor mais baixo de caudal apresenta-se na secção SL_1, por volta das 14h, valor este de $8,4 \text{ m}^3/\text{s}$ e uma velocidade de $11,2 \text{ km/h}$ é notável a enorme diferença entre estes valores. No entanto, fez-se uma comparação para a secção SL_14, secção com valor mais elevado de caudal. Supôs-se que num dia normal a altura de água visível na ribeira era de 30 cm, assim obtiveram-se valores de $28,6 \text{ m}^3/\text{s}$ e $24,2 \text{ km/h}$. Comparando estes resultados com os da mesma secção no dia 20 de Fevereiro, nota-se que a diferença de escoamento é muito grande.

No cálculo do volume de sólidos depositados verificou-se que cerca de 95% deste volume ficou no leito da ribeira e o restante depositou-se nas ruas e edifícios. Para o leito estimou-se um volume de 221 859,2 m³ e um volume total de 232 960,2 m³. A distribuição espacial desta deposição de material sólido permite-nos verificar quais as zonas mais críticas. Foram nas zonas de 11 a 25 onde foram registados maior quantidade de material sólido, com um volume de cerca de 204 905,2 m³. A deposição de material registou-se essencialmente na Fundoa e na baixa do Funchal. Em relação às inundações verifica-se que ocorreram sobretudo nas imediações da ribeira na Fundoa e Funchal, e no Monte. Os danos ocorreram devido às inundações e deposição de material, no Funchal várias lojas ficaram danificadas e na Fundoa alguns edifícios ficaram igualmente danificados. No Monte, os danos foram provocados essencialmente pelas inundações e derrocadas, consequência da saturação dos solos.

É importante, além de estudar a dinâmica do fenómeno, estudar as melhores soluções para prevenir danos e vítimas. Apesar da dificuldade de prever uma aluvião, existem medidas que podem reduzir o impacto que este tem. Deste modo, faz-se aqui a sugestão de algumas medidas preventivas.

- A limpeza periódica dos leitos das ribeiras e seus afluentes canalizados e ainda do sistema de águas pluviais. Verifica-se que grande parte das inundações ocorre por não haver um bom funcionamento no escoamento destes sistemas, seja má construção, mau dimensionamento ou por falta de manutenção preventiva.
- A reflorestação das zonas altas das bacias permite proteger os solos da erosão e reter mais a água precipitada. Esta reflorestação deveria consistir na substituição da actual vegetação de acácias e eucaliptos pela vegetação endémica da floresta Laurissilva, adequada à sua altitude e ao seu bioclima. Neste contexto era igualmente importante promover a reconstrução dos socacos para uso agrícola, pois estes evitam a erosão dos terrenos.
- Executar nas áreas a montante várias bacias de retenção de material sólido a diferentes cotas, de maneira a que este material fique retido e apenas os finos e a água passem, evitando assim a deposição de grandes quantidades de material a jusante e que consequentemente provocam destruição e inundações. Não

esquecendo a limpeza periódica das bacias, afim de não bloquear a passagem de água e de finos.

- Uma outra medida seria a execução de redes de retenção de material nas vertentes mais instáveis propícios a escorregamentos, nas margens das ribeiras, evitando o aumento drástico do volume de água em ocasiões semelhantes ao ocorrido e a deposição de material a jusante. Seria necessário executar periodicamente limpezas destas redes para não haver sobrecarga nestas.
- É de extrema importância impedir a construção de infra-estruturas nas margens das ribeiras, principalmente nas áreas a montante, pois em picos de cheia normalmente estas encontram-se no leito de cheia. Deste modo é preciso identificar as zonas de cheia e actualizar o Plano Director Municipal e desimpedir a médio prazo as zonas de risco que já estão ocupadas.
- Nas zonas altas das bacias identificar áreas de terrenos instáveis, de forma a prever e executar medidas para a sua estabilização.
- A execução de uma Carta de riscos de cheias é indispensável tendo em conta as zonas e a sua morfologia, assim como um plano de emergência em caso de cheias para ser possível lidar da melhor forma com uma situação de aluvião.
- Como foi observado no dia 20 de Fevereiro deste ano, após o pico de cheia a população começou-se a dirigir aos locais danificados a fim de ver de perto o acontecimento. Por esta razão é necessário sensibilizar e educar a população para a ocorrência de cheias, o que devem fazer, o que não devem fazer, como devem fazer, etc.
- Por último, monitorização da precipitação nas cabeceiras das ribeiras para obtenção de dados imediatos na eventualidade de ser necessário preparar a população para uma possível cheia.

Estas são algumas ideias das medidas que se poderia adoptar para melhor prevenir e corrigir, no caso de uma aluvião.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Almeida, B., Costa, J., ..., Conceição, J. (2002). *Plano Regional Da Água Da Madeira - Tomo I*. Madeira.
- [2] Almeida, B., Costa, J., ..., Conceição, J. (2002). *Plano Regional Da Água Da Madeira - Tomo III*. Madeira.
- [3] Anónimo. (1992). *Carta dos Solos da Ilha da Madeira*. Secretaria Regional de Economia. Lisboa
- [4] Brum Da Silveira, A.; Madeira, J., Ramalho, R.; Fonseca, P.; Prada, S. & Rodrigues, C. F. (2008). *A New Geological Map Island, Portugal*. Abstracts of the 2008 IAVCEI General Assembly, Reykjavik, in CD – Rom (Monday, Aug. 18th, oral presentations):80.
- [5] Capelo, J., Costa, J. C., Lousã, M., Fontinha, S., Jardim, R., Sequeira, M. & Rivas-Martínez, S. (1999). *Vegetação da Madeira (Portugal): I – Aproximação à Tipologia Fitossociológica*. Silva Lusitana 7.
- [6] Costa, T., Lança, R. (2001). *Hidrologia de Superfície*. Escola Superior de Tecnologia do Algarve. Faro.
- [7] Duarte, A., Borges, B., Ramos, C., Pedro, P., Pancada, R. *Cheias Rápidas em Áreas Urbanas e sua Percepção: O Caso da Bacia da R^a de Odivelas*. Lisboa.
- [8] Duarte, S. (2002). *Perímetros De Protecção Dos Furos De Captação De Água. Captações Das Ribeiras De Machico, Santa Cruz, De Boaventura, Do Porto Novo, Do Caniço, Do Vigário, De João Gomes, De Santa Luzia, De São João E Do Planalto Do Santo Da Serra*. Investimento E Gestão Da Água. Região Autónoma Da Madeira.

- [9] Lencastre, A., Franco, F.M. (2006). *Lições De Hidrologia*. Fundação FCT. Lisboa.
- [10] Lopes, S. (2003). *O Risco De "Aluvião" Nas Bacias Hidrográficas Concelho Do Funchal – Contributo para o Ordenamento do Território*. Lisboa.
- [11] Loureiro, J. (1982). *Monografia hidrológica da ilha da Madeira*. Seminário sobre a Caracterização e Gestão de Recursos Hídricos em Ilhas Vulcânicas. Funchal.
- [12] Machado, M. S. (1984). *O Clima De Portugal. Fascículo XXXIII. Balanço Hídrico E Clima Do Arquipélago Da Madeira*. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), Lisboa.
- [13] Maciel, O. (2000). *As Aluviões Na Ilha Da Madeira, Uma Manifestação De Risco Climático (Meteorológico) E Hidrológico*. Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra.
- [14] Marzol, M., Yanes, A., Romero, C., Azevedo, E., Prada, S., Martins, A. *Los Riesgos De Las Lluvias Torrenciales En Las Islas De La Macaronesia (Azores, Madeira, Canarias Y Cabo Verde)*. Universidad de La Laguna, Universidad de Azores, Universidad de Madeira, Instituto Nacional de Meteorologia de Cabo Verde.
- [15] Marzol, M^a V.; Yanes, A.; Romero, C.; Brito de Azevedo, E.; Prada, S.; Martins, A. (2006). *Caractéristiques des Précipitations dans les îles de la Macaronesia (Açores, Madère, Canaries et Cap Vert). Les Risques Liés au Temps et au climat*. XIX Colloque de l'Association International de Climatologie (AIC), Épernay: 415-420.
- [16] Neves, H., Valente, A., Faria, B., Silva, I., Marques, J., Gouveia, N., Silva, P., Oliveira, P. (1997). *Laurissilva da Madeira*. Lisboa.
- [17] Oliveira, R. (2009). *Apontamentos da Cadeira de Hidrologia e Recursos Hídricos*. Instituto Superior Técnico.

- [18] Prada, S. (2000). *Geologia E Recursos Hídricos Subterrâneos Da Ilha Da Madeira*. Dissertação apresentada à Universidade da Madeira para obtenção do grau de Doutor em Geologia. Funchal.
- [19] Prada, S., Gaspar, M.A., Sequeira, M., Nunes, A., Figueira, C., Cruz, J.V. (2005). *Disponibilidades Hídricas Subterrâneas e Riscos de Contaminação na Ilha da Madeira*. In: *AQUAMAC: Técnicas e métodos para a gestão sustentável da água na Macaronésia*. Edição do Instituto Tecnológico de Canárias, S. A., Cabildo de Lanzarote, Consejo Insular de Aguas de Lanzarote.
- [20] Prada, S., Gaspar, M.A., Silva, M.O., Cruz, J.V., Portela, M.M., Hora G.R. (2003). *Recursos Hídricos Da Ilha Da Madeira*. Madeira.
- [21] Prada, S., Perestrelo, A., Sequeira, M., Nunes, A., Figueira, C., Cruz, J. V. *Disponibilidades Hídricas da Ilha da Madeira*. Madeira.
- [22] Prada, S., Rodrigues, C., Fonseca, P., Madeira, J., Serralheiro, A. (2002). Relation between volcanostratigraphic units and slope stability in Madeira Island: preliminary studies. In: Dinis da Gama, C., Ribeiro e Sousa, L. (Eds): *EUROCK2002 - ISRM International Symposium on Rock Engineering for Mountainous Regions. Publicações da Sociedade Portuguesa de Geotecnia, 2002: 205-212*.
- [23] Quintal, R. (1999). *Aluviões Da Madeira Desde O Século XIX*. *Territorium 6, MINERVA*, pp 1 – 22.
- [24] Quintela, A. (1996). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- [25] RIBEIRO, L.P.; ECH-CHAKROUNI, S.; MATA, J.; BOVEN, A.; MATTIELLI, N.; HUS, J. & MAERSCHALK, C. (2005). *Elemental and lead isotopic evidence for coeval heterogeneities at Madeira/Desertas mantle source*. *Actas do VIII Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa (Aveiro)*, 485-487.

[26] Sobrinho, T., Oliveira, P., Rodrigues, D., Ayres, Fabio. (2010). *Delimitação Automática De Bacias Hidrográficas Utilizando Dados STRM*. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande. Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ELECTRÓNICAS

[1] Agência Portuguesa dos Ambiente. Acedido em 7 de Junho, em: <http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp?zona=madeira&grupo=madeira.m0&tema=madeira.m0>.

[2] Alfredo A. Guimarães. *Gestão dos Recursos Hídricos – Utilizando o ArcMap para a delimitação de bacias hidrográficas e extracção de redes de drenagem*. Acedido em 3 de Agosto de 2010, em: <http://blog.geoprocessamento.net/2010/07/delimitacao-de-bacias-hidrograficas-e-a-extracao-de-redes-de-drenagem/>.

[3] *Aluviões*. Acedido em 2 de Setembro de 2010, em: <http://www.ceha-madeira.net/elucidario/a/alu.html>.

[4] Câmara Municipal do Funchal. (2004). *Mapas de Informação Geográfica*. Acedido em 14 de Junho de 2010, em: [http://geo.cmfunchal.pt/munisigweb/\(S\(n5cyvc55rv25njq0kgxahvfk\)\)/MapView/SectionsViewer.aspx?id=138](http://geo.cmfunchal.pt/munisigweb/(S(n5cyvc55rv25njq0kgxahvfk))/MapView/SectionsViewer.aspx?id=138).

[5] *Hidráulica dos escoamentos em canais de leito fixo*. Acedido em 7 de Junho de 2010, em: http://www1.ci.uc.pt/mhidro/edicoes_antigas/PFC_acetatos_03.pdf.

[6] *Hydrological Analysis with ArcGIS*. Acedido em 3 de Agosto de 2010, em: http://gif.berkeley.edu/CE/Summer2007/GISanalysisExercise_August22_UCCE_Hydro.pdf.

- [7] Instituto de Meteorologia, IP Portugal. (2010). *Fevereiro muito chuvoso em Portugal*. Acedido em 15 de Setembro de 2010, em: http://www.meteo.pt/pt/media/noticias/newsdetail.html?f=/pt/media/noticias/arquivo/2010/Rel_Clima_FEV_2010.html.
- [8] Instituto Politécnico de Beja. *Geomorfologia*. Acedido em 25 de Setembro de 2010, em: <http://www.estig.ipbeja.pt/~smms/Hidrologia.pdf>.
- [9] Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais. (1995). *Recursos Hídricos Subterrâneos da Região Autónoma da Madeira*. Acedido em 25 de Setembro de 2010, em: <http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp?zona=madeira&grupo=madeira.m0&tema=madeira.m0>.
- [10] Secretaria Regional do Turismo e Transporte. (2010). *Comunicado Oficial do Governo Regional da Madeira*. Acedido em 6 de Setembro de 2010, em: http://www.madeiraislands.travel/pls/madeira/wsmwdet0.detalhe_conteudo?p_cot_id=4772&p_lingua=pt&p_sub=1.

Anexos

Anexos I

Ficha de caracterização de uma secção transversal de
um curso de água

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica:

Designação:

Curso de água: Distância à foz (m):

Coordenada militar do ponto médio:

Descrição sumária:

Um parágrafo sucinto descrevendo secção transversal, nomeadamente a razão para a sua selecção.

Geometria

Croquis da secção transversal com indicação das suas principais dimensões; apresentar vários croquis caso a secção transversal se tenha alterado durante o evento de 20/2/2010, devido, por exemplo, à deposição de material sólido.

Indicação do declive do leito da ribeira nesta secção, calculado a partir do modelo digital de terreno.

Indicação do material e da vegetação do leito e das margens da ribeira, e.g. leito da ribeira com calhau rolado, parâmetros laterais em pedra aparelhada, estrada alcatroada, matos nas margens, etc..

Elementos relevantes nas redondezas:

Lista de elementos relevantes nas redondezas, se aplicável.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Se possível, listar com indicação da hora aproximada os principais acontecimentos durante o dia 20/2/2010, e.g. 8:45 – início do aumento da altura de água; 9:30 – transbordamento da ribeira; 11:50 – colapso da ponte; 12:30 – transporte sólido de

grandes dimensões; 13:00 – deposição de material sólido na margem esquerda; 14:30 – início da redução do caudal;

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante 20 de Fevereiro de 2010:

Para as secções com mais dados, indicar valores de:

- *Cota máxima atingida pela superfície livre (com indicação da hora se possível);*
- *Estimativa da velocidade de escoamento recolhida a partir de testemunhos ou por meio da visualização de vídeos;*
- *Cotas dos depósitos de material sólido (com indicação da hora se possível);*
- *Estimativas da área da secção vazão em várias fases do evento de 20/2/2010;*
- *Estimativa do caudal líquido com base na equação de Manning-Strickler*

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Se aplicável referir informações existentes sobre outros eventos meteorológicos extremos.

Anexos I - A

Fichas de Campo - Ficha de caracterização de uma
secção transversal de um curso de água

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_1_Foz

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 0m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 21275 13750

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular. A secção foi escolhida por ser uma das secções que ficou completamente preenchida de material sólido devido à enxurrada.

Geometria:

Croquis:
secção transversal

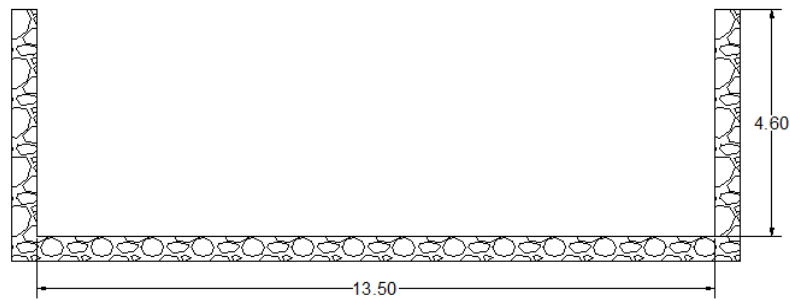


Figura I. 1 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20

**Croquis:
secção transversal**

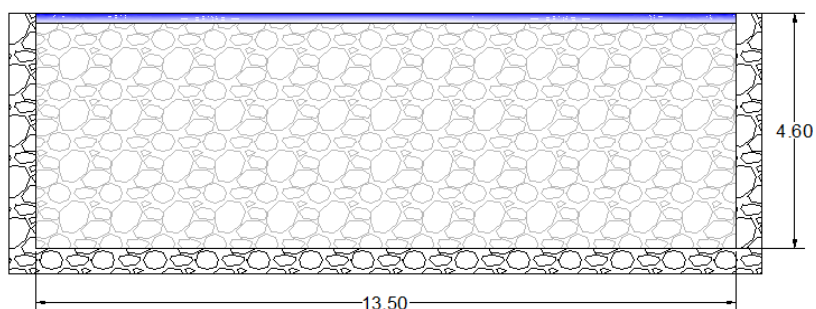


Figura I. 2 – Croquis da secção transversal durante o evento.

Secção com parâmetros laterais em pedra aparelhada e apresenta calhau rolado no leito da ribeira. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 3,2°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Não apresenta elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Não há dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cota máxima atingida pela superfície livre foi de 4,6m;
- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 4,4m;
- Estimativa da área da secção vazão foi de 2,7m²;
- Estimativa do caudal líquido com base na equação de Manning-Strickler foi de 8,40m³/s.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação relevante.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_2_Avenida do Mar

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 62m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 21275 13775

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular. A secção foi escolhida por ser uma das secções que ficou completamente preenchida de material sólido devido à enxurrada e porque houve transbordo do leito nesta secção.

Geometria:

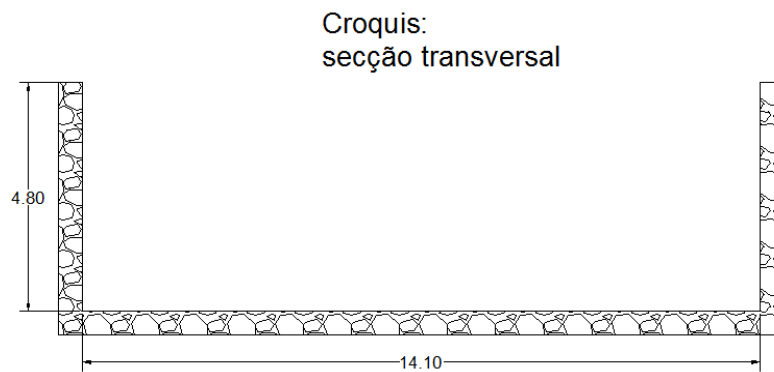


Figura I. 3 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Croquis:
secção transversal

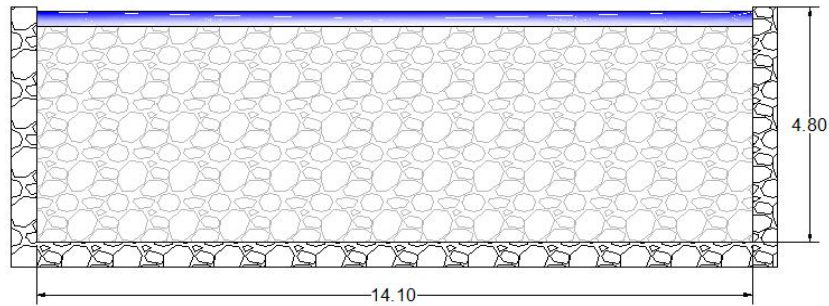


Figura I. 4 - Croquis da secção transversal durante o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais em pedra aparelhada, estradas alcatroadas nas suas laterais e o leito da ribeira com calhau rolado. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 3,04°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Não apresenta elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

14:23 – transbordo do leito devido a várias ondas de enxurrada;

14:27 – secção com caudal máximo;

15:13 – transbordo do leito devido a várias ondas de enxurrada.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cota máxima atingida pela superfície livre foi de 4,7m às 14:27h;
- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 4,4m;
- Estimativas da área da secção vazão foi de 4,23m²;
- Estimativa do caudal líquido com base na equação de Manning-Strickler foi de 16,8m³/s.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação relevante.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_3_Ponte do Cidrão

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 128m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 21275 13850

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular fechada. A secção foi escolhida por ser uma das secções que ficou completamente preenchida de material sólido devido à enxurrada e porque houve transbordo do leito nesta secção e destruição parcial da mesma.

Geometria:

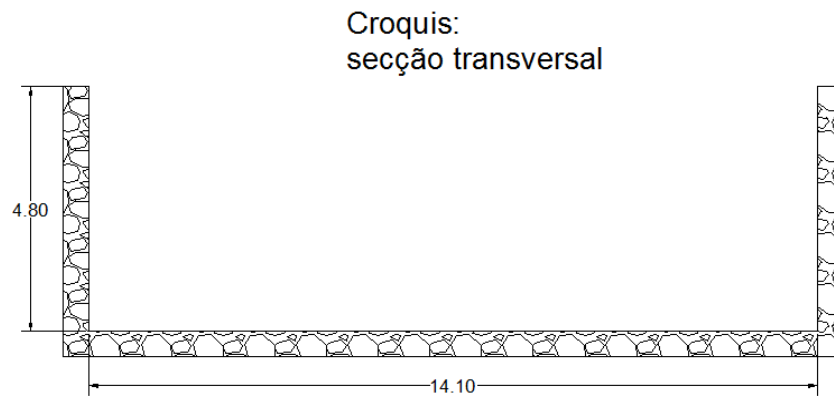


Figura I. 5 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Croquis:
secção transversal

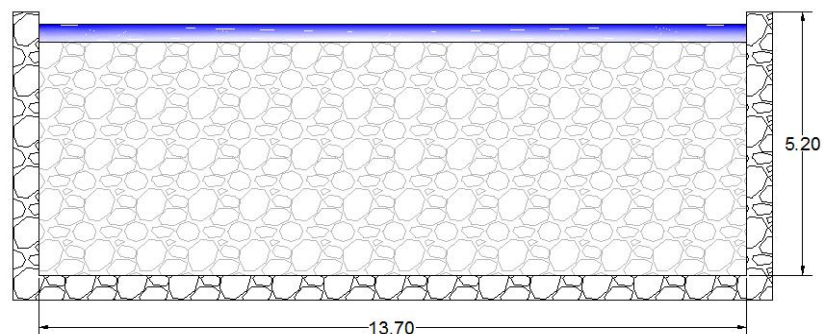


Figura I. 6 - Croquis da secção transversal durante o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais em pedra aparelhada, estradas alcatroadas nas suas laterais e calhau rolado no leito da ribeira. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 4,2°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Não apresenta elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

14:23 – transbordo do leito devido a várias ondas de enxurrada;

14:27 – secção com caudal máximo;

15:13 – transbordo do leito devido a várias ondas de enxurrada.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cota máxima atingida pela superfície livre foi de 4,95m às 14:22h;
- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 4,6m;
- Estimativa da área da secção vazão foi de 4,8m²;
- Estimativa do caudal líquido com base na equação de Manning-Strickler foi de 24,82m³/s.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação relevante.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_4_Ponte D. Manuel I

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 161m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 21250 13888

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular junto a uma ponte, como a ponte é em arco a deposição de material deu-se ao nível mais baixo desta havendo algum impedimento do livre escoamento da água, mas sem transbordo da mesma. A secção foi escolhida por ser uma das secções que ficou completamente preenchida de material sólido devido à enxurrada e não apresentando danos.

Geometria:

Croquis:
secção transversal

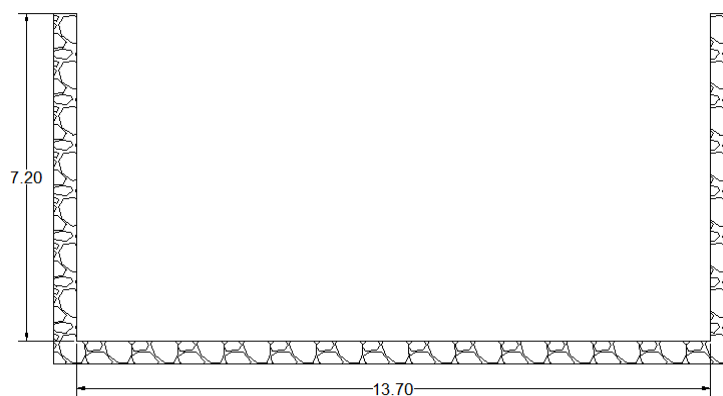


Figura I. 7 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

**Croquis:
secção transversal**

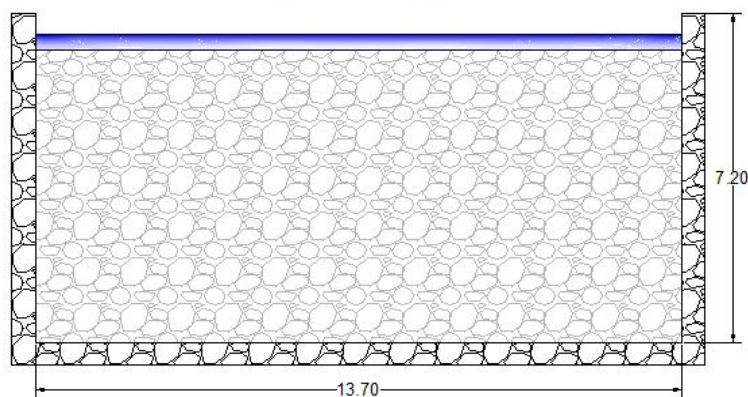


Figura I. 8 - Croquis da secção transversal durante o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais em pedra aparelhada, estradas alcatroadas nas suas laterais e calhau rolado no leito da ribeira. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 0,8°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Não apresenta elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cota máxima atingida pela superfície livre: 6,75m às 14:21h;
- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 6,4m;
- Estimativa da área da secção vazão foi de 4,8m²;
- Estimativa do caudal líquido com base na equação de Manning-Strickler foi de 10,82m³/s.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação relevante.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_5_Ponte demolida

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 204m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 21200 13925

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular, junto a esta passava uma ponte rodoviária que permitia a inversão de marcha da Rua 5 de Outubro para a Rua 31 de Janeiro. A secção foi escolhida por ser uma das secções que ficou completamente preenchida de material sólido devido à enxurrada e haver transbordo do leito da ribeira para a estrada na lateral esquerda, fazendo inundar a Rua dos Tanoeiros através de uma rua transversal a esta.

Geometria:

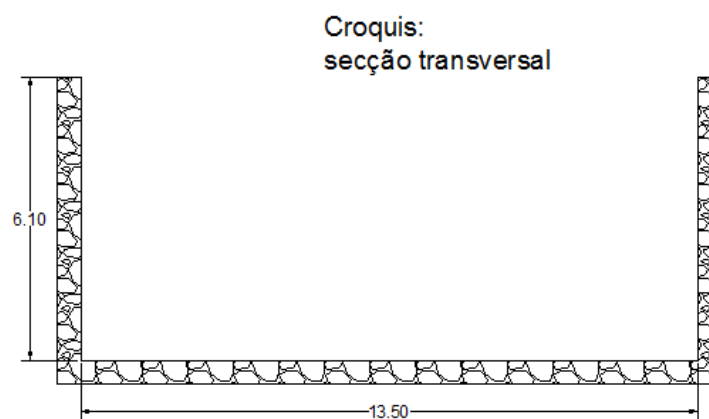


Figura I. 9 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Croquis:
secção transversal

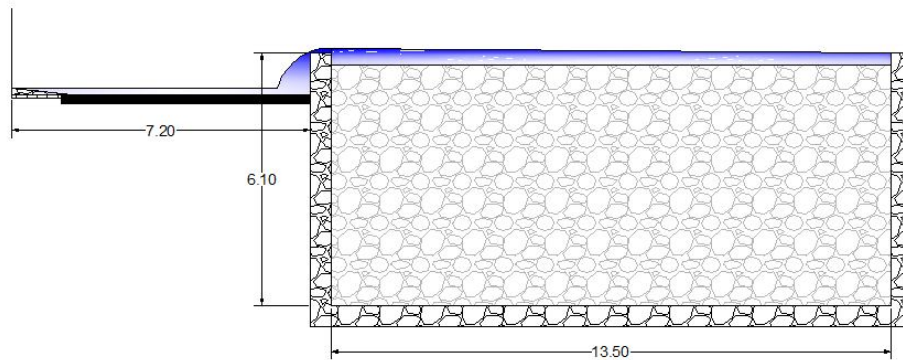


Figura I. 10 - Croquis da secção transversal durante o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais em pedra aparelhada e com estradas alcatroadas nas suas laterais. Nesta secção as margens contêm alguma vegetação mais na parte superior das muralhas. O declive do leito da ribeira nesta secção é de $10,1^\circ$.

Elementos relevantes nas redondezas:

Não apresenta elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

14:20 – escoamento normal;

15:30 – aumento do nível da superfície livre;

15:13 – transbordo do leito devido a várias ondas de enxurrada.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cota máxima atingida pela superfície livre: 6,3m às 14:21h;
- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 5,9m;
- Estimativa da área da secção vazão foi de $8,28\text{m}^2$;
- Estimativa do caudal líquido com base na equação de Manning-Strickler foi de $97,03\text{m}^3/\text{s}$.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação relevante.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_6_Secção de transvasamento do leito

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 247m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 21175 13950

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular. A secção foi escolhida por ser uma das secções que ficou completamente preenchida de material sólido devido à enxurrada e onde houve o transbordo do leito da ribeira para a estrada na lateral esquerda, fazendo inundar a Rua dos Tanoeiros.

Geometria:

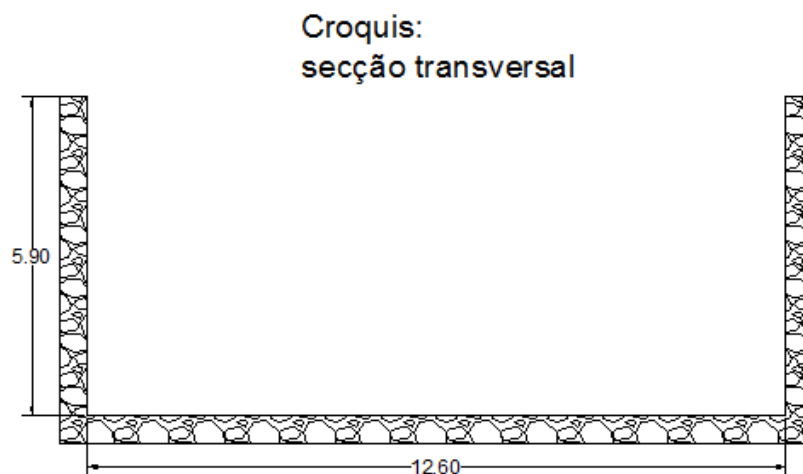


Figura I. 11 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Croquis:
secção transversal

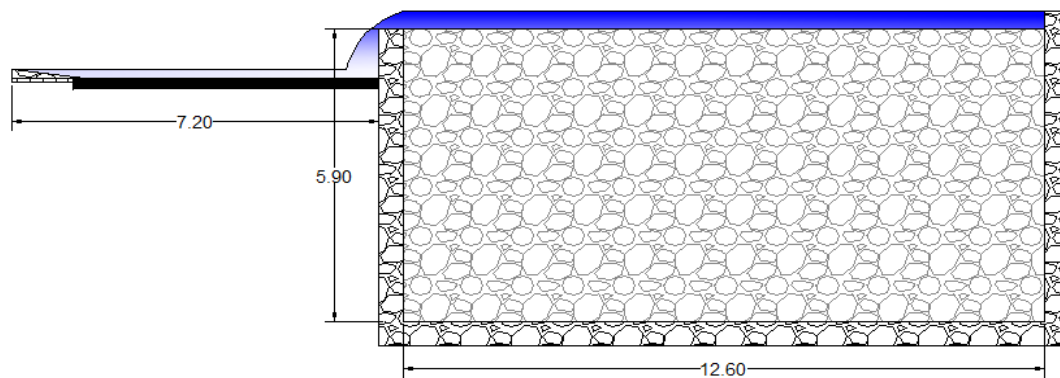


Figura I. 12 - Croquis da secção transversal durante o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com paramentos laterais em pedra aparelhada, com muros de cerca de 1m de altura e com estradas alcatroadas nas suas laterais. Nesta secção as margens contêm alguma vegetação mais na parte superior das muralhas. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 3,6°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Não apresenta elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

14:20 – escoamento normal;

16:00 – aumento do nível da superfície livre;

16:20 – início do transbordo do leito devido a várias ondas de enxurrada.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cota máxima atingida pela superfície livre foi de 6,25m;
- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 5,9m;
- Estimativa da área da secção vazão foi de 6,93m²;

- Estimativa do caudal líquido com base na equação de Manning-Strickler foi de $44,88\text{m}^3/\text{s}$.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_7_Ponte do Bettencourt

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 325m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 21138 14250

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular. A secção foi escolhida por ser uma das secções onde houve deposição de material sólido devido à enxurrada, mas não fazendo estrangulamento ao canal.

Geometria:

Croquis:
secção transversal

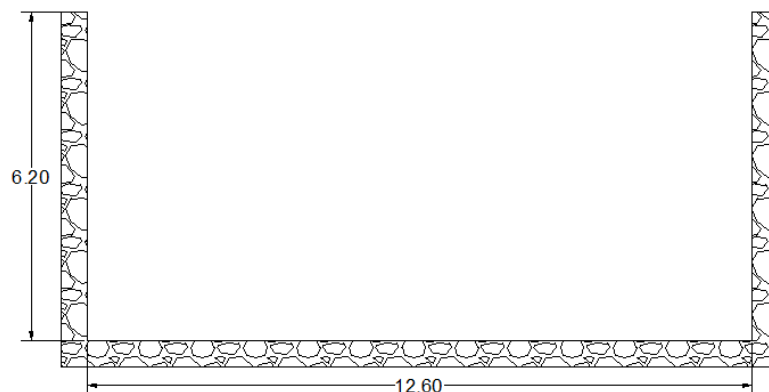


Figura I. 13 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção rectangular junto a uma ponte rodoviária importante para a baixa do Funchal, recentemente recuperada, com paramentos laterais em pedra aparelhada, com muros

de cerca de 1m de altura e estradas alcatroadas nas suas laterais. Nesta secção as margens contêm alguma vegetação mais na parte superior das muralhas. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 9,3°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Não apresenta elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

14:20 – escoamento normal;

16:00 – aumento do nível da superfície livre.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cota máxima atingida pela superfície livre foi de 5,3m;
- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 5,0m;
- Estimativa da área da secção vazão foi de 3,78m²;
- Estimativa do caudal líquido com base na equação de Manning-Strickler foi de 26,37m³/s.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação relevante.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_8_Ponte Nau Sem Rumo

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 399,6m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 21100 14063

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular. A secção foi escolhida por ser uma das secções onde houve o escoamento no canal da ribeira ocorreu sem aparente problema do caudal gerado.

Geometria:

Croquis:
secção transversal

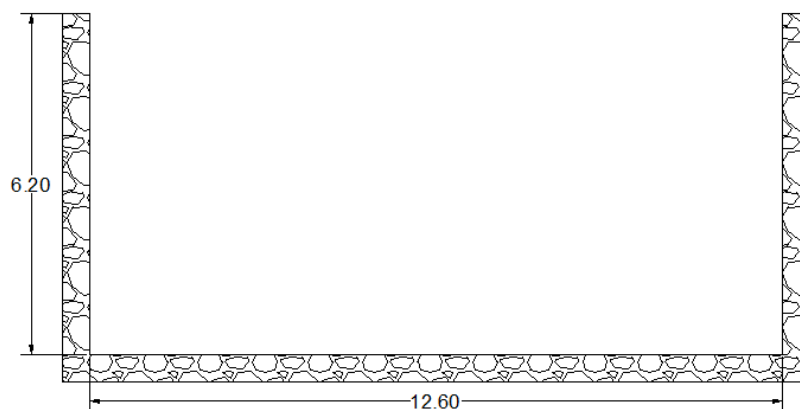


Figura I. 14 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção rectangular junto a uma ponte rodoviária com paramentos laterais em pedra aparelhada, com um muro de cerca de 1m de altura e com estradas alcatroadas nas suas laterais. Nesta secção a margem contém vegetação mais na parte superior das muralhas. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 10,6°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Não apresenta elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Não há dados sobre o evento nesta secção.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cota máxima atingida pela superfície livre foi de 4,5m;
- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 4,2m;
- Estimativa da área da secção vazão foi de 3,75m²;
- Estimativa do caudal líquido com base na equação de Manning-Strickler foi de 27,96m³/s.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação relevante.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_9_R. M Funchal

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 508,7m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 21038 14175

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular. A secção foi escolhida por ser uma das secções onde houve o escoamento no canal da ribeira ocorreu sem aparente problema do caudal gerado.

Geometria:

Secção Transversal

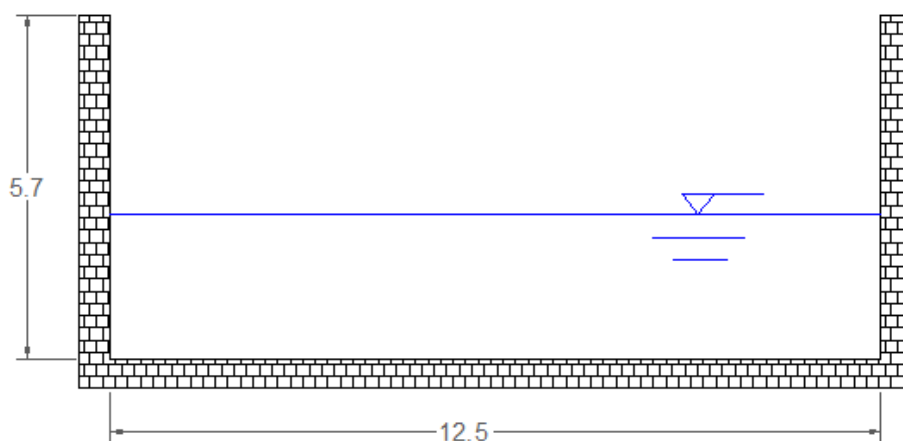


Figura I. 15 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção rectangular junto a uma ponte rodoviária com paramentos laterais em pedra aparelhada , com um muro de cerca de 1m de altura e com estradas alcatroadas nas suas laterais. Nesta secção as margens contêm pouca vegetação e mais na parte superior das muralha, apresenta calhau rolado no leito da ribeira. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 12°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Não há dados sobre o evento nesta secção.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação relevante.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_10_Ponte Nova

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 676,3m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20950 14300

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular. A secção foi escolhida por ser uma das secções onde houve o escoamento no canal da ribeira ocorreu sem aparente problema do caudal gerado.

Geometria:

Croquis:
secção transversal

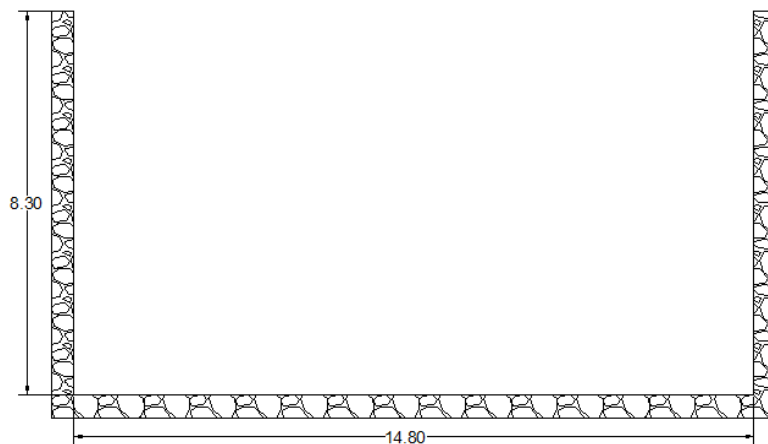


Figura I. 16 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção rectangular junto a uma ponte rodoviária em arco com um dos paramentos laterais em pedra aparelhada e o outro em betão armado, com um muro de cerca de 1m de altura num dos lados e varanda no outro, com estradas alcatroadas nas suas laterais. Nesta secção a margem direita contém muita vegetação não cobrindo cerca de 1 a 2m da muralha até à base do canal. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 15,4°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Não há dados sobre o evento nesta secção.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação relevante.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_11_Ponte de Santa Emília

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 733,1m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20900 14350

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular. A secção foi escolhida por ser uma das secções onde houve o escoamento no canal da ribeira ocorreu sem aparente problema do caudal gerado.

Geometria:

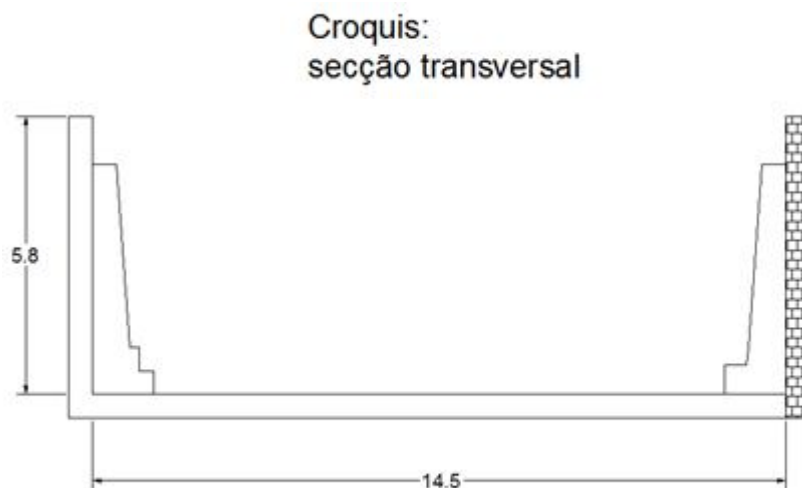


Figura I. 17 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção rectangular junto a uma ponte rodoviária com paramentos laterais em betão armado, sobrepostos à muralha antes existente, sob toda a largura da ponte e com estradas alcatroadas nas suas laterais. Nesta secção a margem direita contém muita vegetação não cobrindo cerca de 3m da muralha até à base do canal. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 12,3°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Edifício na lateral esquerda que já teve problemas nas caves devido à ribeira.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Não há dados sobre o evento nesta secção.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação relevante.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_12_Ponte do Torreão

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 916,1m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20750 14425

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular. A secção foi escolhida por ser uma das secções onde houve o escoamento no canal da ribeira ocorreu sem aparente problema do caudal gerado.

Geometria:

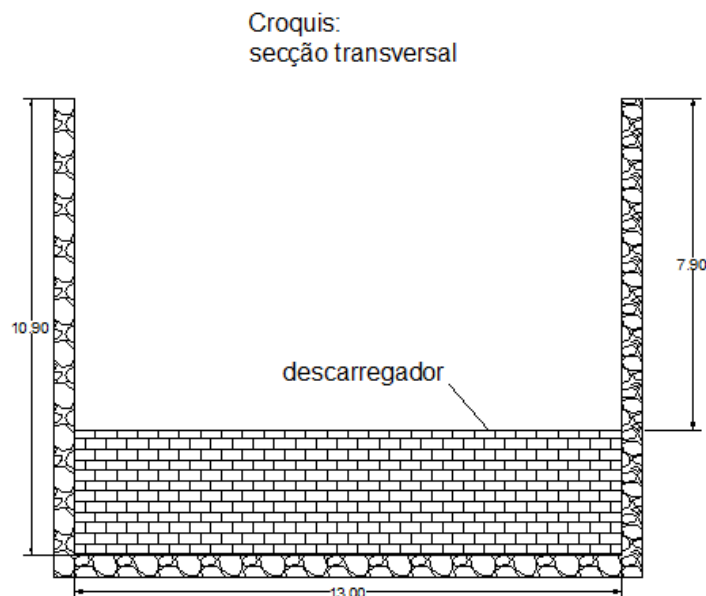


Figura I. 18 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção rectangular junto a uma ponte rodoviária com paramentos laterais em pedra aparelhada, nas suas laterais existem estradas alcatroadas. Não existe muita vegetação nesta secção. O declive do leito da ribeira nesta secção é de $1,43^\circ$.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Não há dados sobre o evento nesta secção.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação relevante.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_14_Ponte do Til

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 1095,5m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20600 14525

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular junto a uma ponte rodoviária com um posto de abastecimento de combustível. A secção foi escolhida por haver danos causados pelo temporal entre esta secção e a posterior.

Geometria:

Croquis:
secção transversal

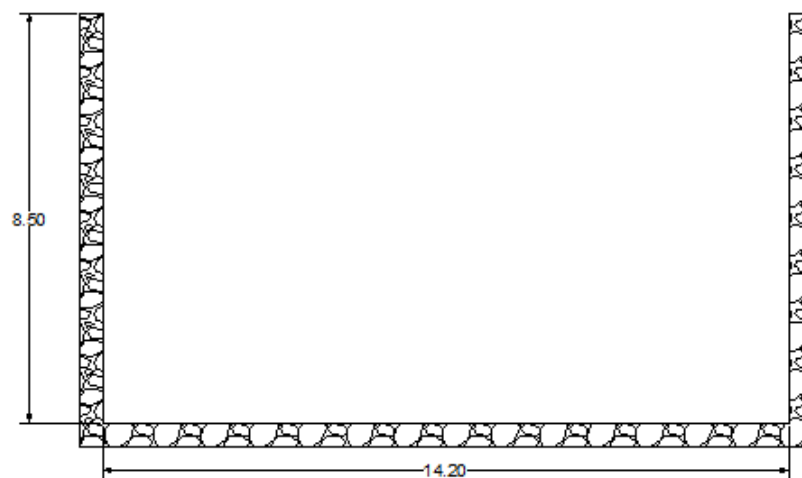


Figura I. 19 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com paramentos laterais em pedra aparelhada e nas suas laterais existem estradas alcatroadas. Com alguma vegetação em ambas as muralhas na parte superior das mesmas. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 8,65°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Posto de abastecimento de combustível.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

10:14 – Escoamento normal da água;

11:48 – Formação da primeira abertura no muro de contenção;

Minutos depois abate-se a estrada na mesma direcção da primeira abertura.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cota máxima atingida pela superfície livre foi de 1,5m;
- Estimativa da área da secção vazão foi de 21,3m²;
- Estimativa do caudal líquido com base na equação de Manning-Strickler foi de 418,71m³/s.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação relevante.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_15_Ponte de Pau

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 1354,8m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20400 14675

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular junto a uma ponte rodoviária com um posto de abastecimento de combustível. A secção foi escolhida por não haver aparente problema do caudal gerado neste canal.

Geometria:

Croquis:
secção transversal

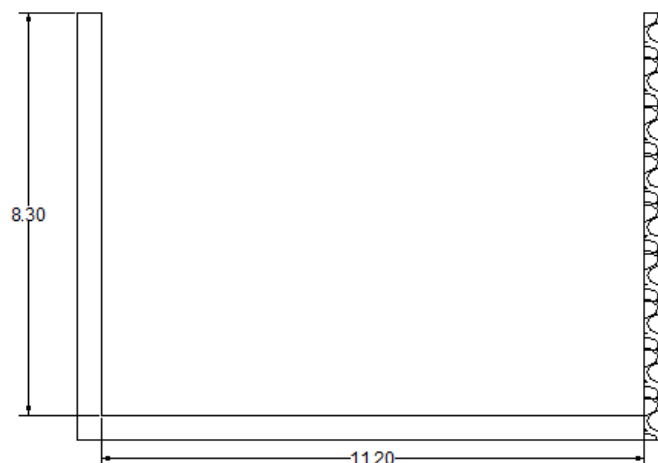


Figura I. 20 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com um dos paramentos laterais em pedra aparelhada e o outro em betão armado e com estradas alcatroadas nas suas laterais. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 3,04°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Posto de abastecimento de combustível.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação relevante.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_16_Rua abaixo da rotunda dos Viveiros

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 1818,2m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20025 14975

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular junto a uma ponte rodoviária. A secção foi escolhida por não haver aparente problema do caudal gerado neste canal.

Geometria:

**Croquis:
secção transversal**

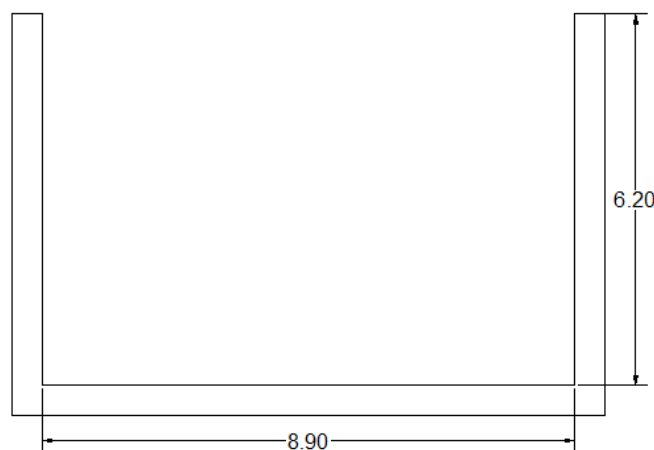


Figura I. 21 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com paramentos laterais em betão armado e com estrada alcatroada no lado esquerdo e um pequeno arruamento com casas no lado direito. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 1,43°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_17_Rotunda dos Viveiros

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 1999,3m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20025 14175

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular junto a uma estrada importante para a circulação automóvel. A secção foi escolhida por não haver aparente problema do caudal gerado neste canal.

Geometria:

Croquis:
secção transversal

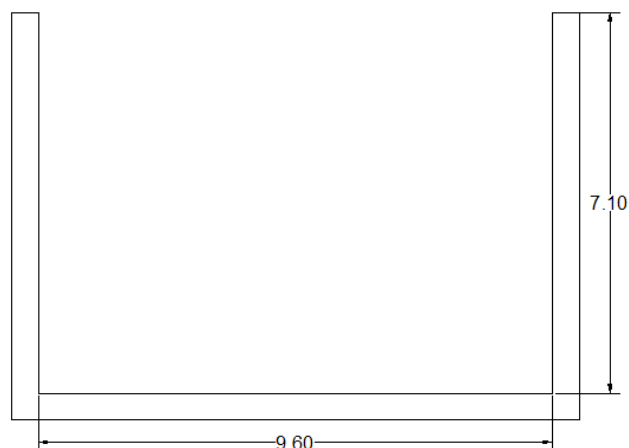


Figura I. 22 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com paramentos laterais em betão armado com estrada alcatroada no lado esquerdo e com casas no lado direito. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 5,71°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação relevante.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_18_Estrada da Fundoa (Esquina do edifício dos HF)

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 2713,8m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 19975 15775

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular junto a uma estrada. A secção foi escolhida por não haver aparente problema do caudal gerado neste canal. No entanto, houve deslizamento de terras na margem direita da ribeira.

Geometria:

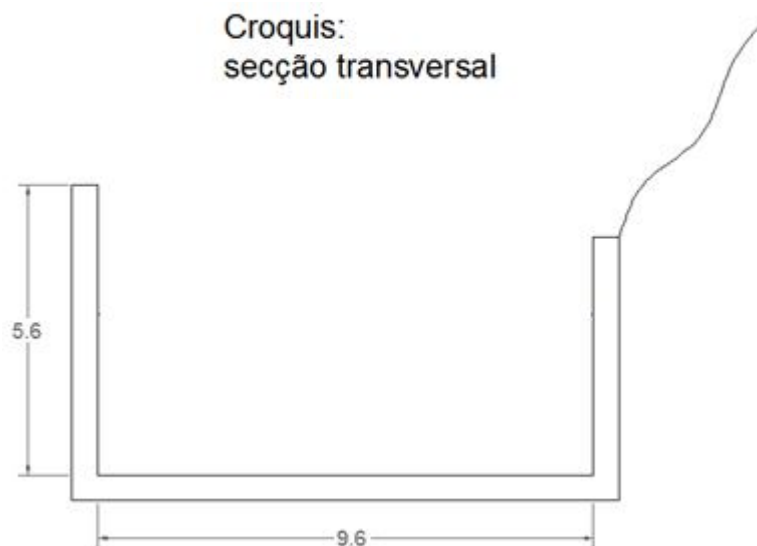


Figura I. 23 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com paramentos laterais em betão armado e com estrada alcatroada no lado esquerdo. O paramento da margem direita tem altura irregular. Nesta mesma margem por detrás do muro encontra-se uma encosta rochosa. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 4,3°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação relevante.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_19_Rotunda Fundoa

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 3843,5m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20150 16925

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular junto a uma rotunda. A secção foi escolhida por ter ocorrido transvasamento do leito, e deposição de grandes quantidades de material sólido nas suas redondezas.

Geometria:

Croquis:
secção transversal

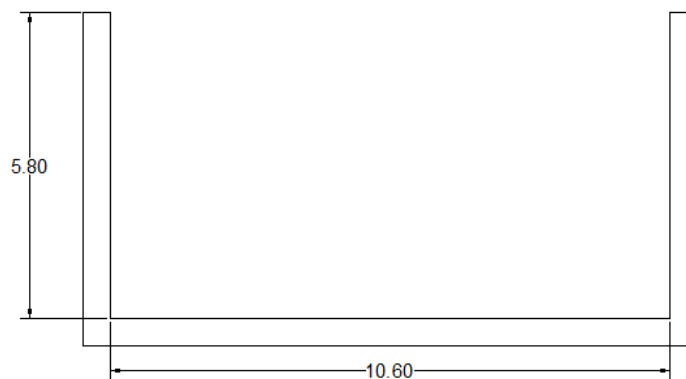


Figura I. 24 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais em betão armado e com estrada alcatroada no lado esquerdo e armazéns no lado direito. Com calhau rolado e sem vegetação. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 2,86°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 0,3m.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação relevante.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_20_Frente à porta superior do Edifício da CMF [Fundoa]

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 4004,5m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20175 17075

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular. A secção foi escolhida por ter ocorrido transvasamento do leito, e deposição de grandes quantidades de material sólido no canal e nas suas redondezas.

Geometria:

Croquis:
secção transversal

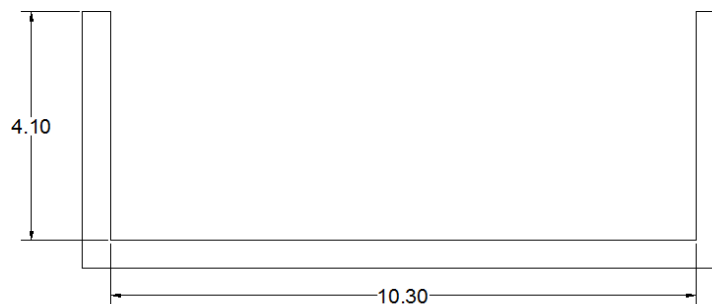


Figura I. 25 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

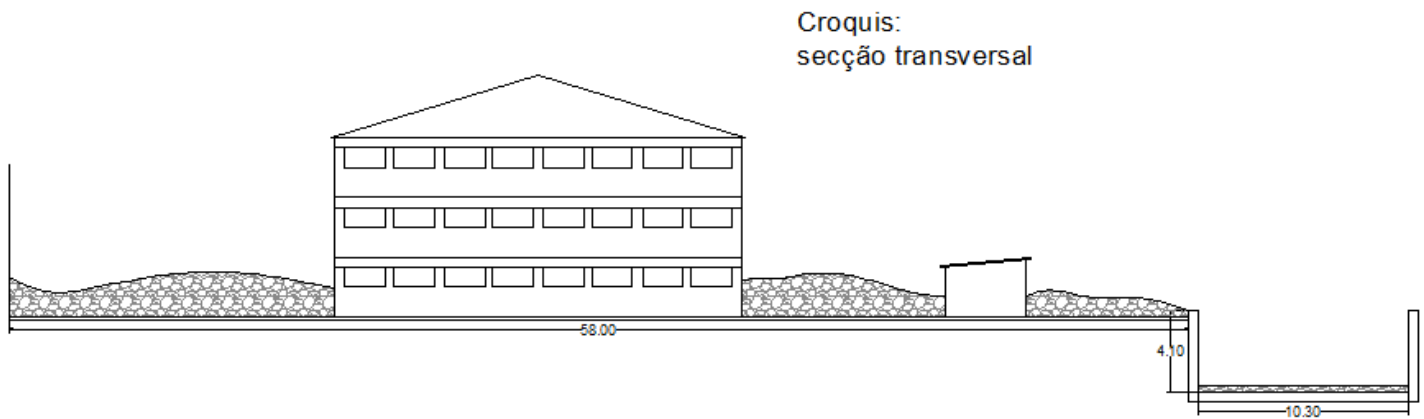


Figura I. 26 - Croquis da secção transversal durante o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais em betão armado e com estrada alcatroada no lado esquerdo e armazéns no lado direito. Com calhau rolado e sem vegetação. O declive do leito da ribeira nesta secção é de $2,86^\circ$.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 0,3m;

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_21

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 4228,1m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20125 17225

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção em estado natural.

Geometria:

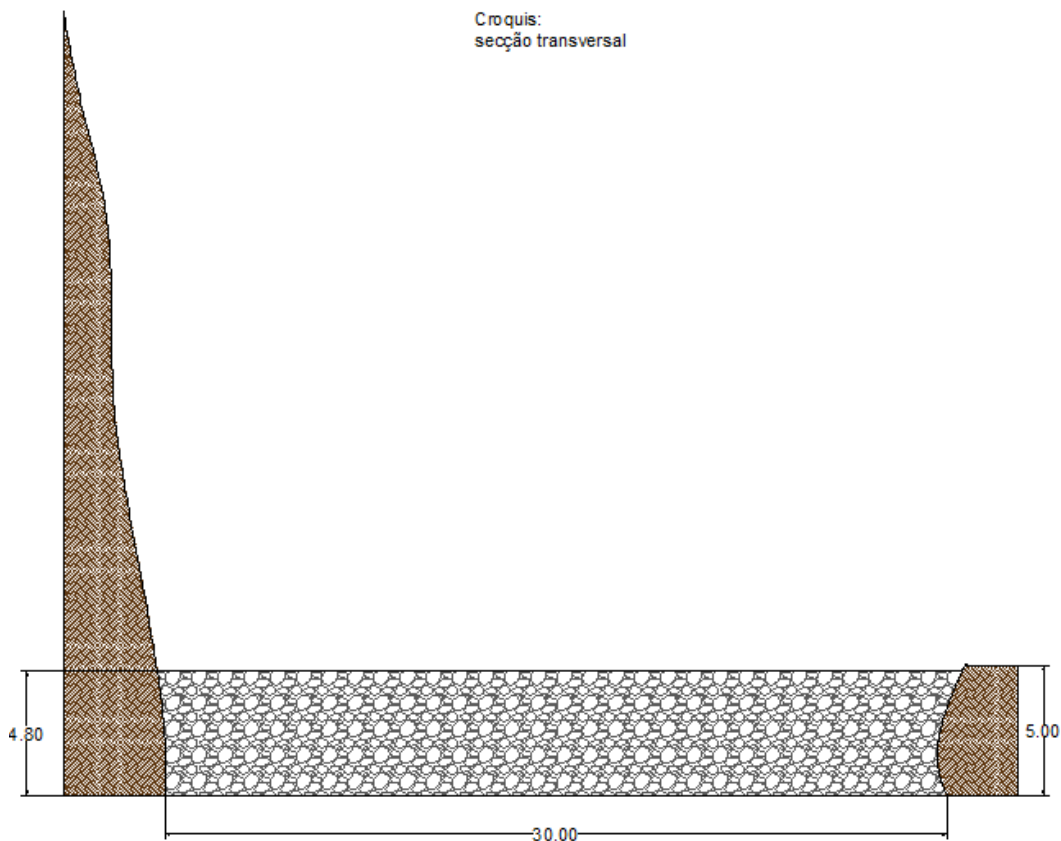


Figura I. 27 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais de depósito de vertente, com vegetação nas suas margens e pedra rolada no leito. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 7,3°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 4,8m;

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_22

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 4352,3m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20225 17375

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção em estado natural.

Geometria:

Croquis:
secção transversal

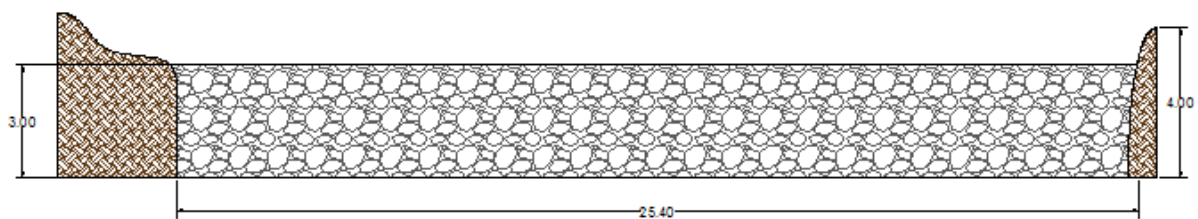


Figura I. 28 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais de depósito de vertente, com vegetação nas suas margens e pedra rolada no leito. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 11,4°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 3,0m;

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_23_Acima da fábrica

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 4731,3m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20425 17650

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular.

Geometria:

Croquis:
secção transversal

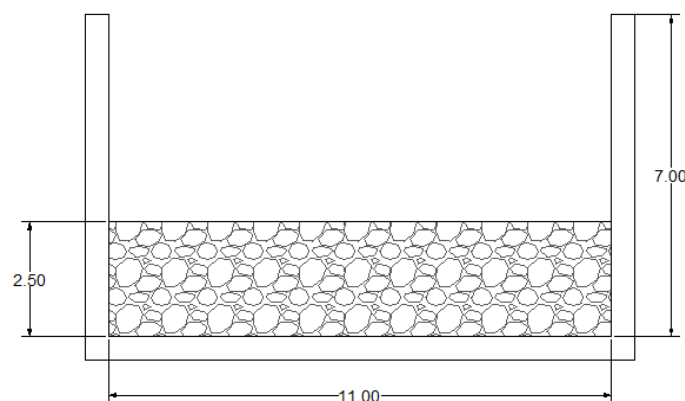


Figura I. 29 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais em betão armado, com pedra rolada no leito. O declive do leito da ribeira nesta secção é de $12,0^\circ$.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 2,5m.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_24

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 5260,3m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20450 18125

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular.

Geometria:

Croquis:
secção transversal

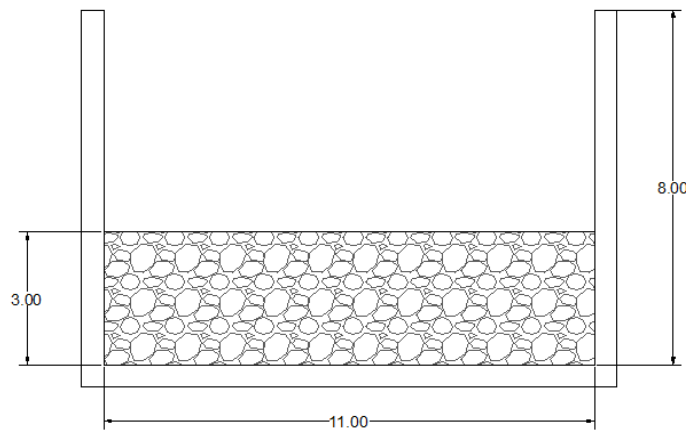


Figura I. 30 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais em betão armado, com pedra rolada no leito. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 3,64°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 3,0m.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_25

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 5394,5m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20475 18250

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção trapezoidal.

Geometria:

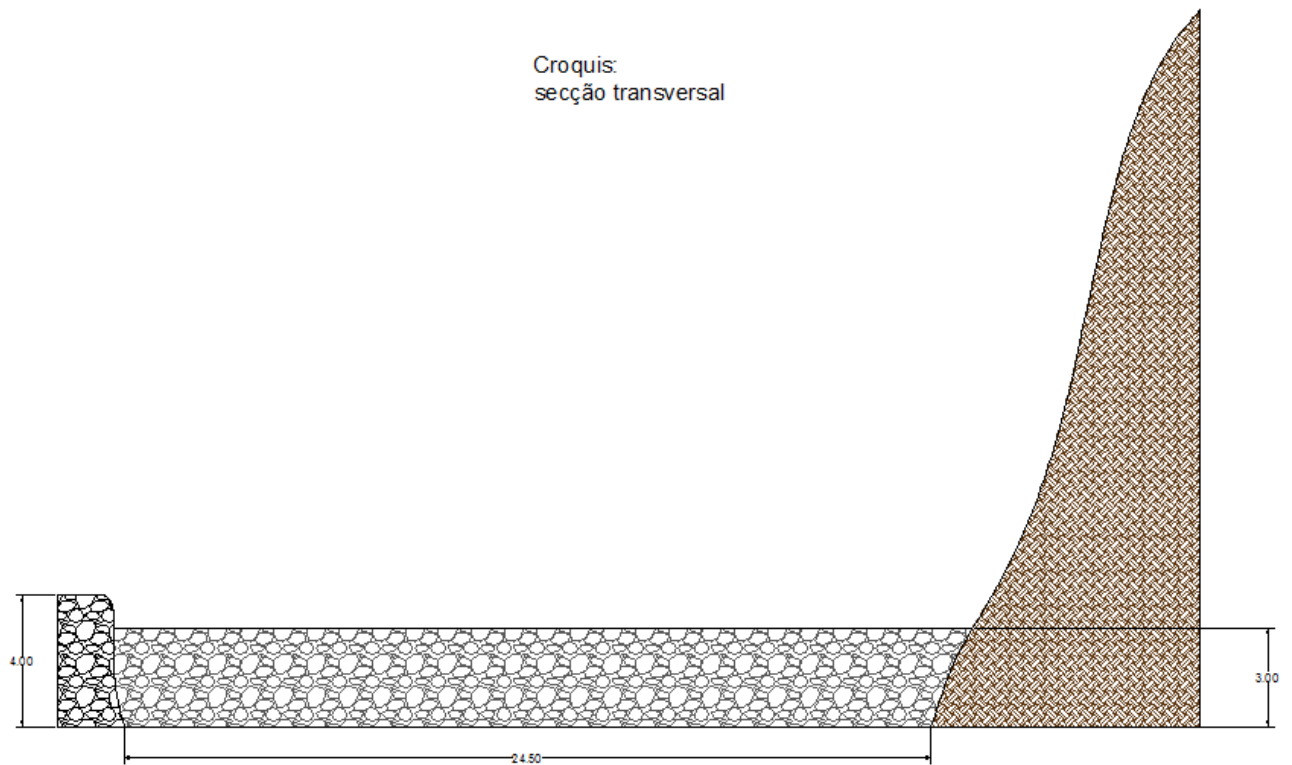


Figura I. 31 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais em pedra rolada aparelhada num dos lados e no outro é delimitada pela encosta, com pedra rolada no leito e vegetação do lado da encosta. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 3,65°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 3,0m.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_26

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 5860,4m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20325 18525

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção em estado natural.

Geometria:

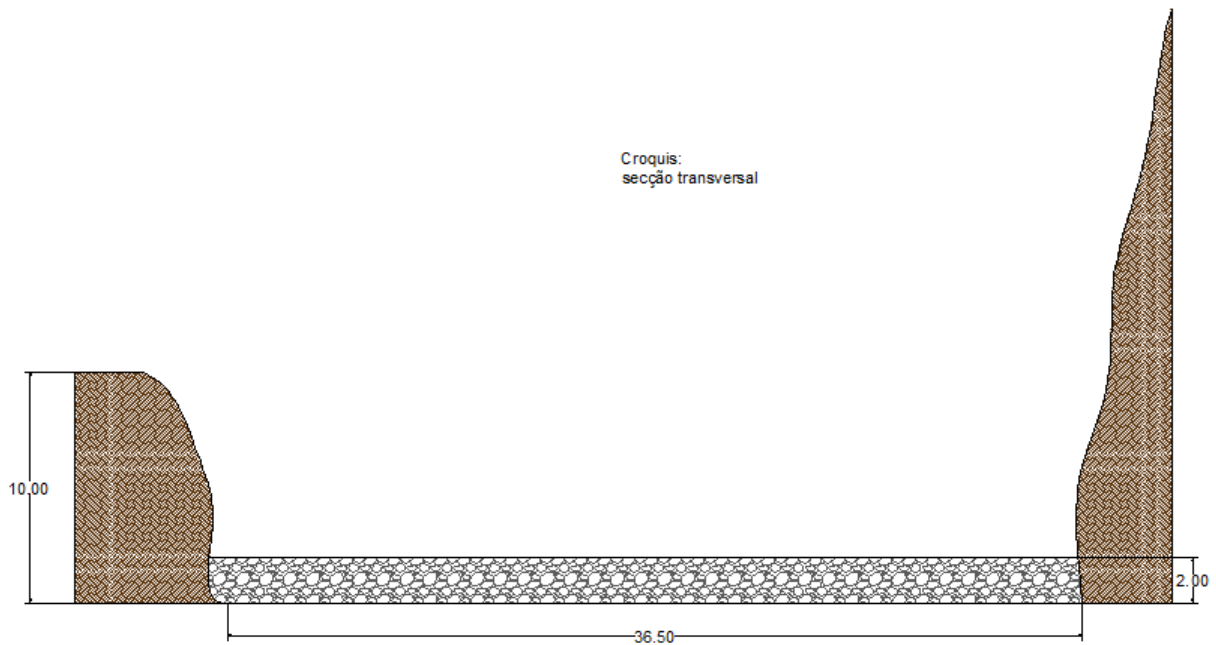


Figura I. 32 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais em estado natural, com pedra rolada no leito e vegetação nas margens. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 7,86°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 2,0m.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_27

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 5933,8m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20300 18575

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção em estado natural.

Geometria:

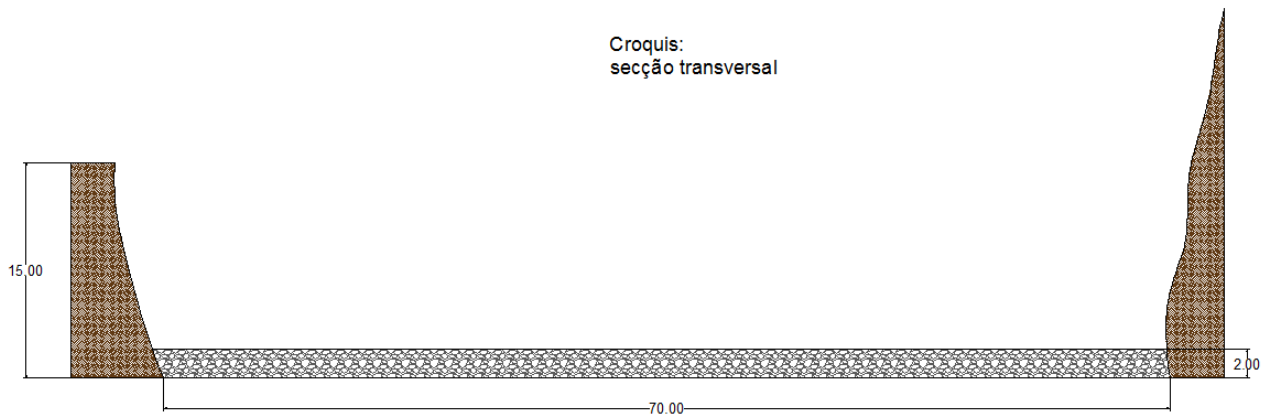


Figura I. 33 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais em estado natural, com pedra rolada no leito e vegetação do lado da encosta, na margem esquerda houve desabamento da mesma. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 14,04°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 2,0m.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_28

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 6258,2m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20300 19025

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção rectangular.

Geometria:

Croquis:
secção transversal

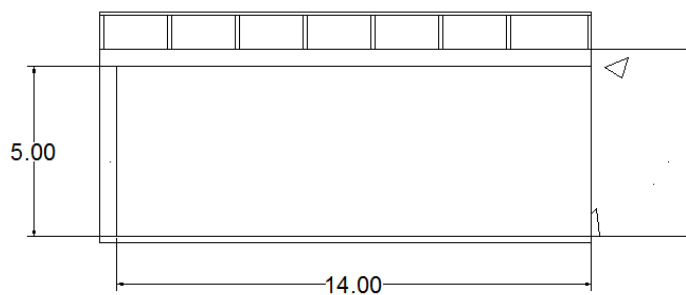


Figura I. 34 - Croquis da secção transversal após o evento do dia 20 de Fevereiro

Croquis:
secção transversal

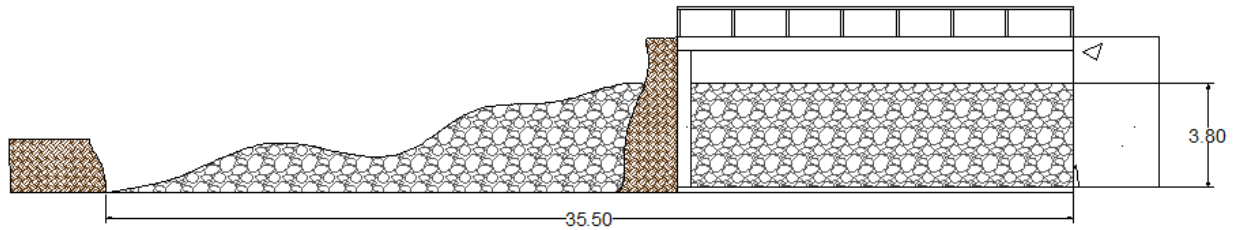


Figura I. 35 - Croquis da secção transversal durante o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais em betão armado, com pedra rolada no leito e vegetação do lado da margem direita. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 4,30°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 3,8m.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_29

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 6298,3m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20300 19125

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção em estado natural.

Geometria:

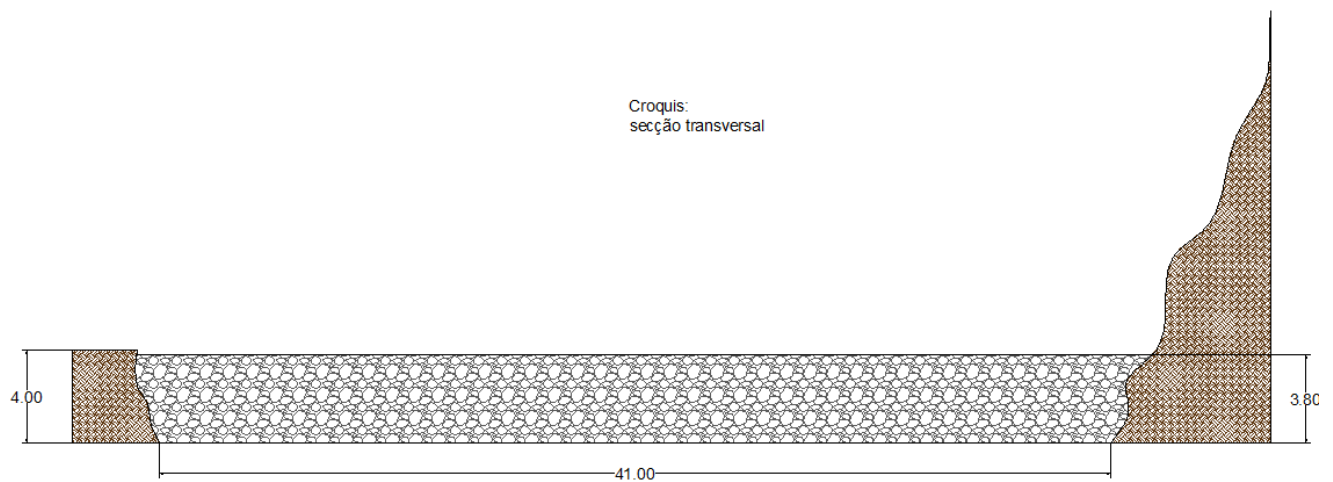


Figura I. 36 - Croquis da secção transversal durante o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais em estado natural, com pedra rolada no leito e vegetação em ambas as margens. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 1,43°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 3,8m.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_30

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 6437,4m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20225 19175

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção em estado natural.

Geometria:

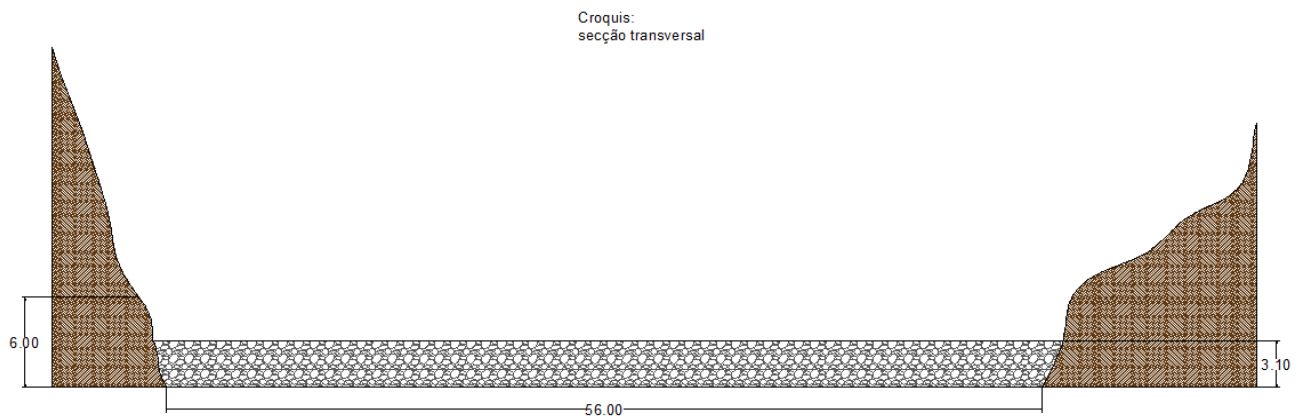


Figura I. 37 - Croquis da secção transversal durante o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais em estado natural, com pedra rolada no leito e vegetação em ambas as margens. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 4,52°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 3,10m.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação.

Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Designação: SL_31

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 6484,6m

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20200 19225

Descrição sumária:

Esta secção é uma secção em estado natural.

Geometria:

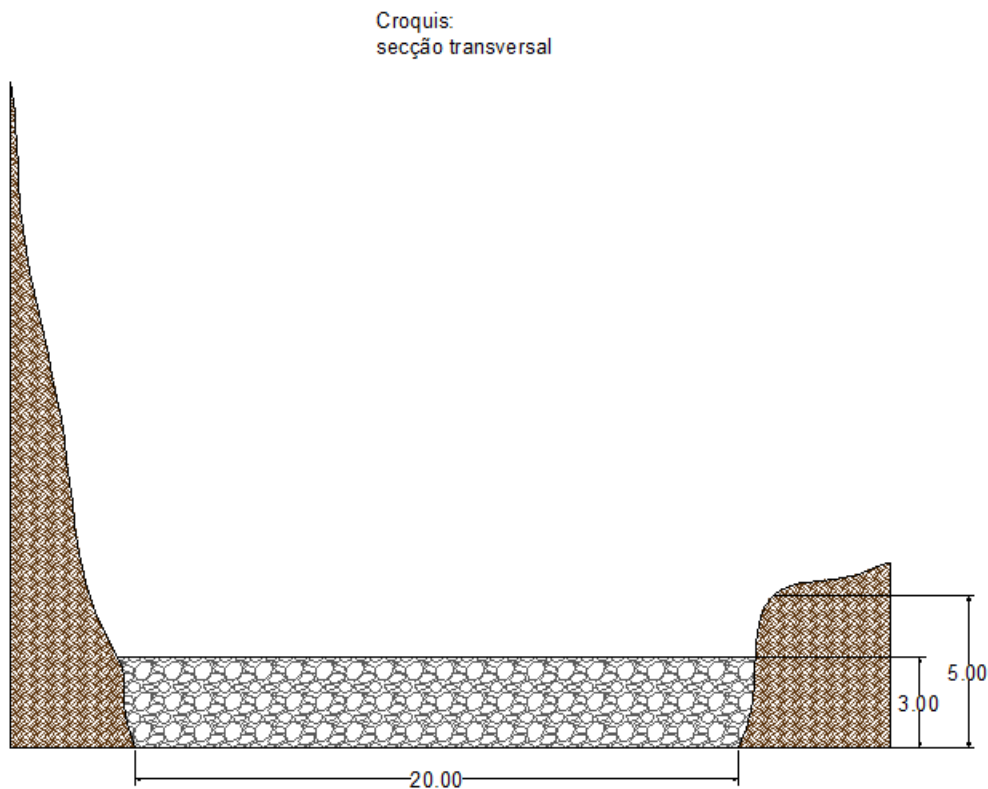


Figura I. 38 - Croquis da secção transversal durante o evento do dia 20 de Fevereiro

Secção com parâmetros laterais em estado natural, com pedra rolada no leito e vegetação em ambas as margens. O declive do leito da ribeira nesta secção é de 3,65°.

Elementos relevantes nas redondezas:

Sem elementos relevantes nas redondezas.

Cronologia dos eventos no dia 20 de Fevereiro de 2010:

Sem dados.

Caracterização do escoamento e do transporte sólido durante o dia 20 de Fevereiro de 2010:

- Cotas dos depósitos de material sólido foram de 3,00m.

Informações sobre o comportamento da secção noutros eventos:

Sem informação

Anexos II

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica:

Localização:

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito

Estimativa do volume:

Apresentação do valor da estimativa do volume com descrição da metodologia de cálculo.

Granulometria:

Estimativa da distribuição do volume pelas diversas gamas de granulometria.

Anexos II-A

Fichas de Campo - Ficha de caracterização de uma
zona de depósito de material sólido

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 1 – Entre as secções SL_1 e SL_2

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 1 – Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 1

Estimativa do volume:

$\text{Área} = 855,6 \text{ m}^2$; $\text{Espessura} = 4,4 \text{ m}$

$\text{Volume} = 855,6 \times 4,4 = 3764,7 \text{ m}^3$

Granulometria:

Neste troço não é possível visualizar a granulometria devido a ser um troço fechado.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona2 – Entre as secções SL_2 e SL_3

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 2 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 2

Estimativa do volume:

$\text{Área} = 917,4 \text{ m}^2$; $\text{Espessura} = 4,5 \text{ m}$

$\text{Volume} = 917,4 \times 4,5 = 4128,3 \text{ m}^3$

Granulometria:

Nesta zona da mancha de material sólido predominam os balastros calhau, seguidos de blocos, não é possível referir percentagens pelo facto de não haver imagens desta zona com visibilidade de toda a granulometria existente.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 3 – Entre as secções SL_3 e SL_4

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 3 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 3

Estimativa do volume:

$\text{Área} = 452,1 \text{ m}^2$; $\text{Espessura} = 5,5 \text{ m}$

$\text{Volume} = 452,1 \times 5,5 = 2486,6 \text{ m}^3$

Granulometria:

A granulometria predominante é o areão com cerca de 50% do volume total depositado neste troço, o seguinte é o seixo com 30%, o calhau com 15% e por fim os blocos com 5%.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 4 – Entre a secção SL_4 e SL_5

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 4 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 4

Estimativa do volume:

$\text{Área} = 584,8 \text{ m}^2$; $\text{Espessura} = 6,15 \text{ m}$

$\text{Volume} = 584,8 \times 6,15 = 3596,5 \text{ m}^3$

Granulometria:

A estimativa da distribuição do volume das diversas gamas de granulometria foi feita a partir de fotos do local no dia seguinte ao acontecimento. Neste troço estimou-se 40% de areão, 30% de seixo, 25% de calhau e 5% de blocos.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 5 – Entre as secções SL_5 e SL_6

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 5 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 5

Estimativa do volume:

Área = $561,15 \text{ m}^2$; Espessura = $5,9 \text{ m}$

Volume = $561,15 \times 5,9 = 3310,8 \text{ m}^3$

Granulometria:

A estimativa da distribuição do volume das diversas gamas de granulometria foi feita a partir de fotos do local no dia seguinte ao acontecimento. Neste troço estimou-se 60% de areão, 30% de seixo, 10% de calhau e blocos.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 6 – Entre as secções SL_6 e SL_7

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 6 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 6

Estimativa do volume:

Área = 982,8 m²; Espessura = 5,45 m

Volume = 982,8 × 5,45 = 5356,3 m³

Granulometria:

A estimativa da distribuição do volume das diversas gamas de granulometria foi feita a partir de fotos do local no dia seguinte ao acontecimento. Neste troço estimou-se 40% de areão, 30% de seixo, 25% de calhau e 5% de blocos.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 7 – Entre as secções SL_7 e SL_8

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 7 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 7

Estimativa do volume:

Área = 936,23 m²; Espessura = 4,6 m

Volume = 936,23 × 4,6 = 4306,7 m³

Granulometria:

A granulometria predominante é a areia com cerca de 65% do volume total depositado nesta zona, o seguinte é o areão com 22%, o seixo com 11% e por fim o calhau com 2%.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 8 – Rua dos Tanoeiros

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 8 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 8

Estimativa do volume:

Área = 390,5 m²; Espessura = 0,9 m

Volume = 390,5 × 0,9 = 341,7 m³

Granulometria:

A granulometria predominante é a areia com cerca de 65% do volume total depositado nesta zona, o seguinte é o areão com 20%, o seixo com 10% e por fim o calhau com 5%.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 9 – Rampa do Cidrão e Rua da Alfândega

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 9 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 9

Estimativa do volume:

Área = 239,0 m²; Espessura = 1,6 m

Volume = 239,0 × 1,6 = 382,4 m³

Granulometria:

A granulometria predominante é a areia com cerca de 65% do volume total depositado nesta zona, o seguinte é o areão com 20%, o seixo com 10% e por fim o calhau com 5%. Esta estimativa foi feita com base em fotos.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 10 – Rua 5 de Outubro

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 10 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 10

Estimativa do volume:

$\text{Área} = 420,7 \text{ m}^2$; $\text{Espessura} = 0,4 \text{ m}$

$\text{Volume} = 420,7 \times 0,4 = 168,3 \text{ m}^3$

Granulometria:

A granulometria predominante é a areia com cerca de 60% do volume total depositado nesta zona, o seguinte é o areão com 30%, o seixo com 5% e por fim o calhau com 5%.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 11 – Instalações da CMF - Fundoa

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 11 -Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 11

Estimativa do volume:

Área = 3540 m²; Espessura = 2,0 m

Volume = 3540 × 2,0 = 7080 m³

Granulometria:

A granulometria predominante são os balastros de bloco com cerca de 70%, de seguida 20% de calhau e 10% de seixo.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 12 – Estrada - Fundoa

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 12 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 12

Estimativa do volume:

Área = 905,7 m²; Espessura = 1,0 m

Volume = 905,7 × 1,0 = 905,7 m³

Granulometria:

A granulometria predominante são blocos com cerca de 80% do volume total depositado nesta zona, o seguinte é o calhau com 10% e o seixo também com 10%.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 13 – Estaleiro - Fundoa

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 13 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 13

Estimativa do volume:

Área = 1340 m²; Espessura = 1,5 m

Volume = 1340 × 1,5 = 2010 m³

Granulometria:

A granulometria predominante é o bloco com cerca de 90% do volume total depositado nesta zona, o seguinte é o calhau e o seixo com 10%.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 14 – Leito - Fundoa

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 14 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 14

Estimativa do volume:

Área = 2060 m²; Espessura = 0,3 m

Volume = 2060 × 0,3 = 618 m³

Granulometria:

A granulometria predominante são balastros de blocos com cerca de 40%, com 25% temos calhaus e seixo e por fim 10% de areias.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 15 – Entre as secções SL_20 e SL_21

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 15 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 15

Estimativa do volume:

Área = 4505,54 m²; Espessura = 2,55 m

Volume = 4505,54 × 2,55 = 11489,13 m³

Granulometria:

Nesta zona da mancha de material sólido predominam os balastros blocos com cerca 70%, seguido por calhau com 15%, 5% de seixos e 5% de areão.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 16 – Entre as secções SL_21 e SL_22

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 16 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 16

Estimativa do volume:

$\text{Área} = 3440,34 \text{ m}^2$; $\text{Espessura} = 3,9 \text{ m}$

$\text{Volume} = 3440,34 \times 3,9 = 13417,33 \text{ m}^3$

Granulometria:

Nesta zona da mancha de material sólido predominam os balastros blocos com cerca 70%, seguido por calhau com 15%, 5% de seixos e 5% de areão.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 17 – Entre as secções SL_22 e SL_23

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 17 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 17

Estimativa do volume:

$\text{Área} = 6897,8\text{m}^2$; $\text{Espessura} = 2,75\text{ m}$

$\text{Volume} = 6897,8 \times 2,75 = 18968,95\text{ m}^3$

Granulometria:

Nesta zona da mancha de material sólido predominam os balastros blocos com cerca 60%, seguido por calhau com 20%, 10% de seixos e 10% de areão.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 18 – Entre as secções SL_23 e SL_24

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 18 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 18

Estimativa do volume:

$\text{Área} = 5819 \text{ m}^2$; $\text{Espessura} = 2,75 \text{ m}$

$\text{Volume} = 5819 \times 2,75 = 16002,3 \text{ m}^3$

Granulometria:

Nesta zona da mancha de material sólido predominam os balastros blocos com cerca 60%, seguido por calhau com 20%, 10% de seixos e 10% de areão.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 19 – Entre as secções SL_24 e SL_25

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 19 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 19

Estimativa do volume:

$\text{Área} = 2382,05 \text{ m}^2$; $\text{Espessura} = 3,0 \text{ m}$

$\text{Volume} = 2382,05 \times 3,0 = 7146,15 \text{ m}^3$

Granulometria:

Nesta zona da mancha de material sólido predominam os balastros blocos com cerca 45%, seguido por calhau com 20%, 20% de areão e 15% de seixos.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 20 – Entre as secções SL_25 e SL_26

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 20 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 20

Estimativa do volume:

$\text{Área} = 14209,95 \text{ m}^2$; $\text{Espessura} = 2,5 \text{ m}$

$\text{Volume} = 14209,95 \times 2,5 = 35524,88 \text{ m}^3$

Granulometria:

Nesta zona da mancha de material sólido predominam os balastros blocos com cerca 40%, seguido por areão com 25%, 20% de calhau e 15% de seixos.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 21 – Entre as secções SL_26 e SL_27

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 21 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 21

Estimativa do volume:

$\text{Área} = 3908,55 \text{ m}^2$; $\text{Espessura} = 2,0 \text{ m}$

$\text{Volume} = 3908,55 \times 2,0 = 7817,1 \text{ m}^3$

Granulometria:

Nesta zona da mancha de material sólido predominam os balastros blocos com cerca 40%, seguido por 30% de seixos, 20% de calhau e 10% de seixos.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 22 – Entre as secções SL_27 e SL_28

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 22 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 22

Estimativa do volume:

$\text{Área} = 17031 \text{ m}^2$; $\text{Espessura} = 2,9 \text{ m}$

$\text{Volume} = 17031 \times 2,9 = 49389,9 \text{ m}^3$

Granulometria:

Nesta zona da mancha de material sólido predominam os balastros blocos com cerca 50%, seguido por 30% de calhau, 20% de seixos e 10% de areão.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 23 – Entre as secções SL_28 e SL_29

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 23 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 23

Estimativa do volume:

$\text{Área} = 1523,8 \text{ m}^2$; $\text{Espessura} = 3,8 \text{ m}$

$\text{Volume} = 1523,8 \times 3,8 = 5790,4 \text{ m}^3$

Granulometria:

Nesta zona da mancha de material sólido predominam os balastros blocos com cerca 60%, seguido por 30% de calhau, 15% de seixos e 5% de areão.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 24 – Entre as secções SL_29 e SL_30

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 24 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 24

Estimativa do volume:

$\text{Área} = 6746,35 \text{ m}^2$; $\text{Espessura} = 3,45 \text{ m}$

$\text{Volume} = 1523,8 \times 3,45 = 23274,91 \text{ m}^3$

Granulometria:

Nesta zona da mancha de material sólido predominam os balastros blocos com cerca 60%, seguido por 30% de calhau, 15% de seixos e 5% de areão.

Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de Santa Luzia

Localização: Zona 25 – Entre as secções SL_30 e SL_31

Mapa da localização e extensão da mancha de depósito



Figura II. 25 - Mapa da localização da área de deposição de material sólido da Zona 25

Estimativa do volume:

$\text{Área} = 1793,6 \text{ m}^2$; $\text{Espessura} = 3,05 \text{ m}$

$\text{Volume} = 1793,6 \times 3,05 = 5470,48 \text{ m}^3$

Granulometria:

Nesta zona da mancha de material sólido predominam os balastros blocos com cerca 60%, seguido por 30% de calhau, 15% de seixos e 5% de areão.