



**Caracterização Hidráulica, Hidrológica e de Transporte Sólido  
do Evento de 20 de Fevereiro de 2010 na  
Ribeira de São João – Ilha da Madeira**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Hugo Miguel Moniz Teixeira**

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL



UNIVERSIDADE da MADEIRA

*A Nossa Universidade*  
www.uma.pt

Novembro | 2010



## Agradecimentos

Para a concretização deste trabalho, foi importante a colaboração de diversas pessoas. Desde a família, até aos que se disponibilizaram para partilhar o seu conhecimento com o propósito de enriquecer o meu trabalho, eu gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu orientador, o Engenheiro Paulo França, pela sua orientação, disponibilidade e por todo o importante contributo.

Também à co-orientadora deste trabalho, a Engenheira Joana Reis, pelas mesmas razões.

Aos responsáveis pelo *Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira* pela oportunidade concedida, de fazer parte deste importante trabalho para a Ilha da Madeira.

À professora Susana Prada pela sua importante e muito útil colaboração, principalmente na área da Geologia.

Aos doutores Celso Figueira e Nuno Aguiar pela constante ajuda e pela companhia e partilha nas visitas de campo.

A todos os meus amigos e colegas que tiveram presentes nos momentos de trabalho e também de descontração destes últimos meses.

Por último, mas em especial, quero agradecer aos meus pais por todo o apoio, a todos os níveis, nestes difíceis mas memoráveis anos de estudo e ao meu irmão que foi o principal cúmplice de todo este trajecto.

## Resumo

Após o temporal que se abateu sobre a ilha da Madeira no dia 20 de Fevereiro de 2010 ficou a dúvida se a tragédia podia ter sido evitada ou pelo menos minimizada. A intensa intervenção humana, principalmente na baixa da cidade do Funchal, alterou o normal curso das ribeiras. Esse facto levantou a questão se o homem estará a ser negligente ou irresponsável na maneira como constrói nas suas proximidades.

Posto isto, o Governo Regional da Madeira achou que algo mais poderia ser investigado em relação ao comportamento das ribeiras em situações extremas, tal como a sucedida. Com o intuito de responder a estas e outras questões, equipas da UMa (Universidade da Madeira), IST (Instituto Superior Técnico) e LREC (Laboratório Regional de Engenharia Civil) iniciaram, em cooperação, um estudo que foi denominado por *Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira*. Ao autor deste trabalho foi concedida a oportunidade de fazer parte deste importante estudo para a Ilha da Madeira e de poder realizar esta dissertação no âmbito do mesmo. Foram estudadas as três mais importantes ribeiras do Funchal (João Gomes, Santa Luzia e São João) e as ribeiras da Ribeira Brava e Tabua. O presente trabalho, em particular, incidiu sobre a bacia hidrográfica e Ribeira de São João.

Este trabalho inicia-se por uma base teórica, onde é feita uma caracterização biofísica à Ilha da Madeira e mais detalhadamente à bacia hidrográfica da Ribeira de São João. Segue-se uma pequena referência a eventos semelhantes e anteriores ao de 20 de Fevereiro.

A parte prática do trabalho consiste no tratamento e interpretação dos dados levantados nas visitas de campo. Estimaram-se os valores sucedidos no dia do evento para caudais máximos e velocidades de escoamento em secções transversais da ribeira previamente seleccionadas. Estimou-se também o volume para o material sólido que foi depositado no leito e nas ruas ou estradas que se situam dentro da área da bacia hidrográfica da Ribeira de São João. Foi feita também uma caracterização granulométrica desse mesmo material sólido. Por fim elaboraram-se listas e mapas com as infra-estruturas danificadas.

Finalmente foram propostas algumas medidas preventivas que poderão minimizar as consequências de futuras aluviões.

## **Abstract**

After the storm that befallen in Madeira Island on the 20<sup>th</sup> February of 2010, one of the questions was whether the tragedy could have been avoided or at least minimized. The intense human intervention, mainly in downtown Funchal, changed the normal course of the streams. This has raised the debate whether man was negligent or irresponsible due to the construction in their vicinity.

The Regional Government of Madeira, worried about the situation thought about ordering further research, regarding the behavior of the streams in extreme situation such as this one. In order to fulfil this goal, teams from UMa (University of Madeira), IST (Instituto Superior Técnico) and LREC (Laboratório Regional de Engenharia Civil) initiated, in cooperation, a study that was named Risk Assessment Study of Madeira's Flash Floods. This has granted the author of the present work the opportunity to be part of such an important study for the Madeira island, and the possibility to the dissertation on the subject. The study was made on the three major streams of Funchal (João Gomes, Santa Luzia and São João) and the streams of Ribeira Brava and Tabua. This work, in particular, is focused on the hydrographic basin and brook of São João.

This work, starts with a theoretical basis where a biophysical characterization of Madeira is made, specifically to the basin of the Ribeira de São João. Then a small revision to previous events like the one on the 20<sup>th</sup> February was made.

The practical part of the work is based on the data obtained during field trips. Values like maximum discharge and flow velocities for the sections of the aforementioned stream were estimated. Volumes were also estimated for the solid materials that were deposited on the riverbed and in the streets or roads that are within the catchment area of the stream of São João. A granulometric distribution of the same solid material was also made. Finally, lists and maps for the damaged infrastructures were presented.

Finally, some preventive actions were proposed. Actions that could minimize the consequences in future floods.

## Índice

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	ii
Abstract .....	iii
Índice de Quadros .....	vi
Índice de Figuras .....	vii
1 - Introdução.....	1
2 - Caracterização da Ilha da Madeira .....	3
2.1. Descrição geral e Localização.....	3
2.2. Geologia .....	4
2.3. Geomorfologia .....	5
2.4. Relevo.....	8
2.5. Redes e Bacias Hidrográficas .....	9
2.6. Clima .....	11
2.7. Hidrologia e Hidrogeologia .....	15
2.8. Classificação dos Solos .....	17
2.9. Uso do Solo e Coberto Vegetal .....	19
3 - Aluviões na Ilha da Madeira .....	21
3.1. O significado de uma Aluvião como regionalismo madeirense.....	21
3.2. Histórico de Aluviões na Madeira desde o Século XIX.....	22
3.3. A Aluvião de 20 de Fevereiro de 2010 .....	30
4 - Caracterização Geomorfológica da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João .....	33
4.1. Introdução.....	33
4.2. Enquadramento da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João.....	34
4.3. Caracterização Climática da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João .....	35
4.4. Geologia e Geomorfologia da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João .....	37
4.5. Classificação e Caracterização dos Solos na Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João .....	40
4.6. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João .....	42
4.6.1. Introdução.....	42
4.6.2. Metodologia.....	42
4.6.3. Características geométricas .....	48

4.6.4. Características da Rede de Drenagem .....	50
4.6.5. Característica de Relevo.....	53
4.6.6. Tempo de Concentração.....	57
4.6.7. Resumo de dados da bacia hidrográfica da Ribeira de São João.....	58
5 – Trabalho de Levantamento e Análise do Evento de 20 de Fevereiro.....	59
5.1. Introdução.....	59
5.2. Metodologia.....	60
5.3. Apresentação dos Resultados.....	64
5.3.1. Secções Seleccionadas .....	64
5.3.2. Caracterização do Fluxo de Material Sólido .....	68
5.3.3. Identificação de algumas das principais Zonas Inundadas.....	75
5.3.4. Identificação de algumas das infra-estruturas danificadas .....	80
5.3.5. Estimativa do Caudal Máximo .....	85
5.4. Análise e Discussão dos resultados.....	86
6 – Conclusões .....	87
Bibliografia .....	89
Anexos.....	93

## Índice de Quadros

Quadro 1: Características gerais das principais bacias hidrográficas da Ilha da Madeira.	10
Quadro 2: Índice de compacidade e de alongamento da bacia hidrográfica da Ribeira de São João .....	49
Quadro 3: Hierarquia e Magnitude da Rede de Drenagem.....	51
Quadro 4: Cálculo da Densidade de Drenagem.....	52
Quadro 5: Cálculo da Densidade Hídrica .....	52
Quadro 6: Cálculo do Índice de Rugosidade .....	53
Quadro 7: Cálculo do Índice de Relevo.....	53
Quadro 8: Cálculo do Tempo de Concentração e Resposta para a bacia hidrográfica de São João .....	57
Quadro 9: Quadro resumo dos dados da bacia hidrográfica da Ribeira de São João .....	58
Quadro 10: Quadro resumo das características morfométricas da bacia hidrográfica da Ribeira de São João .....	58
Quadro 11: Rochas sedimentares de origem detrítica.....	61
Quadro 12: Valores de rugosidade para os diferentes tipos de material .....	63
Quadro 13: Secções seleccionadas .....	67
Quadro 14: Resumo das secções com deposição de material sólido.....	71
Quadro 15: Volume de material sólido depositado fora do leito da ribeira .....	72
Quadro 16: Volume de material sólido depositado no leito da ribeira.....	72
Quadro 17: Granulometria do material sólido depositado .....	73
Quadro 18: Secções de transbordo da Ribeira de São João .....	78
Quadro 19: Áreas inundadas .....	78
Quadro 20: Caudal e velocidade de escoamento das secções transversais.....	85

## Índice de Figuras

Figura 1: Enquadramento Geográfica do Arquipélago da Madeira.....	3
Figura 2: Cascata “Véu da Noiva” .....	5
Figura 3: Costa Norte da Ilha .....	5
Figura 4: Fajã nas Achadas da Cruz, Porto Moniz.....	6
Figura 5: Ponta de São Lourenço .....	6
Figura 6. Maciço Central da Ilha da Madeira.....	7
Figura 7: Pequena lagoa formada no Paul da Serra.....	7
Figura 8. Relevo da Ilha da Madeira (Prada <i>et al.</i> , 2005).....	8
Figura 9: Redes e Bacias Hidrográficas da Ilha da Madeira .....	9
Figura 10: Temperatura média do ar (PRAM, 2002).....	11
Figura 11: Precipitação média anual (PRAM, 2002) .....	12
Figura 12: “Mar de nuvens”. Vista do Pico do Areeiro .....	13
Figura 13: Classificação climática (PRAM, 2002) .....	14
Figura 14: Isolinhas anuais médias do escoamento superficial potencial total (Prada <i>et al.</i> , 2005) .....	15
Figura 15: Modelo Hidrológico para a Ilha da Madeira (Prada <i>et al.</i> , 2005) .....	16
Figura 16: Representatividade dos Solos na Ilha da Madeira (PRAM, 2002) .....	18
Figura 17: Usos e ocupação do solo da Ilha da Madeira (PRAM, 2002).....	19
Figura 18: Ribeira da Madalena do Mar no dia 31 de Dezembro.....	25
Figura 19: Ponte destruída na Ribeira de Machico.....	26
Figura 20: Ribeira de São João após a aluvião de 29 de Outubro de 1993 .....	28
Figura 21: Ribeira de João Gomes galgando margens e invadindo ruas do Funchal .....	30
Figura 22: Ribeira Brava durante a manhã de 20 de Fevereiro .....	32
Figura 23: Localização da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João .....	34
Figura 24: Mapa de Isotérmicas na Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João (Atlas Digital do Ambiente, 2002) .....	35
Figura 25: Mapa de Isoietas na Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João (Atlas Digital do Ambiente, 2002) .....	36
Figura 26: Geologia da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João.....	39

Figura 27: Classificações dos Solos na Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João.....	41
Figura 28: Cálculo da direcção do escoamento pelo comando “Flow Direction” .....	43
Figura 29: Cálculo da direcção do escoamento pelo comando “Flow Direction” no MDT corrigido .....	44
Figura 30: Cálculo da acumulação do escoamento pelo comando “Flow Accumulation”	45
Figura 31: Vectorização das linhas de água pelo comando “Flow Direction” (Rede de Drenagem) .....	46
Figura 32: Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João e sua delimitação .....	47
Figura 33: Aplicação do método de Shreve .....	50
Figura 34: Aplicação do método de Strahler .....	51
Figura 35: Inclinação das vertentes da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João.....	54
Figura 36: Inclinação das vertentes da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João.....	55
Figura 37: Gráfico representativo do Perfil Longitudinal do Curso de Água Principal da Ribeira de São João .....	56
Figura 38: Mapa de secções (SJ_1 a SJ_6) .....	64
Figura 39: Mapa de secções (SJ_11 a SJ_14) .....	65
Figura 40: Mapa de secções (SJ_16 a SJ_18) .....	65
Figura 41: Mapa de secções (SJ_20 e SJ_21) .....	66
Figura 42: Mapa de secções (SJ_22 a SJ_24) .....	66
Figura 43: Foz da Ribeira e área de deposição de material sólido ao longo do leito da ribeira na baixa do Funchal.....	68
Figura 44: Avenida do Mar.....	69
Figura 45: Avenida Arriaga.....	69
Figura 46: Avenida Calouste Gulbenkian .....	69
Figura 47: Rotunda Dr. Francisco Sá Carneiro .....	69
Figura 48: Deposição de material sólido na Marina .....	70
Figura 49: Caminho da Ribeira Grande e Ribeira de São João.....	70
Figura 50: Caminho da Ribeira Grande .....	70
Figura 51: Barragem e trabalhos de limpeza a decorrer .....	71
Figura 52: Mapa das áreas de deposição de Material Sólido na bacia hidrográfica de São João .....	74
Figura 53 - Armazéns inundados no Caminho da Ribeira Grande.....	75

Figura 54: Posto de abastecimento .....	75
Figura 55: Parque de estacionamento ao redor da Universidade da Madeira .....	76
Figura 56: Rotunda Dr. Francisco Sá Carneiro e Marina .....	76
Figura 57: Avenida Arraiga.....	77
Figura 58: Avenida do Mar.....	77
Figura 59: Entrada para o parque de estacionamento do Marina Shopping na Avenida do Mar.....	77
Figura 60: Mapa das áreas inundadas na bacia hidrográfica da Ribeira de São João .....	79
Figura 61: Estrada destruída no Caminho da Ribeira Grande, Santo António .....	81
Figura 62: Danos no afluente da Penteada.....	81
Figura 63: Danos na auto Lavagem de São João.....	82
Figura 64: Laje de cobertura da Ribeira danificada .....	82
Figura 65: Rotunda Dr. Francisco Sá Carneiro .....	83
Figura 66: Marina do Funchal .....	83
Figura 67: Mapa das principais infra-estruturas danificadas identificadas.....	84



## 1 - Introdução

Desde que há memória, a Ilha da Madeira tem sido cenário de várias aluviões. Estas catástrofes naturais aconteceram com alguma frequência na Ilha e desde o século XIX foram registadas cerca de 30 aluviões. O termo aluvião, cientificamente, tem um sentido completamente fora deste contexto, significa um depósito sedimentar, mas na Madeira ganhou outro sentido e tornou-se num regionalismo. É também usual designarem-se este tipo de eventos por cheias rápidas ou enxurradas.

Estes eventos verificaram-se sempre que a Ilha esteve sob fortes chuvas. A elevada quantidade de água dá origem a fortes caudais que, nas vertentes íngremes das montanhas, ganham força e velocidade, transportando consigo uma grande quantidade de massa sólida, tornando-se assim num fluxo altamente destrutivo. Dependendo da quantidade de precipitação, poderão resultar acontecimentos mais ou menos violentos.

Diz-se que o evento mais violento aconteceu no dia 9 de Outubro de 1803. Relatos da época revelam que morreram cerca de 1000 pessoas, quase todas do Funchal, numa altura em que vivam apenas 25000 pessoas na Cidade. Mais recentemente, no dia 20 de Fevereiro de 2010, novo violento aluvião arrasou algumas cidades e localidades madeirenses. Nesse dia grandes quantidades de material sólido foram arrastadas, casas e carros foram destruídos, tendo-se contabilizado mais de 40 vítimas mortais. Foi na sequência deste acontecimento que foi solicitado um estudo às bacias hidrográficas mais afectadas, com base no qual se elaborou esta dissertação.

Objectivo deste trabalho consistiu na caracterização da bacia hidrográfica da Ribeira de São João, na Ilha da Madeira, dentro do contexto do evento de 20 de Fevereiro de 2010.

Com este trabalho tentou-se contribuir para a avaliação do sucedido a 20 de Fevereiro e na elaboração do estudo solicitado pelo Governo Regional e levado a cabo pela Universidade da Madeira, Laboratório Regional de Engenharia Civil e Instituto Superior Técnico após o evento.

Uma bacia hidrográfica está sempre associada a um curso de água e seus afluentes, ou seja, a uma rede hidrográfica. Na Ilha da Madeira esses cursos de água são denominados por ribeiras. Uma ribeira, normalmente, está associada a bacias hidrográficas pequenas. É um curso de água contínuo mas que apresenta durante quase todo o ano caudais pouco elevados.

Estas bacias hidrográficas possuem profundos vales formados pela erosão das águas das chuvas que, ao fluírem até à foz, formam declives nos terrenos. Podem definir-se por toda a área em que há captação e drenagem de água proveniente da precipitação atmosférica em direcção ao curso de água principal até ao Mar, Lago ou Oceano. Neste caso, a bacia em estudo é a bacia hidrográfica da Ribeira de São João.

Grande parte deste trabalho baseou-se no levantamento de dados recolhidos em visitas de campo, em fotografias, vídeos e em testemunhos oculares das enxurradas de 20 de Fevereiro. Esses dados possibilitaram estimar valores, tais como caudal, velocidade de escoamento e volume de sólidos depositados nas margens e leito da Ribeira durante o referido dia.

No 2º capítulo deste trabalho é feita uma caracterização geral da Ilha da Madeira. São abordados temas como a formação da ilha, geologia, geomorfologia, clima, hidrologia e hidrogeologia, solos e coberto vegetal. Estes assuntos vêm no encontro do tema deste trabalho devido à importância de se perceber em que meio se encontra a bacia hidrográfica em estudo e que características tem a ilha em que está situada. As características geológicas, climatéricas e físicas da ilha são factores que podem ajudar a perceber-se como a bacia hidrográfica se formou e como se poderá comportar.

O 3º capítulo descreve uma série de aluviões que ocorreram na ilha desde o século XIX, destacando-se naturalmente, o ocorrido a 20 de Fevereiro de 2010. Este capítulo tem como primeiro objectivo lembrar que este tipo de acontecimentos não é isolado e também descrevê-los num ponto de vista social.

O capítulo 4 trata algumas das características vistas no capítulo 2, mais em pormenor na bacia hidrográfica de São João. Neste capítulo, fez-se igualmente a caracterização morfométrica da bacia de maneira a se obter a sua delimitação e posteriormente valores de características físicas, como: área da bacia, perímetro, índice de compactidade de Gravelius, índice de alongamento, ordem dos cursos de água, densidade de drenagem, entre outros.

No 5º capítulo descreveu-se o trabalho efectuado no âmbito do *Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira*, onde fez-se uma caracterização geométrica do corredor fluvial do curso de água principal da ribeira. Avaliou-se e quantificou-se o caudal ocorrido e o material sólido depositado ao longo da bacia. Identificaram-se as áreas inundadas e as infra-estruturas danificadas pela aluvião. Relatou-se o sucedido nalgumas das zonas/secções mais críticas durante o evento e identificaram-se as secções por onde houve transbordo de caudal líquido e sólido.

## 2 - Caracterização da Ilha da Madeira

Neste capítulo fez-se uma sucinta abordagem a alguns factores biofísicos da Ilha da Madeira. Pretende-se dar a conhecer alguns aspectos que possam ser posteriormente relacionados com outros pontos que serão estudados na bacia hidrográfica da Ribeira de São João.

### 2.1. Descrição geral e Localização

A Ilha da Madeira é a principal ilha do Arquipélago da Madeira, do qual faz parte também a Ilha do Porto Santo, as Ilhas Desertas e as Ilhas Selvagens. Situa-se no Oceano Atlântico a cerca de 500 milhas de Portugal Continental, entre a latitude de 32° 37' 52" N e 32° 52' 08" N, e a longitude de 16° 39' 19" W e 17° 15' 54" W (ver figura 1). Tem uma área com cerca de 742 km<sup>2</sup>, um comprimento de 58 km e uma largura de 23 km aproximadamente. Os pontos mais altos da Ilha são os Picos Ruivo e do Arieiro com 1.862 m e 1.818 m de altitude respectivamente. É uma Ilha com um relevo muito acentuado. A vertente Norte tem um litoral escarpado, a vertente Sul caracteriza-se por um litoral mais suavizado com alguma deposição de sedimentos transportados pelas Ribeiras (PRAM, 2002).



Figura 1: Enquadramento Geográfica do Arquipélago da Madeira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Foto retirada de [http://www.gobiernodecanarias.org/cmayer/interreg/indice/observatorio\\_macaronesia/pt/macaronesia/ma/madeira.html](http://www.gobiernodecanarias.org/cmayer/interreg/indice/observatorio_macaronesia/pt/macaronesia/ma/madeira.html) a 02/08/2010

## 2.2. Geologia

A formação da ilha da Madeira teve início no período Miocénico, sendo que ainda houve alguma actividade vulcânica no Quaternário (6 a 7000 anos, Geldmacher *et al.*, 2000). Resultante de magmatismo oceânico intraplaca, também designado por “hot-spot”, a ilha cresceu pela acumulação de materiais vulcânicos, quer explosivos, quer efusivos, que acabaram por emergir (há mais de 5,57 Ma, RIBEIRO *et al.*, 2005).

Situado na placa africana, o vulcanismo no arquipélago apesar de estar adormecido não pode ser considerado como extinto.

A Madeira, tal como é hoje, surge depois de várias fazes vulcânicas diferentes que tiveram entre si períodos, tal como o que se vive hoje em dia, de inactividade. Dessas diferentes fases, três principais, fizeram com que a ilha da Madeira possua a presente estratigrafia composta por três complexos vulcânicos distintos.

Foram identificados, da base para o topo, o Complexo Vulcânico Antigo (CVA), Complexo Vulcânico Intermédio (CVI) e Complexo Vulcânico Superior (CVS).

Cada complexo é subdividido em várias unidades estratigráficas, delimitadas por inconformidades regionais, reflectindo descontinuidades na sucessão estratigráfica e estádios distintos na evolução do edifício vulcânico no que respeita a sua geometria e relação temporal.

Na porção emersa da ilha da Madeira reconheceram-se sete unidades vulcano-estratigráficas (da mais antiga para a mais recente): Unidade de Porto da Cruz (CVA1) e Unidade dos Lameiros (CVA2), no Complexo Vulcânico Antigo; Unidade da Encumeada (CVI1), Unidade da Penha d'Águia (CVI2) e Unidade do Curral das Freiras (CVI3) no Complexo Vulcânico Intermédio; Unidade dos Lombos (CVS1) e Unidade do Funchal (CVS2), no complexo Vulcânico Superior. Para além destas, identificaram-se depósitos recentes não vulcânicos, tais como, depósitos de movimentos de massa, leques aluviais, aluviões e terraços fluviais, areias e cascalheiras de praia, areias eólicas, depósitos de vertente, entre outros. (Brum da Silveira *et al.*, 2008).

### 2.3. Geomorfologia

Com aproximadamente 153 km de costa, a Madeira tem um litoral formado em grande parte por arribas ou escarpas, principalmente na vertente Norte por estar sob uma acção erosiva superior à da vertente Sul. A ilha praticamente não tem costas baixas sendo o anfiteatro do Funchal, a baía de Machico e as embocadas das ribeiras mais caudalosas, excepções a essa regra. O Norte da Ilha por estar exposto a uma forte acção abrasiva do mar, a velocidade de recuo das arribas normalmente ultrapassa a velocidade de erosão, formação e nivelamento das ribeiras. Deste fenómeno também resulta que algumas ribeiras terminem abruptamente a vários metros de altura, formando cascatas que caem em direcção ao mar, como demonstra a figura 2.



Figura 2: Cascata “Véu da Noiva”<sup>2</sup>

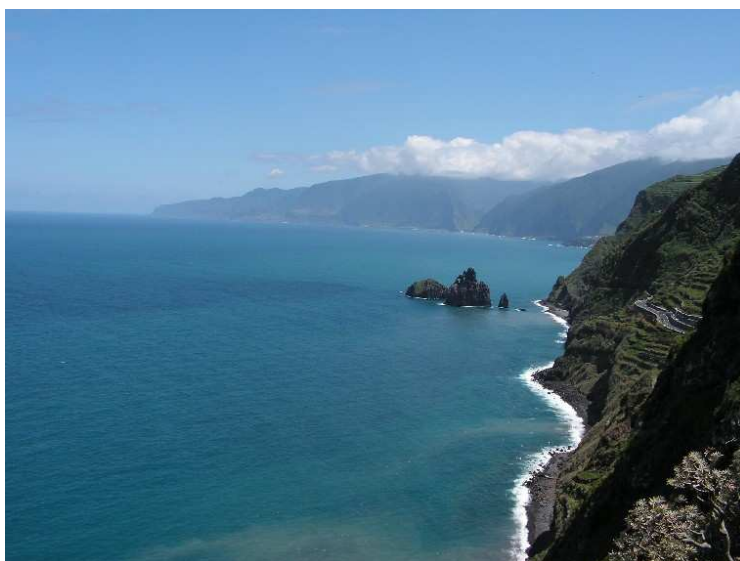


Figura 3: Costa Norte da Ilha<sup>3</sup>

Quando há desmoronamentos nas arribas de grandes dimensões, podem-se formar fajãs tal como a da figura 4. O mar vai erodindo a parte inferior da arriba até que a parte que fica sem sustento acaba por ruir, formando um terreno plano que penetra o mar. Curiosamente é na vertente Sul que está situada a mais alta arriba da ilha, o Cabo Girão. Ainda assim, existe uma clara dissimetria entre as vertentes.

---

<sup>2</sup> Foto retirada de <http://docasnasasasdodesejo.blogs.sapo.pt> a 09/08/2010

<sup>3</sup> Foto retirada de <http://www.acores.net/canalacores/view.php?id=162586> a 09/08/2010



Figura 4: Fajã nas Achadas da Cruz, Porto Moniz<sup>4</sup>

Morfologicamente a Madeira pode ser dividida em três complexos principais distintos, a Ponta de São Lourenço, o Maciço Vulcânico Central e o Planalto do Paul da Serra.

O complexo mais a Este, a Ponta de S. Lourenço (figura 5), é uma pequena península delgada. A sua altitude média reduzida, o seu relevo suave, a vegetação e o clima é bastante diferente da restante ilha.



Figura 5: Ponta de São Lourenço<sup>5</sup>

No Maciço Central surgem os pontos mais altos da ilha, o Pico Ruivo e o Pico do Arieiro. A partir desses picos é possível observar marcas de erosão tais como grandes vales, penhascos abruptos e bacias de recepção, onde se inclui as bacias das ribeiras que desaguam no Funchal.

---

<sup>4</sup> Foto retirada de <http://madeira-gentes-lugares.blogspot.com/2007/08/desastres-naturais-no-arquipelago-da.html> a 09/08/2010

<sup>5</sup> Foto retirada de [http://interfacelift.com/wallpaper\\_beta/details/2232/red\\_rock.html](http://interfacelift.com/wallpaper_beta/details/2232/red_rock.html) a 06/08/2010



Figura 6. Maciço Central da Ilha da Madeira<sup>6</sup>

O planalto do Paul da Serra situa-se mais a oeste da ilha a uma cota entre os 1.400 e 1.500 m. Separado do Maciço Central pelos grandes vales das Ribeiras de São Vicente e da Ribeira Brava, o Paul da Serra é o único planalto com uma área significativa na Madeira, cerca de 25 km<sup>2</sup>. Em época de intensas chuvas, o pouco declive possibilita a formação de lagoas temporárias, como a que verifica na figura 7. Estruturalmente, é a continuidade do Maciço Central, do qual se separou pelo recuo das cabeceiras das principais ribeiras (Prada, 2000).



Figura 7: Pequena lagoa formada no Paul da Serra<sup>7</sup>

As ilhas vulcânicas, categoria na qual a Madeira se inclui, raramente correspondem a um único cone, sendo formadas por um conjunto de aparelhos vulcânicos de crescimento múltiplo e variado, como sugere a sua configuração: perímetro alongado e irregular. A forma do edifício vulcânico que lhe deu origem, o clima, a natureza e modos de jazida das rochas, desempenham papéis predominantes no modelado do relevo, tal como é conhecido actualmente (Prada, 2000).

<sup>6</sup> Foto retirada de <http://www.panoramio.com/photo/8516092> a 09/08/2010

<sup>7</sup> Foto retirada de <http://www.flickr.com/photos/pixel-world/2575442500/in/photostream/lightbox/#/photos/pixel-world/2575442500/in/photostream/> a 09/08/2010

## 2.4. Relevo

A Ilha da Madeira tem, no geral, um relevo acidentado. Por toda a ilha encontram-se encostas e declives grandiosos, vales profundos e estreitos. As áreas planas são relativamente escassas.

A altitude média da Ilha da Madeira é de 646 m, valor que se pode considerar elevado. Apenas 8% da área e situa abaixo de 100 m de altitude. Salienta-se a área situada entre 200 m e 800 m de altitude, que corresponde a cerca de 51% da área da Ilha e 20% (cerca de 150 km<sup>2</sup>) se situa entre 1.000 m e 1.600 m de altitude.

O declive médio da área da Ilha da Madeira, determinado a partir do modelo digital do terreno (MDT) construído para o efeito, é de 56%, o que evidencia o relevo acentuado da Ilha. Salienta-se que cerca de 7% da área tem declive inferior a 5%, e 3% da área (cerca de 25 km<sup>2</sup>) tem declive entre 5% e 10%. As áreas com declive muito elevado, superior a 30%, abrangendo cerca de 524 km<sup>2</sup>, representam 70% da área total (PRAM, 2002).

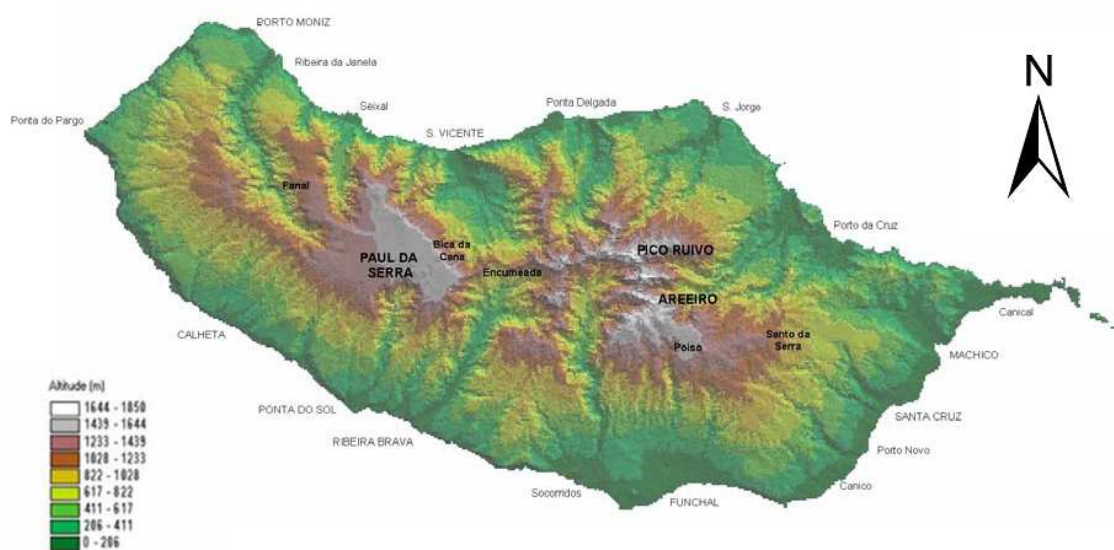


Figura 8. Relevo da Ilha da Madeira (Prada *et al.*, 2005)

## 2.5. Redes e Bacias Hidrográficas

A rede hidrográfica da Ilha da Madeira é uma rede densa e jovem. É composta por mais de 200 cursos de água e apresenta, na sua maioria uma forma radial. Tirando algumas exceções, os cursos de água principais mantêm um alinhamento rectilíneo desde a nascente até à foz.



Figura 9: Redes e Bacias Hidrográficas da Ilha da Madeira

Devido ao vigoroso relevo da ilha, os perfis longitudinais da maior parte dos cursos de água apresentam desníveis superiores a 1.200 m, com alguns casos, como por exemplo a Ribeira de Santa Luzia, a atingirem quase os 1.700 m (PRAM, 2002) e com declives médios bastante acentuados. Transversalmente apresentam leito declivoso e margens instáveis em forma de “V”. São redes propícias a regimes torrenciais e de carácter temporário. Em termos de material, os leitos são, em geral, compostos por sedimentos rochosos, onde muito raramente se pode observar deposição de sedimentos finos.

Em diversos cursos de água, podem-se observar mudanças de declive nalguns trechos, destacando-se aqueles cujas nascentes se desenvolvem na superfície planáltica e que no rebordo do mesmo descem abruptamente várias centenas de metros.

As bacias hidrográficas da Madeira são, em geral, estreitas e alongadas e com áreas relativamente pequenas. A mais extensa, que é a da Ribeira da Janela tem uma área plana aproximada de 51 km<sup>2</sup>. As bacias encontram-se em elevadas altitudes, a maior parte entre 500 e 800 m (PRAM, 2002). O quadro 1 resume este tipo de informação sobre as principais bacias hidrográficas e respectivas ribeiras da Madeira.

Quadro 1: Características gerais das principais bacias hidrográficas da Ilha da Madeira

Bacia/Curso de Água	Área da Bacia (km <sup>2</sup> )	Perímetro da Bacia (m)	Altitude Média (m)	Declive médio da Bacia (%)	Comprimento do Curso de Água Principal (m)	Declive médio do Curso de água principal (%)
Rib. Brava	41,225	31,869	755,02	74,11	13.643	11,29
Rib. da Janela	51,092	44,565	843,15	53,21	21.987	7,11
Rib. da Madalena	9,756	16,418	742,36	44,55	6.545	21,32
Rib. da Ponta do Sol	19,339	25,013	836,92	55,67	11.842	13,22
Rib. da Tabúa	8,862	16,831	684,27	62,13	7.604	19,76
Rib. de Machico	24,528	24,967	394,84	42,81	12.384	8,36
Rib. do Porto Novo	17,282	24,398	552,43	36,81	12.913	10,68
Rib. de Santa Cruz	12,854	19,308	556,42	35,71	10.329	12,33
Rib. de São Jorge	32,021	25,403	646,41	59,56	10.409	13,44
Rib. de São Vicente	37,545	27,928	746,67	76,69	10.291	15,94
Rib. do Faial	49,939	31,688	712,49	72,17	14.526	10,27
Rib. de Santa Luzia	14,442	23,109	826,57	52,01	11.490	13,50
Rib. de João Gomes	12,750	22,82	847,74	45,19	10.220	12,94
Rib. do Seixal	14,056	21,569	875,02	74,55	10.472	14,93
Rib. dos Socorridos	38,691	35,285	796,86	74,84	16.766	9,74

Fonte: Autor e PRAM, 2002

No quadro são omissos, propositadamente, os dados da Ribeira de São João, visto que essa ribeira e a respectiva bacia hidrográfica será analisada mais detalhadamente num dos próximos capítulos.

## 2.6. Clima

Segundo Ferreira (1955) o clima da Madeira é condicionado, principalmente pela intensidade e localização do anticiclone subtropical dos Açores que segundo o mesmo, nesta região do Atlântico, transporta massas de ar tropical marítimo subsidente, especialmente na parte oriental onde os fenómenos de subsidência são frequentes e intensos, onde ocorrem os ventos de Nordeste (Alísios) na baixa troposfera, predominando durante todo o ano.

O facto de o relevo estar orientado perpendicularmente à direcção predominante do vento resulta que a temperatura do ar e a quantidade de precipitação possam variar em cotas iguais, dependendo de que encosta está exposta aos ventos dominantes.

De acordo com Machado (1984) a influência do anticiclone subtropical dos Açores não é factor determinante. Esta fonte considera que de entre vários factores destacam-se a advecção de ar polar ou tropical, com trajecto marítimo e a passagem de superfícies frontais provenientes de Oeste.

Os anticiclones continentais do noroeste de África e da Europa Ocidental e os centros de baixa pressão de origem térmica que se formam, respectivamente, a partir de meados da Primavera e se prologam pelo Verão e Inverno, são também factores a evidenciar.

A temperatura média anual do ar, apresentada no mapa da figura 10, varia entre 19,3 °C no lugar de Baixo e 9,0 °C nas regiões altas do interior da ilha, podendo ocorrer temperaturas negativas e queda de neve embora sejam fenómenos pouco frequentes e de pouca duração.

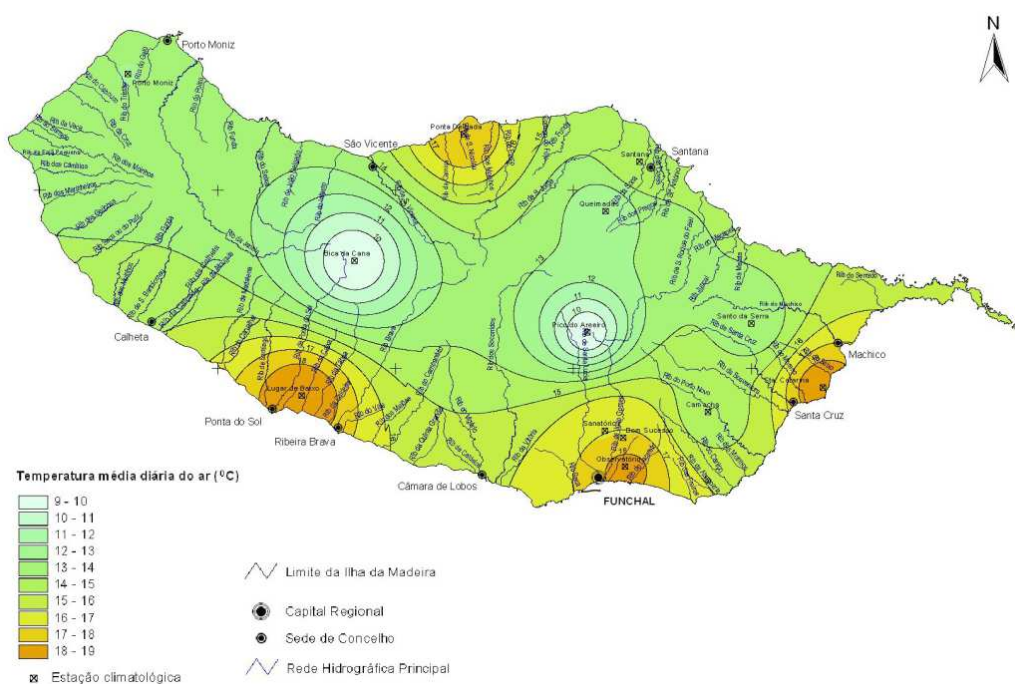


Figura 10: Temperatura média do ar (PRAM, 2002)

O valor mais elevado de insolação na Ilha da Madeira é atingido no Funchal, com uma média anual de 2.294 horas de exposição solar.

A precipitação na Madeira apresenta uma grande variabilidade entre a vertente Norte, os locais mais elevados e a vertente Sul (ver figura 11). Os valores médios anuais aumentam com a altitude e são superiores a norte. Os meses de Outono e Inverno são os mais chuvosos. Em Janeiro, nos locais mais elevados, a precipitação ronda os 500 mm e na vertente Sul os 100 mm. A Norte, em Porto Moniz e Ponta Delgada é da ordem de 200 mm em Janeiro. Em termos de valores médios anuais, a precipitação varia entre um mínimo de 513 mm/ano na zona do Funchal e um máximo de 2.966,5 mm/ano aos 1.560 metros de altitude, na Bica da Cana (PRAM, 2002).

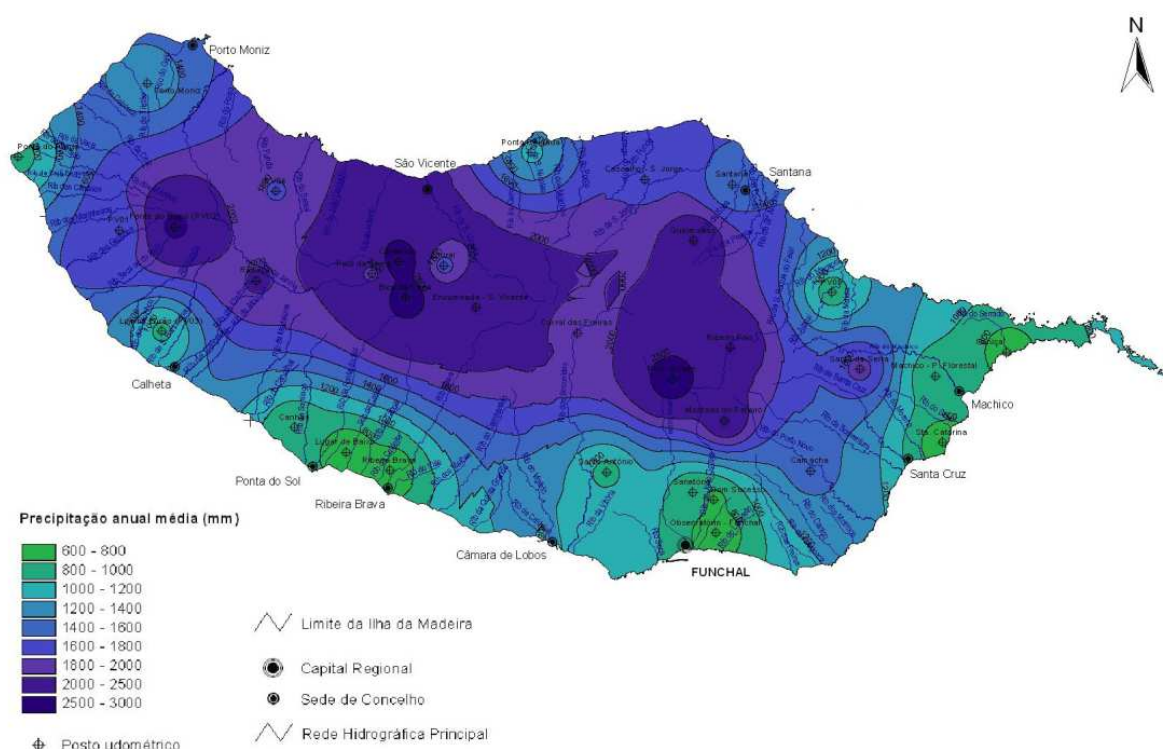


Figura 11: Precipitação média anual (PRAM, 2002)

Na Madeira predominam os ventos de nordeste, ocorrem de 56 a 58% das vezes, de Abril a Setembro enquanto os ventos de Oeste ocorrem entre 20 e 22%. Estes ventos estão normalmente associados à precipitação. O vento de norte é extremamente tempestuoso e pode provocar queda de neve nas terras altas. Sopra essencialmente no Inverno com uma probabilidade de ocorrência de 10 a 12%. Menos frequente é o vento de Sul e de Leste. Durante a sua ocorrência, as temperaturas podem subir acima dos 30 °C, principalmente nas terras altas (Prada, 2000). É o, habitualmente designado, tempo de “Leste”.

Quanto à humidade, raramente excede 75% nos meses mais frios, excepto em Porto Moniz e Arieiro onde a humidade média anual pode atingir 85%. Em Porto Moniz, de

Março a Setembro pode chegar mesmo quase aos 90% em Junho às 9 horas, hora a que se considera o valor representativo da humidade média diária.

A formação de nuvens e nevoeiros orográficos nas montanhas madeirenses faz com que a nebulosidade seja superior sobre a ilha em si do que no mar. Esta nebulosidade forma-se quando o ar húmido transportado pelos ventos dominantes de nordeste (perpendiculares à barreira montanhosa) é obrigado a subir ao longo da encosta. Ao encontrar-se com pressão atmosférica e temperaturas mais baixas, o ar arrefece drasticamente e condensa-se em pequenas partículas que ficam suspensas na atmosfera. Este fenómeno acontece regularmente no Pico do Areeiro e na vertente Norte da ilha, sendo que na vertente Sul também ocorre mas com menor frequência e com formação de nevoeiros menos densos. A paisagem, que chamamos por cá de “mar de nuvens” (figura 12) e que por vezes é possível avistar nas zonas de maior altitude, é a constatação deste facto.

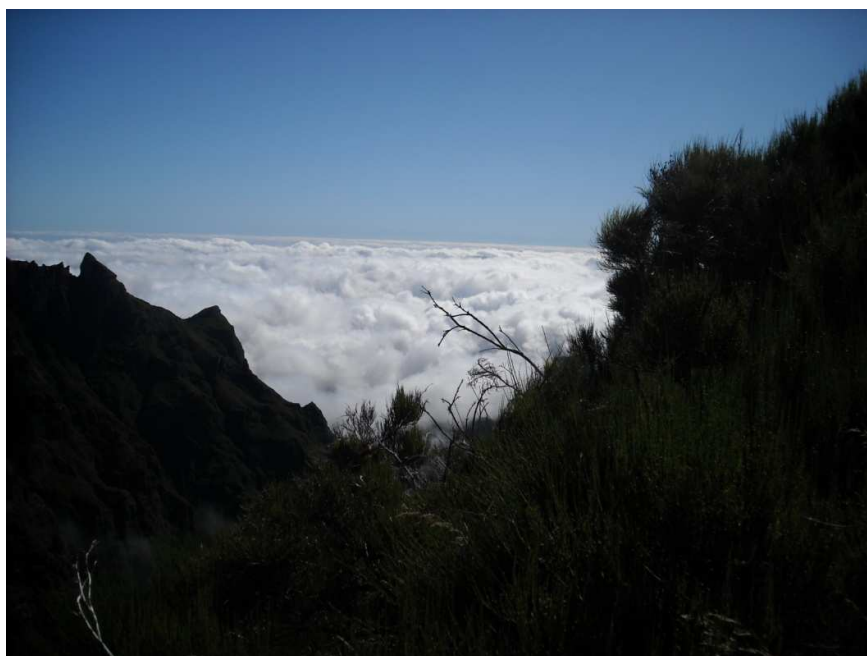


Figura 12: “Mar de nuvens”. Vista do Pico do Areeiro<sup>8</sup>

A escassez de estações climatológicas em algumas áreas, como no sector ocidental da ilha, limita a análise climática especialmente numa zona onde se verificam os maiores gradientes das variáveis em estudo. Ainda assim, tem havido um esforço dos órgãos responsáveis em suprir estas lacunas de informação.

Em suma, na Ilha da Madeira identifica-se uma grande diferenciação entre as áreas mais elevadas e expostas a Norte, mais frias e chuvosas, e as áreas de baixa altitude da vertente Sul. Nestas, realça-se a diferenciação entre o sector ocidental, mais húmido e o

---

<sup>8</sup> Foto retirada de <http://filipafernandes.files.wordpress.com/2009/09/dscn1338.jpg> a 10/08/2010

sector sudeste da região do Funchal e Santa Catarina de características marcadamente semi-áridas, que se estendem até à Ponta de S. Lourenço.

O mapa da figura 13 demonstra as diferentes classificações climáticas na Ilha da Madeira.

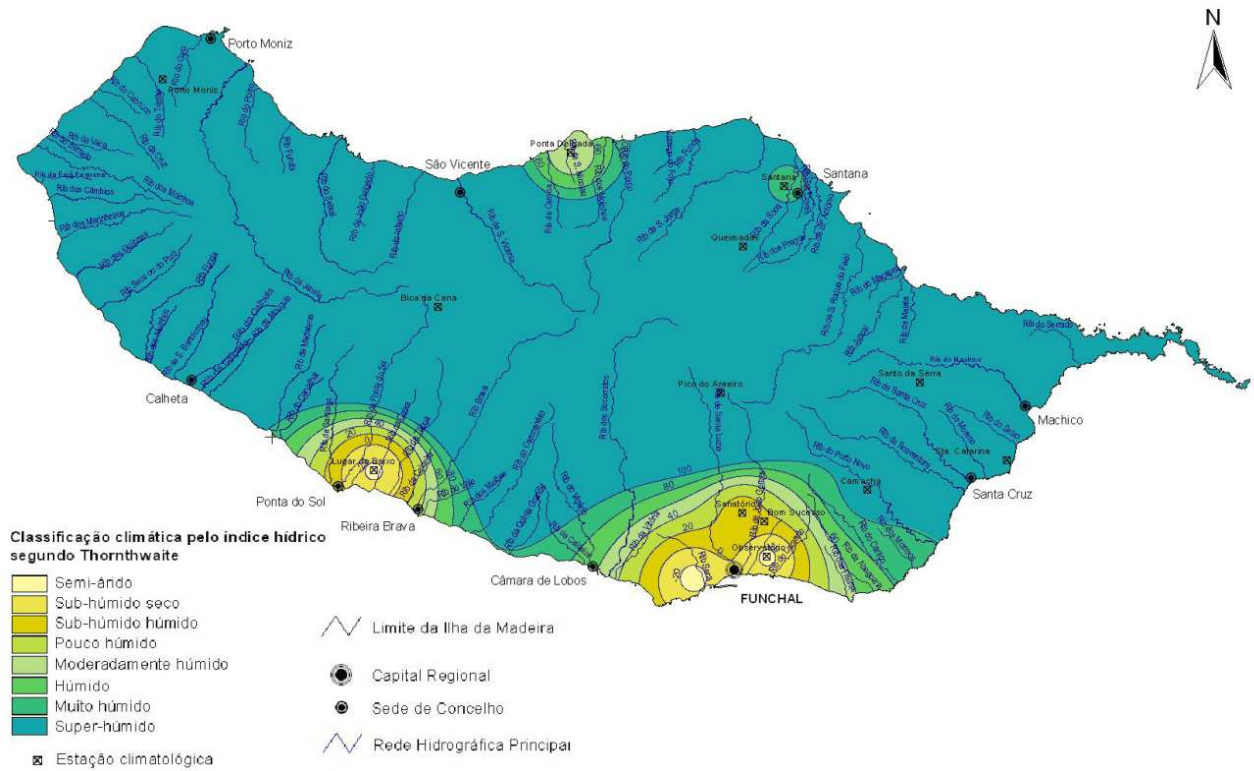


Figura 13: Classificação climática (PRAM, 2002)

## 2.7. Hidrologia e Hidrogeologia

A actividade hidrológica é uma consequência da precipitação. Esta actividade pode ser dividida em dois ramos, o escoamento à superfície e o escoamento subterrâneo e hipodérmico. Da soma destes dois tipos de escoamento resulta o escoamento superficial potencial total.

O escoamento superficial potencial total na Ilha da Madeira aumenta muito significativamente com a altitude, ocorrendo os menores escoamentos juntos à costa. A distribuição espacial das isolinhas do escoamento anual médio, é mais uniforme na vertente Norte, onde a produtividade é nitidamente maior mas mesmo assim as contribuições, em termos de recursos hídricos, das vertentes Norte e Sul são muito próximas. Porque a vertente Sul é mais extensa, cerca de 56% da área da ilha, existe um reequilíbrio nos valores (PRAM, 2002).

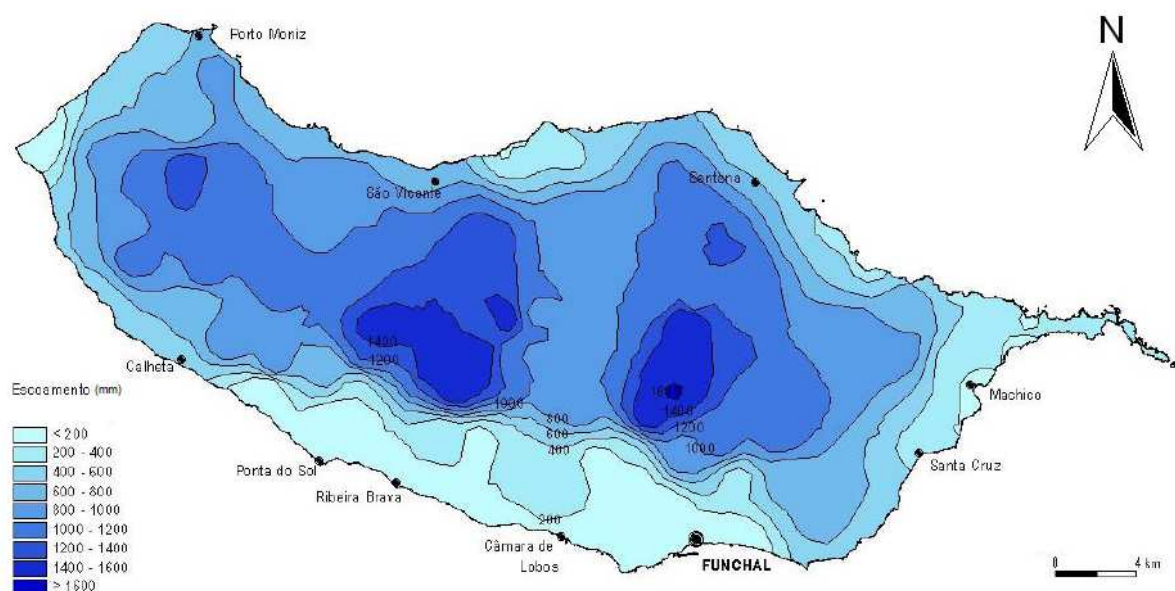


Figura 14: Isolinhas anuais médias do escoamento superficial potencial total (Prada *et al.*, 2005)

O fluxo subterrâneo é originado, principalmente pelas infiltrações que ocorrem nas zonas planálticas da ilha, como no Paul da Serra ou Santo da Serra. Estas zonas são mais permeáveis pois apresentam escoadas basálticas recentes e fracturadas.

A idade, constituição geológica e grau de alteração das diferentes camadas que constituem as unidades geológicas da ilha, são factores que afectam o comportamento do sistema de água subterrânea. Pode ser dividido, com base no modelo hidrogeológico apresentado na figura 15, proposto por Prada *et al.*, (2005) em aquífero de base e aquíferos suspensos.

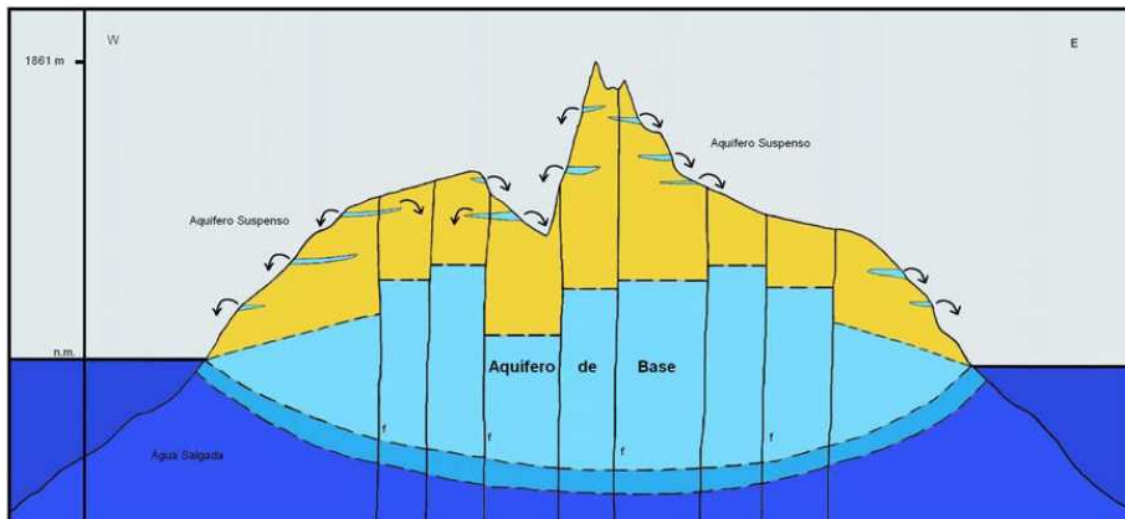


Figura 15: Modelo Hidrológico para a Ilha da Madeira (Prada *et al.*, 2005)

Os aquíferos suspensos situam-se em altitude. Formam-se quando a água infiltrada encontra um nível impermeável e é impedida de continuar a percolação descendente. Mais tarde poderá continuar a percolação em direcção a outro aquífero suspenso ou formar uma nascente, se interceptar a superfície topográfica, drenando para o exterior.

Na Madeira, a partir de uma certa profundidade existe um nível de saturação geral, o aquífero de base. Segundo o modelo, apresenta-se em partições devido às heterogeneidades e descontinuidades que caracterizam formação vulcânica local. Nestas partições contíguas do aquífero podem verificar-se níveis piezométricos diferentes.

## 2.8. Classificação dos Solos

Os solos existentes na Ilha da Madeira são, sobretudo, solos argilosos ou areno-argilosos, ácidos, de uma forma geral ricos em matéria orgânica, magnésio, ferro, alumínio, medianamente dotados de azoto e fósforo, pobres em potássio e muito pobres em cálcio. Nas zonas de cultura da banana os teores em fósforo e potássio tornam-se elevados devido a adubações excessivas. (PRAM, 2002)

Segundo a Carta dos Solos da Ilha da Madeira, a classificação dos solos da ilha constitui um problema de certo modo complexo, pois o uso da terra pelo homem tem sido tão intenso que faltam perfis integralmente virgens. O homem tem sido um protagonista activo na formação e evolução dos solos através da sua intervenção no próprio perfil pedológico, verificada sobretudo nos solos ocupados pelas diversas culturas agrícolas.

O critério seguido distingue-se por caracterizar o solo logo desde a cúpula na base dos pédones naturais e assim encará-los como fases antrópicas das unidades definidas.

Com base na Carta do Solos da Ilha da Madeira, publicada em 1992, os solos na Madeira distribuem-se por 15 unidades-solo, às quais correspondem 8 grupos principais de solos: Fluvisolos, Leptosolos, Arenossolos, Andossolos, Vertissolos, Cambissolos, Calcissolos e Faeozemes.

O ordenamento taxonómico respectivo é o seguinte.

- Fluvisols (FL)
  - Eutric Fluvisols (FLe)
  - Dystric Fluvisols (FLd)
  
- Leptosols (LP)
  
- Arenosols (AR)
  - Calcaric Arenosols (ARc)
  
- Andosols (AN)
  - Haplic Andosols (ANh)
  - Mollic Andosols (ANm)
  - Umbric Andosols (ANu)
  - Vitric Andosols (ANz)
  
- Vertisols
  - Eutric Vertisols
  
- Cambisols (VR)
  - Eutric Cambisols (CMe)

Dystric Cambisols (CMd)  
Humic Cambisols (CMu)  
Chromic Cambisols (CMx)  
Vertic Cambisols (CMv)

- Calcisols (CL)  
Haplic Calcisols (CMv)
- Phaeozems (PH)  
Haplic Phaeozems (PHh)

Os solos mais representativos são os Andossolos com aproximadamente 308 km<sup>2</sup>, cerca de 42% da área total, distribuindo-se por toda a ilha, com excepção da zona central que é predominantemente ocupada pelas escarpas. Os terrenos acidentados vêm logo a seguir aos Andossolos com 282,2 km<sup>2</sup> de área ocupada.

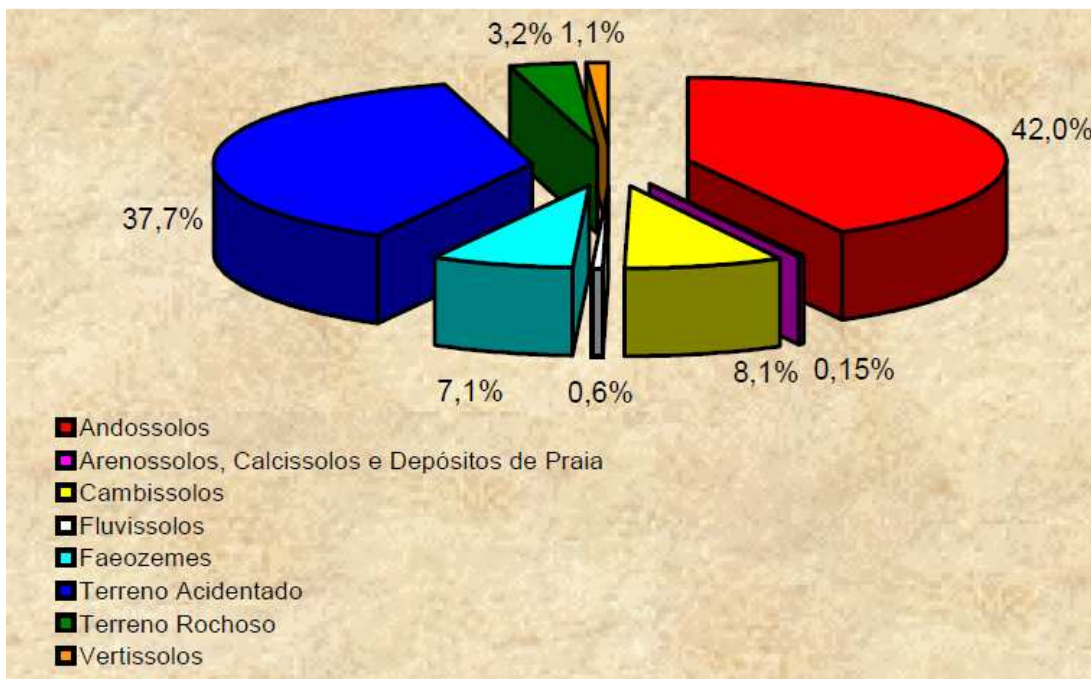


Figura 16: Representatividade dos Solos na Ilha da Madeira (PRAM, 2002)

## 2.9. Uso do Solo e Coberto Vegetal

Os solos da Ilha da Madeira são ocupados pelos seguintes grupos principais: os espaços naturais, as superfícies agrícolas e florestais e as áreas sociais. O mapa da figura 17 apresenta as diferentes ocupações do solo da Madeira. Mais de metade da ilha é ocupada pela superfície florestal, seguindo-se os espaços naturais em cerca de um quarto do seu território e a área agrícola na ordem dos 18% (PRAM, 2002).

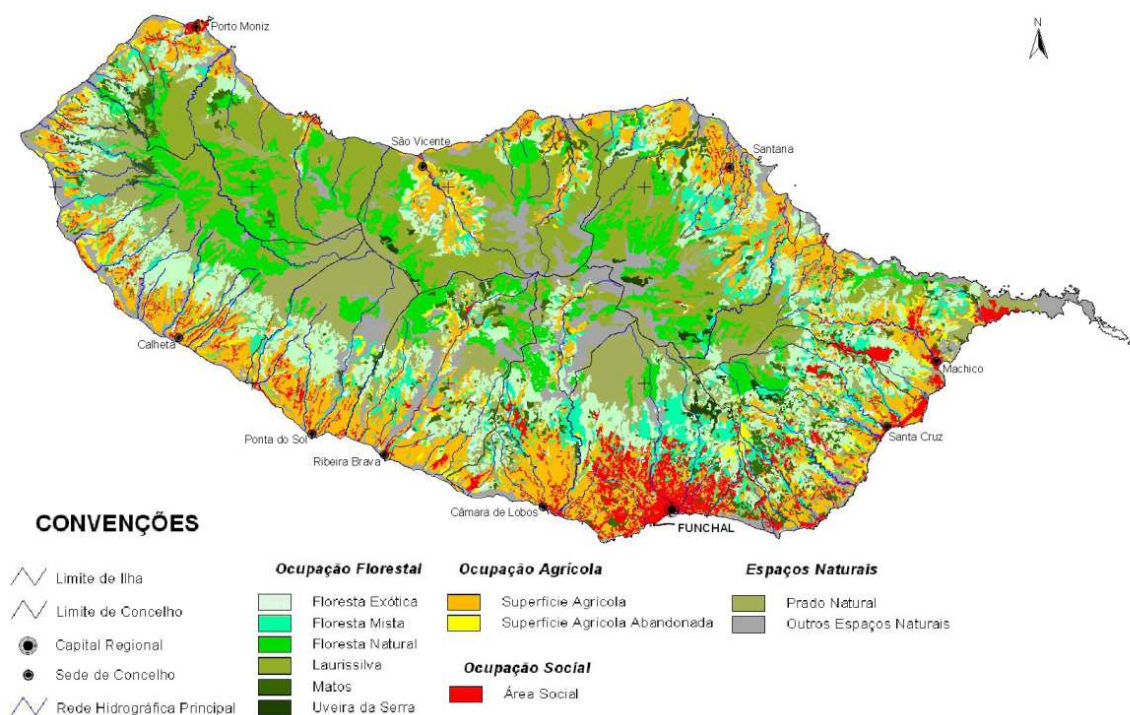


Figura 17: Usos e ocupação do solo da Ilha da Madeira (PRAM, 2002)

De maneira a salvaguardar o património biológico e paisagístico da região foram criados o Parque Natural da Madeira e quatro reservas Naturais. Dois nas Ilhas Desertas e Selvagens e outros dois na Madeira, a reserva da Rocha do Navio e a Reserva do Garajau.

A superfície florestal é uma área ocupada por povoamentos florestais de espécies indígenas e/ou exóticas e ainda áreas de matos. A floresta exótica é constituída por espécies introduzidas na Madeira, que surgiram para fazer face a necessidades de reflorestação. Encontra-se na principalmente na encosta Sul da ilha.

A floresta da Madeira compreende vários andares de vegetação, composta por uma vegetação xerófila junto ao litoral, designada por Zambujal, por uma floresta de transição, em que se misturam espécies de Laurissilva com as do litoral (*Laurissilva do Barbusano*), seguindo-se as outras "laurissilvas" que constituem outras florestas, conforme a espécie mais abundante, que são designadas por *Laurissilva do Vinhático* e

*Laurissilva do Til*. A "*Vegetação de Altitude*" é classificada de "*Urzal de Altitude*", por ser a urze a espécie dominante.

A superfície agrícola é, no fundo, as terras utilizadas pela actividade agrícola. Inclui as culturas temporárias, culturas permanentes, outros aproveitamentos directamente ligados à actividade agrícola e os terrenos ocupados pelas construções agrícolas e espaços anexos.

Os terrenos não cultivados, sem vegetação ou cobertos por vegetação herbácea são os denominados espaços naturais. Incluem ainda outros espaços com afloramentos rochosos, praias, entre outros.

As áreas sociais são as áreas ocupadas pelos edifícios e respectivas estruturas associadas. Alguns desses espaços podem ser não edificados. Incluem também outras áreas sem edificações mas cujas perspectivas de urbanização as situa fora do espaço rural e ainda os jardins e espaços verdes.

### **3 - Aluviões na Ilha da Madeira**

#### **3.1. O significado de uma Aluvião como regionalismo madeirense.**

Na Ilha da Madeira, manifestações episódicas de situações meteorológicas extremas, materializadas por precipitações copiosas e concentradas, conduzem a uma ruptura de equilíbrio do meio, promovendo um aumento brusco do caudal das ribeiras, cujas consequências, pelas proporções que assumem, constituem eventos catastróficos denominados regionalmente por aluviões (Maciel, 2000).

Cientificamente, aluvião corresponde a um depósito sedimentar formado pelos materiais sólidos transportados pelos cursos de água. No entanto na Ilha da Madeira assume um significado mais vasto. Quintal, 1999 definiu-a como:

“Árvores, blocos rochosos, terrenos agrícolas, tudo é arrancado e transportado pelas águas em correria louca vale abaixo até o mar. Eis que o leito da ribeira se estreita ou um qualquer obstáculo se interpõe no caminho: a água abandona velozmente a secção que lhe tinham destinado e invade as casas, rouba-lhes os habitantes. É a morte, a tragédia. Mais uma aluvião.”

A dimensão deste tipo de catástrofes naturais deve-se fundamentalmente à intervenção irracional do Homem. A violência dos elementos naturais é muitas vezes fomentada pela ausência de uma gestão ponderada do espaço, o que se traduz num acréscimo do risco por incremento da vulnerabilidade.

## 3.2. Histórico de Aluviões na Madeira desde o Século XIX

Este subcapítulo vem realçar o facto de que, na Ilha da Madeira, tem-se vindo a registar, ao longo do tempo, uma série de catástrofes naturais relacionadas a cheias ou aluviões, num espaço de tempo não muito distante. Tem também a intenção de afastar a ideia de que o evento de 20 de Fevereiro tenha sido um acontecimento isolado.

Desde o princípio do século XIX até à actualidade ocorreram na Ilha da Madeira cerca de 30 aluviões. Neste número, incluem-se os eventos que registaram mortos ou, pelo menos, destruição significativa de habitações, armazéns, estradas e terrenos agrícolas.

**9 de Outubro de 1803** - Na noite de 9 de Outubro de 1803 a Madeira sofreu a maior tragédia da sua história. As torrentes mortíferas deixaram marcas em toda a ilha, mas com maior intensidade no Funchal, Machico e Santa Cruz.

Numa carta escrita a D. Juan Estevan Fernandes, uma testemunha descreveu o acontecimento da seguinte forma.

“Principiou a chover pelas dez horas da manhã moderadamente, continuou até às 8 da noite indo sempre a mais mas não sendo coisa que assustasse, e das 8 até às 8 e meia de repente cresceram as ribeiras de forma que não cabendo as águas por dentro das suas muralhas por causa das muitas e grandes árvores e disformes penedos que traziam arruinaram as muralhas pelos alicerces.

As pontes de São Paulo, Rua dos Ferreiros, da Praça e de Nossa Senhora do Calhau, foram abaixo. A Rua dos Tanoeiros, ponte da Rua Direita e perto de Nossa Senhora do Calhau e juntamente a Igreja, Cabouqueira e Valverde, foi tudo arrasado e imensidade de povo morreu; são mais de mil os infelizes que pereceram, isto não é exagerado, pois eu creio que será muito mais, porque famílias inteiras desapareceram” (Diário de Notícias da Madeira, 9/10/1917).

Na sequência deste evento, o brigadeiro Reinaldo Oudinot foi enviado para a Madeira com o intuito de orientar a construção e reparação das muralhas das três ribeiras do Funchal.

Estas obras que visavam reduzir o impacto de futuras aluviões não impediram que as águas voltassem a invadir as ruas do Funchal em Outubro de 1815 (Quintal, 1999).

**30 de Outubro de 1815** - No centro do Funchal e na Rua de Santa Maria as lojas foram inundadas e sofreram enormes prejuízos. A agricultura foi arrasada em muitos locais e registaram-se dois mortos no Estreito de Câmara de Lobos (Quintal, 1999).

**24 de Outubro de 1842** - Grande parte do Funchal foi inundado, muitas casas ficaram em ruínas (Quintal, 1999).

**17 a 20 de Novembro de 1848** - No Funchal as ribeiras correram com violência, mas não saltaram as muralhas. Muitos campos agrícolas foram destruídos no concelho de Santana, onde houve perdas de vidas humanas.

Numa carta dirigida ao ministério do reino foi escrito: “Não foi igual a sua força em todos os pontos da ilha; mas em muitas freguesias, segundo as informações recebidas, correu com violência pelos vales maior volume de água do que no horroroso dia 24 de Outubro de 1842” (Uma Época Administrativa da Madeira e Porto Santo, Sérvulo Drummond de Meneses e António Jacinto de Freitas, Funchal, 1850, citado por Quintal, 1999).

**5 e 6 de Janeiro de 1856** – Na tarde de 5 de Janeiro chuvas copiosas caem sobre o Funchal. A forte corrente das ribeiras traz das montanhas volumosos penedos até à capital.

“Das dez para as onze horas da noite a ribeira denominada de João Gomes, consideravelmente entulhada, principiou a extrabordar junto à ponte da Praça Académica.

À meia-noite a corrente havia levado os mainéis desta ponte, tornando-a intransitável.

Momentos depois já ela, completamente aterrada, era leito da ribeira, que se dividia, em torrentes, para os lados e para o mar.

Da uma para as duas horas da madrugada diminuíram as chuvas, e a sobredita ribeira entrou de enfraquecer.

Das três para as quatro horas, porém, tornaram a cair copiosas chuvas; a ribeira de João Gomes, a que me tenho referido, tomando de novo grosso volume de água, saiu do leito, em caudalosa torrente, para a rua do Anadia, inundou todas as casas e quintais da Rua do Ribeirinho de Baixo, pondo em risco a vida dos moradores, e indo de encontro ao Forte do Pelourinho, escalou parte das muralhas, abrindo passagem para o mar.

A Ribeira de Santa Luzia ficou entulhada mas não chegou a provocar estragos. A de São João provocou danos nas imediações da capela.

Em Câmara de Lobos, Ribeira Brava, Serra de Água, Tabua, Ponta do Sol, Madalena, Paul do Mar e São Vicente houve também grandes destruições produzidas pelas águas que desceram em fúria das montanhas” (Semanaio Oficial, n. 87, 12/01/1856 citado por Quintal, 1999).

**14 e 15 de Março de 1856** – Ainda no mesmo ano, ainda os madeirenses recuperavam do trauma de 5 de Janeiro, quando novas fortes chuvas assustaram toda a povoação, principalmente aos habitantes das proximidades das ribeiras de João Gomes e Santa Luzia.

“A ribeira de João Gomes, onde já se havia feito alguns trabalhos de desentulhamento, ficou completamente obstruída, saindo mais de uma vez as águas de seu leito, inundando parte da cidade. A ribeira de Santa Luzia sofreu novamente, e até à ponte do Bom Jesus carece de ser limpa.

Na freguesia da Ribeira Brava a ribeira arruinou quase toda a muralha que defende o lugar, levou parte da muralha, destruindo o cemitério.

Nenhuma desgraça temos a lamentar” (O Clamor Publico, n. 97, 24/03/1856).

**1 de Janeiro de 1876** – A Ribeira da Madalena foi a única que provocou prejuízos importantes. Não houve perda de vidas humanas (Quintal, 1999).

**2 e 3 de Outubro de 1895** – As inundações provocaram graves prejuízos na Calheta, Ribeira Brava e São Vicente. Alguns mortos, muitas casas soterradas, estradas e pontes destruídas. As ribeiras do Funchal trouxeram muita água mas não transbordaram (Quintal, 1999).

**29 Novembro de 1901** – Inundações e desmoronamentos no Funchal e Machico (Quintal, 1999).

**25 e 26 de Fevereiro de 1920** – “Nestes dois dias fez-se sentir um violento temporal de vento e chuva que causou inúmeros prejuízos em toda a ilha. As ribeiras que atravessam a cidade, embora trouxessem muita água não chegaram a transbordar, mas houve inundações em vários sítios, devido à abundância das chuvas e aos ribeiros da Nora, do Til e dos Louros terem ficado obstruídos. No bairro de Santa Maria chegaram a andar barcos nas ruas para conduzir pessoas de uns para outros pontos, e diz-se que em toda a ilha ficaram mais de 500 pessoas sem abrigo, sendo incalculáveis os destroços causados pelo vento Noroeste no arvoredado, nos canaviais e em muitas outras culturas.

A vila da Ribeira Brava correu grande risco de ser destruída pelas águas, tendo saído a imagem de São Bento em procissão e havendo depois preces na igreja paroquial.

Em Machico, Santa Cruz, São Vicente e Camacha registaram-se importantíssimos prejuízos, morrendo uma mulher e uma criança nesta última freguesia.” (Elucidário Madeirense, 1º volume, citado por Quintal, 1999)

**5 e 6 de Março de 1921** – Choveu intensamente em toda a ilha, tendo-se verificado inundações e estragos na agricultura em Machico, Santana, Faial e São Jorge. Em Machico as águas subiram nalguns locais até quase ao primeiro andar das casas. Na Ribeira Brava morreram três crianças devido ao desmoronamento duma casa e outra criança sucumbiu arrastada pelas águas (Quintal, 1999).

**6 de Março de 1929** – A Ribeira da Vargem, em São Vicente, ficou momentaneamente obstruída por pedras e terras dum a derrocada. A represa rebentou e a água em turbilhão provocou 32 mortos no sítio da Vargem (Quintal, 1999).

**30 de Dezembro de 1939** – Na Madalena do Mar a ribeira destruiu cerca de 40 casas, arrastou terrenos de cultura e matou 4 pessoas (Quintal, 1999).



Figura 18: Ribeira da Madalena do Mar no dia 31 de Dezembro  
Fonte: Perestrellos Photographos, Museu “Vicentes”

**14 e 15 de Outubro de 1945** – No Funchal várias ruas ficaram inundadas e os campos agrícolas foram bastante destruídos, mas foi outra vez na Madalena do Mar que as consequências do temporal de sudoeste se revelaram mais gravosas. No sítio da Banda d’Além 25 famílias, com cerca de 130 pessoas, perderam as suas modestas habitações (Quintal, 1999).

**3 de Novembro de 1956** – Machico, Santa Cruz, Água de Pena, Porto da Cruz e Santo da Serra foram as localidades atingidas pela violência das águas. Estradas, pontes e casas destruídas; terrenos de cultivo e animais arrastados para o mar; 6 mortos registados (Quintal, 1999).



Figura 19: Ponte destruída na Ribeira de Machico  
Fonte: Perestrellos Photographos, Museu “Vicentes”

**9 de Janeiro de 1970** – A ribeira Brava fez jus ao seu nome e destruiu em sete pontos a estrada entre a vila da Ribeira Brava e a freguesia da Serra de Água. O miradouro da vila desapareceu com a fúria das águas e com ele foram arrastadas para o mar duas pessoas, que nunca mais apareceram. Na Serra de Água, quatro pessoas morreram soterradas e várias casas foram destruídas (Quintal, 1999).

**21 de Setembro de 1972** – Pelas 4 da manhã, o caudal da ribeira de São João subiu repentinamente e estendeu-se muito para além do leito de estiagem, no sítio da Ribeira Grande, por baixo do campo de futebol do Marítimo. As águas arrastaram grandes blocos rochosos e destruíram parte dum bairro de lata que ali existia. Morreram 3 pessoas (Quintal, 1999).

**20 de Dezembro de 1977** – A precipitação atingiu no Funchal 70 mm. Foram muitas as derrocadas nas zonas altas do Funchal, tendo uma provocado a morte de uma criança no sítio do Tanque, freguesia do Monte.

No Jardim da Serra uma “quebrada” obstruiu um ribeiro, que saiu do seu leito habitual e matou três mulheres.

Quarenta e cinco pessoas ficaram desalojadas em consequência das chuvas torrenciais (Quintal, 1999).

**20 a 24 de Janeiro de 1979** - Vento de Sudoeste com velocidade entre 40 e 50 km/hora, com rajadas que atingiram 70 km/hora; mar alteroso; fortes aguaceiros. Inundações, derrocadas, casas, pontes e caminhos destruídos em toda a ilha.

Várias estradas municipais e pontes foram destruídas na Ribeira Grande e Marçoços devido à subida do caudal da ribeira. Naquele sítio, uma enxurrada destruiu duas habitações e matou duas pessoas.

A freguesia do Porto da Cruz foi igualmente afectada pelas chuvas de forte intensidade. No sítio da Referta verificaram-se deslizamentos de solos e desmoronamentos de rochas, que provocaram a destruição de duas casas e a morte duma pessoa.

Na Camacha o mau tempo também causou uma vítima. Um homem de 78 anos sucumbiu entre as pedras e terras duma enxurrada que destruiu a parede traseira da sua casa.

Na zona oeste o temporal provocou muita destruição e morte. Na freguesia dos Canhas três casas foram destruídas por enxurradas, tendo, numa delas, falecido duas crianças.

A ribeira da Calheta invadiu a vila e deixou bastante danificada a rua principal.

No sítio das Faias, uma avalanche de lamas e rochas soterrou uma residência e matou um casal.

O flagelo do mau tempo também atingiu o norte da ilha. Na Fajã do Penedo, Boaventura, na tarde do dia 23, um grande desmoronamento de terras, soterrou um automóvel e tirou a vida a 6 pessoas.

No balanço dos 5 dias de temporal ficaram registados 14 óbitos (Quintal, 1999).

**1 e 2 de Março de 1984** – O Diário de Notícias da Madeira de 3 de Março refere que “desde há três dias que a Madeira está assolada pelo mau tempo” (...) pois, uma depressão centrada sensivelmente a este” da ilha tem provocado a “elevação dos valores de precipitação, ventos fortes do quadrante sul e mar grosso ou alterado”.

As ribeiras de São João, dos Socorridos e do Faial foram as principais responsáveis pela destruição da Madeira (Maciel, 2000).

**27 de Setembro de 1989** – A precipitação no Funchal foi de 97,7 mm; 34,4 mm apenas em 60 minutos.

Inundações no Funchal, em Santa Cruz e Machico (Quintal, 1999).

**18 de Setembro de 1990** - Entre as 14h e 05m e as 14h e 45m uma chuvada (37,8 mm) acompanhada de fortes rajadas de vento e trovoadas, circunscrita à área do Funchal, lançou o pânico entre a população, causou vítimas mortais e enormes estragos (Diário de Notícias da Madeira, 90). Segundo este matutino, a água que correu pelas ruas e encheu o leito das ribeiras, foi originária de um cúmulonimbo integrado na circulação de um vale depressionário em altitude (Maciel, 2000).

**24 de Outubro de 1991** – Chuvas torrenciais, entre as 09 e as 13 horas, provocaram inundações em Machico. A ribeira subiu bastante mas não saltou as muralhas.

No Faial, Santana e Porto da Cruz também se verificaram derrocadas e inundações (Quintal, 1999).

**29 de Outubro de 1991** – Em menos de uma semana a intempérie volta a fustigar a zona leste da Madeira, provocando graves danos nos concelhos de Machico e Santa Cruz ainda não recuperados da violência das águas no passado dia 24 (Diário de Notícias, 30/10/1991, citado por Maciel, 2000).

**29 de Outubro de 1993** – Esta foi uma aluvião que ainda está na memória de quase todos os Madeirenses. A fatídica madrugada de 28 para 29 de Outubro causou cinco mortos, dois desaparecidos, vinte e sete feridos, quatrocentos e vinte e sete desalojados.

Na noite de 28 para 29 de Outubro registaram-se chuvas intensas por toda a ilha. Contudo, os efeitos catastróficos de uma precipitação anormal, caída especialmente entre as 21 horas e as 3 horas, fizeram-se sentir de forma muito mais acentuada na vertente sul da ilha, sendo o Funchal a localidade mais afectada. Uma torrente lamacenta com um enorme poder erosivo desceu desde os altos cumes das serras do Funchal, arrastando tudo o que encontravam pela frente, e varreu literalmente a baixa da cidade do Funchal (Maciel, 2000).



Figura 20: Ribeira de São João após a aluvião de 29 de Outubro de 1993  
Fonte: Agostinho Spínola, Arquivo do Diário de Notícias

**19 e 20 de Outubro de 1997** – A Madeira sofreu uma forte precipitação de 19 para 20.

Os caudais engrossaram imenso nas ribeiras dos Socorridos, São João, Santa Luzia, João Gomes e Machico, no sul, Juncal e Metade, no norte. A destruição a ponte velha dos Socorridos e a queda da ponte de acesso à Estação de Tratamento de Água dos Tornos, na ribeira de Santa Luzia, foram as consequências mais graves das cheias dessa noite.

Verificou-se também uma enorme acumulação de pedras e terras nos troços terminais das três ribeiras que atravessam a baixa do Funchal (Quintal, 1999)

**1 de Fevereiro de 1998** – Na madrugada deste dia o nível de precipitação verificada na Madeira foi considerável, tendo atingido na zona leste os 74 mm e no Funchal os 54 mm (Diário de Notícias, 02/02/98).

Calheta, Ribeira Brava, Câmara de Lobos, Funchal, Santa Cruz, Machico e Santana foram mais uma vez palco da fúria das águas que tudo arrastaram pela frente (Maciel, 2000).

**5 e 6 de Março de 2001** – Nos dias 5 e 6 do mês de Março a Madeira esteve sob a influência duma depressão que gerou chuva torrencial.

Em São Vicente uma viatura com 4 turistas alemães foi arrastada pelo caudal do ribeiro do Loural, que invadiu a nova estrada de ligação ao Funchal. Uma senhora ali residente também desapareceu com a violência das águas na confluência do ribeiro do Loural com a ribeira da Vargem, um local conhecido popularmente como o Calhauzinho (Quintal, acrescido de 2001).

### 3.3. A Aluvião de 20 de Fevereiro de 2010

Na manhã de 20 de Fevereiro verificaram-se enormes quantidades de precipitação um pouco por toda a Ilha da Madeira, principalmente na vertente Sul. A chuva encheu as ribeiras, provocou derrocadas, destruiu casas, carros e provocou dezenas de mortos e cerca de uma centena de feridos. As três ribeiras do Funchal atingiram níveis de caudal insuportáveis, transbordaram e transformaram as ruas da cidade em cursos de água (Figura 21). As ruas ficaram inundadas, nalgumas a água chegou a cerca de dois metros de altura, e casas e estabelecimentos ficaram muito danificados.



Figura 21: Ribeira de João Gomes galgando margens e invadindo ruas do Funchal<sup>9</sup>

O transbordo das ribeiras provocou também transporte de matéria sólida, trazida na corrente da ribeira, até as ruas na zona baixa da cidade. Algumas ruas ficaram completamente irreconhecíveis, com edifícios ou habitações a ficarem soterrados até ao 1º andar. Diversos parques de estacionamento foram inundados, outros ficaram completamente submersos.

O Diário de Noticias de Madeira, na edição do dia 21 de Fevereiro transcrevia o instituto de meteorologia para explicar a razão de tais precipitações. (...)O temporal de ontem deveu-se a 'um sistema frontal de forte actividade associado a uma depressão' que se deslocou a partir dos Açores. 'Os valores mais elevados de precipitação acumulada numa hora registados nas estações Funchal-Observatório e Pico do Areeiro foram respectivamente 52 mm (entre as 09:00 e as 10:00) e 58 mm (entre as 10:00 e as 11:00)', refere o instituto(...).

---

<sup>9</sup> Foto retirada de [http://entidadesciganasdaumbanda.blogspot.com/2010\\_02\\_25\\_archive.html](http://entidadesciganasdaumbanda.blogspot.com/2010_02_25_archive.html), a 22/09/2010

Na Ribeira de São João surgiram problemas devido à obstrução verificada na parte entubada do leito da ribeira. A rotunda em frente ao centro comercial Dolce Vita, que teve de ser evacuado, ameaçou ruir, quando as lajes que a formava foram levantadas. Foi por aí que muito caudal, que originou inundações, transbordou da ribeira.

Ainda na mesma ribeira, no Caminho da Ribeira Grande em Santo António, a obstrução da ribeira resultou no transbordo da mesma. A água correu pela estrada, arrastou diversos carros e foi em direcção a armazéns e outros estabelecimentos ali situados. Algumas destas infra-estruturas foram completamente dizimadas e outras como o pavilhão desportivo do C.S. Marítimo estiveram em perigo.

Para além dos estragos provocados nas margens da ribeira, nas zonas altas da bacia hidrográfica da Ribeira de São João, em Santo António e São Roque, vários deslizamentos de terra soterraram diversas habitações e estradas, provocando algumas vítimas.

Em relação à Ribeira de São João, no capítulo 5 explicou-se mais em pormenor o sucedido.

O Monte foi também uma zona bastante afectada, com várias casas inundadas e algumas parcialmente destruídas. A capela das Babosas foi completamente destruída. Além da capela, várias casas ficaram soterradas e algumas pessoas tiveram de ser retiradas pelos elementos de salvamento.

Para além do relatado e apesar de a maioria das vítimas terem sucedido na cidade do Funchal, outros concelhos da Ilha da Madeira também foram afectados. Em Santa Cruz, tal como em Câmara de Lobos registaram-se duas vítimas. No Jardim da Serra, nas Fontainhas e no Curral das Freiras verificaram-se derrocadas e deslizamentos de terra que destruíram casas e deixaram sítios isolados, entre os quais o Curral das Freiras.

Na Ribeira Brava, a devastação deixada à vista antevia uma tragédia imensa. A ribeira tomou grande parte do vale do concelho, área onde se situavam várias habitações, como ilustra a figura 22. Muitas dessas habitações foram completamente arrastadas, levando com elas também algumas pessoas. A ribeira levou também parte dos acessos à Serra de Água e a outras pequenas civilizações na Ribeira Brava.



Figura 22: Ribeira Brava durante a manhã de 20 de Fevereiro<sup>10</sup>

A freguesia da Tabua, onde também se registaram vítimas, foi igualmente massacrada. A edição do dia 22 de Fevereiro do Diário de Notícias da Madeira falava em cenário devastador:

A impressionante força da torrente, não só fez 'arrancar' a ponte acima da marginal, como também saltou das margens, fez desaparecer alguns terrenos, nomeadamente de bananeiras, 'esventrando' algumas moradias e quase soterrando outras, fortemente danificadas pelas toneladas de inertes que agora quase as 'abafam'. Também a estrada que praticamente ladeava a linha de água, nuns locais desapareceu e noutros está coberta de pedregulhos e outros detritos devido à acção da forte torrente, que arrastou diversas viaturas não poupando sequer o cemitério.

Mais a Oeste, na Ponta do Sol, Madalena do Mar, Jardim e Paul do Mar e no Concelho da Calheta também verificaram-se diversos danos, sendo que neste ultimo registaram-se duas vítimas mortais.

As primeiras notícias quanto ao número de mortos provocados pela aluvião do dia 20 de Fevereiro eram bastante contraditórias. Foi difícil encontrar números coincidentes entre os diferentes meios informativos. Ainda assim os números mais recentes apontam para um total de 45 vítimas mortais e 6 desaparecidos em toda a ilha (Diário de Notícias da Madeira, 19/07/2010).

---

<sup>10</sup> Foto retirada de <http://www.psmadeira.com/2010/03/10/imagem-do-aluviao-na-serra-de-agua/> a 22/09/2010

## **4 - Caracterização Geomorfológica da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João**

### **4.1. Introdução**

Numa bacia hidrográfica existem diversos factores que tornam cada bacia num sistema hidráulico e hidrológico distinto, consoante as suas características. Características como a área, forma, geologia, uso do solo, coberto vegetal, tipo de solo e clima (principalmente a precipitação) são factores que alteram a sensibilidade das bacias às chuvas intensas. Estes temas tratados neste capítulo, tal como em parte do 2º, contribuem para distinguir esta bacia de outras, em termos científicos.

A Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João tem uma área plana total de 14,640 km<sup>2</sup> e um perímetro aproximado de 24,207 km. Tem uma forma, no geral, alongada e estreita. Nas zonas mais altas a bacia é algo estreita mas por volta dos 800 m de altitude a bacia alarga e mantém-se mais ou menos inalterada até à entrada da zona baixa da Cidade do Funchal, onde estreita drasticamente até à foz. Esta bacia está, na sua totalidade situada no concelho do Funchal. A área de superfície da bacia engloba parte das freguesias de Santo António, São Roque, São Pedro e Sé.

Tal como toda a Ilha a bacia tem um relevo bastante acentuado e uma orografia bastante diversa. As altitudes da bacia variam entre os 0 e os 1.757 metros no Pico do Areeiro, no extremo Norte da bacia, o que origina um declive médio de 55,16%.

A Ribeira nasce no Pico do Areeiro a cerca de 1.630 m de altitude e flui para Sul em direcção ao centro do Funchal. Ao longo do seu curso até a foz, junto à marina do Funchal na freguesia da Sé, atravessa as freguesias de São Pedro e Santo António. Ainda assim a grande parte do seu percurso é feito na fronteira entre a freguesia de Santo António e São Roque.

O curso de água principal da Ribeira tem um comprimento aproximado de 11,5 km e uma altura média de 612,3 m. O curso corre praticamente em paralelo a uma linha Norte-Sul até entrar na zona mais estreita, onde curva um pouco para Sudeste e continua nessa direcção até à foz.

Estes e outros dados foram obtidos recorrendo a um software informático de SIG's, o ArcGIS. Neste capítulo tenta-se explicar como os obter e, através desses dados, analisar alguns dos factores que poderão influenciar a resposta da bacia hidrográfica.

## 4.2. Enquadramento da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João

A Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João, demarcada na figura 23, situa-se na sua totalidade no concelho do Funchal. A Oeste da área montante da bacia, situa-se o concelho de Câmara de Lobos. À direita, a Este, a bacia hidrográfica da Ribeira de Santa Luzia anuncia o fim da bacia hidrográfica da Ribeira de São João. Estas bacias encontram-se lado a lado e têm dimensões e características semelhantes. A bacia ocupa parte de quatro freguesias da Cidade do Funchal: Santo António, São Roque, São Pedro e Sé.

Dentro da Cidade do Funchal, para além das bacias mencionadas encontra-se outra bacia, também importante, a Bacia hidrográfica da Ribeira de João Gomes e outras bacias mais pequenas e menos relevantes como a bacia do Ribeiro Seco e a Bacia da Ribeira de São Gonçalo.

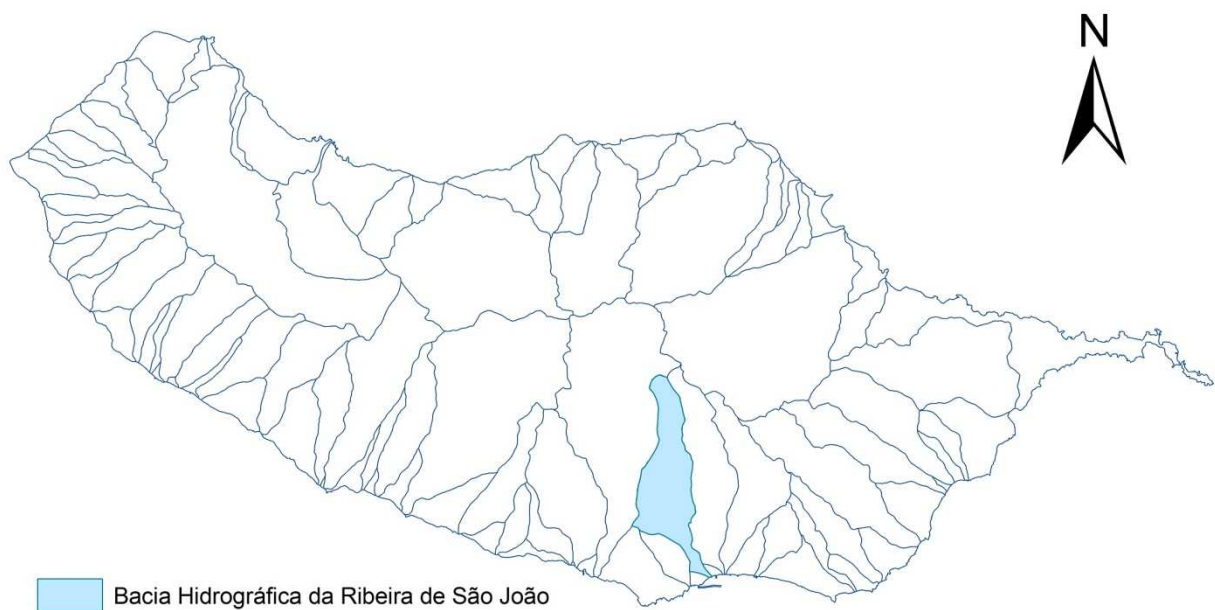


Figura 23: Localização da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João

### 4.3. Caracterização Climática da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João

Naturalmente, as condições de temperatura, de precipitação e de todos os outros factores que definem o clima no Concelho do Funchal e conseqüentemente da bacia hidrográfica da Ribeira de São João, são influenciados pelos mesmos factores já referidos a propósito do clima na Ilha da Madeira.

Para uma melhor percepção analisam-se os mapas isotérmicos e isoietas disponibilizados no Atlas Digital do Ambiente que expressam a distribuição das médias anuais de temperatura e precipitação no período compreendido entre 1960 e 1991.

O mapa seguinte representa a distribuição da temperatura média anual na Bacia Hidrográfica em estudo.

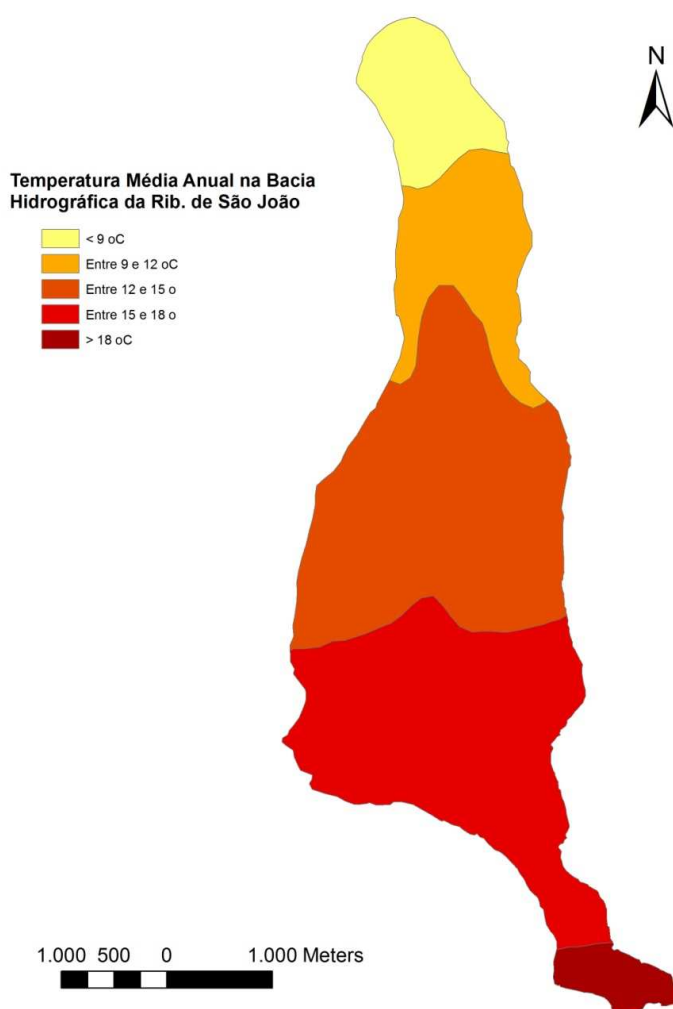


Figura 24: Mapa de Isotérmicas na Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João (Atlas Digital do Ambiente, 2002)

Tal como é característico em toda a Ilha, a zona costeira e de menor altitude é a zona mais quente, atingindo temperaturas médias superiores aos 18°C. À medida que se

afasta da costa, a temperatura desce gradualmente, sendo a principal razão para esse facto a altitude. Já próximo de um dos pontos mais altos da Ilha, o Pico do Arreeiro, as temperaturas médias chegam a ser inferiores a 9°C. As zonas de temperatura média abaixo dos 9°C são zonas praticamente despovoadas estando a maioria das construções e habitações em zonas de temperatura média superior a 15°C.

Tal como demonstra a figura 25, os valores de precipitação média têm uma maior variabilidade. Mesmo numa área relativamente pequena, a precipitação varia entre valores inferiores a 800 mm e superiores a 2.800 mm médios anuais. Os valores de precipitação mais altos, ocorrem nas zonas de maior altitude diminuindo gradualmente à medida que se desce em direcção à costa.

Se considerarmos o valor máximo médio anual e compararmos com o valor registado no dia 20 de Fevereiro no Pico do Arreeiro (58 mm numa hora) depreende-se que esse é um valor extraordinário e muito acima da média.

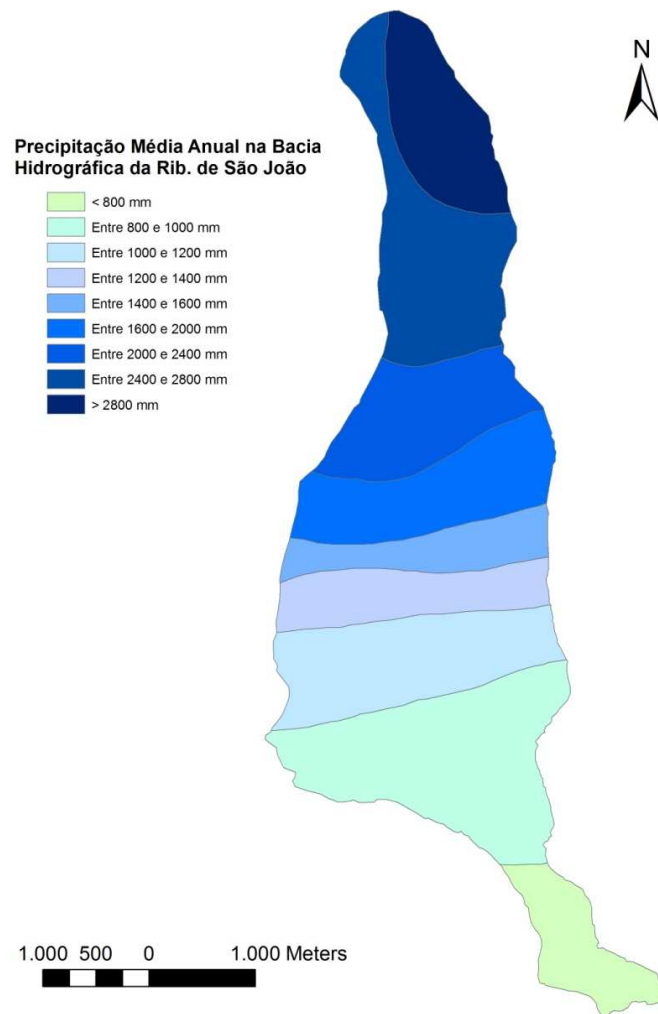


Figura 25: Mapa de Isoietas na Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João (Atlas Digital do Ambiente, 2002)

#### 4.4. Geologia e Geomorfologia da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João

A bacia hidrográfica da Ribeira de São João está talhada em duas das três principais unidades estratigráficas da Ilha da Madeira. Com base na nova Carta Geológica da Ilha Madeira apresentada na figura 26, verifica-se que a zona montante, de direcção norte-sul, aflora o Complexo Vulcânico Intermédio, unidade do Curral da Freiras (CVI3) no fundo do vale e o Complexo Vulcânico Superior, unidade dos Lombos (CVS1) nas vertentes. Na área jusante da bacia predomina o Complexo Vulcânico Superior, mas neste caso da unidade do Funchal (CVS2).

Na zona de leito da ribeira encontram-se, a cinzento, depósitos aluvionares grosseiros e numa quantidade mais reduzida, a montante, depósitos de vertente num tom de cinzento mais escuro.

Ainda na figura 26, a área demarcada a branco com pontos verdes, representa uma área de cones ou restos de cones de piroclastos. As pequenas manchas amarelas representam depósitos freato-magmáticos.

A baixa da Cidade do Funchal também é toda ela composta por depósitos aluvionares (cascalheiras).

Descrição das unidades presentes na Bacia Hidrográfica de São João de acordo com Brum da Silveira *et al.*, (2008):

- Unidade dos Lombos (CVS1): Trata-se de uma unidade composta essencialmente por escoadas lávicas intercaladas ocasionalmente por materiais piroclásticos de composição basáltica. Estes produtos afloram em toda a ilha, em posição culminante, no topo de interflúvios, desde as áreas planálticas superiores, pelas vertentes até ao litoral. No Maciço Central esta unidade é essencialmente piroclástica, intensamente cortada por filões subverticais e raras, mas importantes, soleiras.
- Unidade do Funchal (CVS2): Localmente, os produtos vulcânicos desta unidade, selam importantes depósitos sedimentares de origem fluvial e/ou gravítica. As formas vulcânicas estão, em geral bem preservadas, encontrando-se representadas por derrames lávicos com estruturas de fluência preservadas e cones de piroclastos com formas ainda bem ou medianamente conservadas. Os materiais desta unidade apresentam-se, em geral, frescos, embora localmente possam estar muito alterados e apresentar disjunção esferoidal desenvolvida. São cortados por raros filões, sempre associados aos centros eruptivos de própria unidade.
- Unidades do Curral das Freiras (CVI3): É uma unidade que engloba uma sequência de produtos de actividade predominantemente efusiva que nuns

locais é constituída por empilhamentos de derrames basálticos espessos, enquanto que noutros locais apresenta empilhamentos de numerosas escoadas finas ou materiais quase exclusivamente piroclásticos como sucede no Maciço Central. Localmente inclui produtos de actividade freato-magmática. Associados àqueles são também conhecidos tufos de cinzas traquíticas ricas em cristais de feldspato. Ocorrem igualmente concentrações de cones (como no Maciço Central), caracterizadas por predomínio de piroclastos basálticos sobre as escoadas, ou cones isolados dispersos e expostos em cortes nas vertentes dos vales. Na base da unidade ocorrem localmente volumosos preenchimentos conglomeráticos de paleovales. As abundantes intercalações sedimentares no seio do empilhamento vulcânico são frequentemente sedimentos finos, muitas vezes com faciés tuffítica.

Geomorfológicamente, a bacia hidrográfica da Ribeira de São João apresenta uma forma alongada com orientação Norte-Sul no sector montante e intermédio, e orientação Noroeste - Sudeste no sector jusante. A bacia hidrográfica apresenta, no geral, uma rede padrão de drenagem paralela. No sector montante a referida ribeira toma a designação de ribeira de Santo António. Aqui, o vale da ribeira é mais pronunciado e o fundo do vale reveste-se de uma camada de sedimentos grosseiros. Neste sector as vertentes estão cobertas por vegetação arbórea. No entanto, a cabeceira desta ribeira encontra-se completamente escalvada.

Para jusante do complexo desportivo do C.S. Marítimo a ribeira está canalizada até à desembocadura na Marina do Funchal, numa extensão de cerca de 4 km (Lopes, 2003).

Na área jusante da bacia hidrográfica, a ribeira sofre uma inflexão, orientando-se para Noroeste-Sudeste. Isto explica-se devido ao facto ribeira entrar numa zona geológica recente e mais resistente. O curso da ribeira sofre uma alteração e o alinhamento rectilíneo da ribeira, que até aqui se verificava, deixa de existir.

A ribeira do Trapiche, e a ribeira da Penteada são os afluentes mais importantes desta bacia hidrográfica.

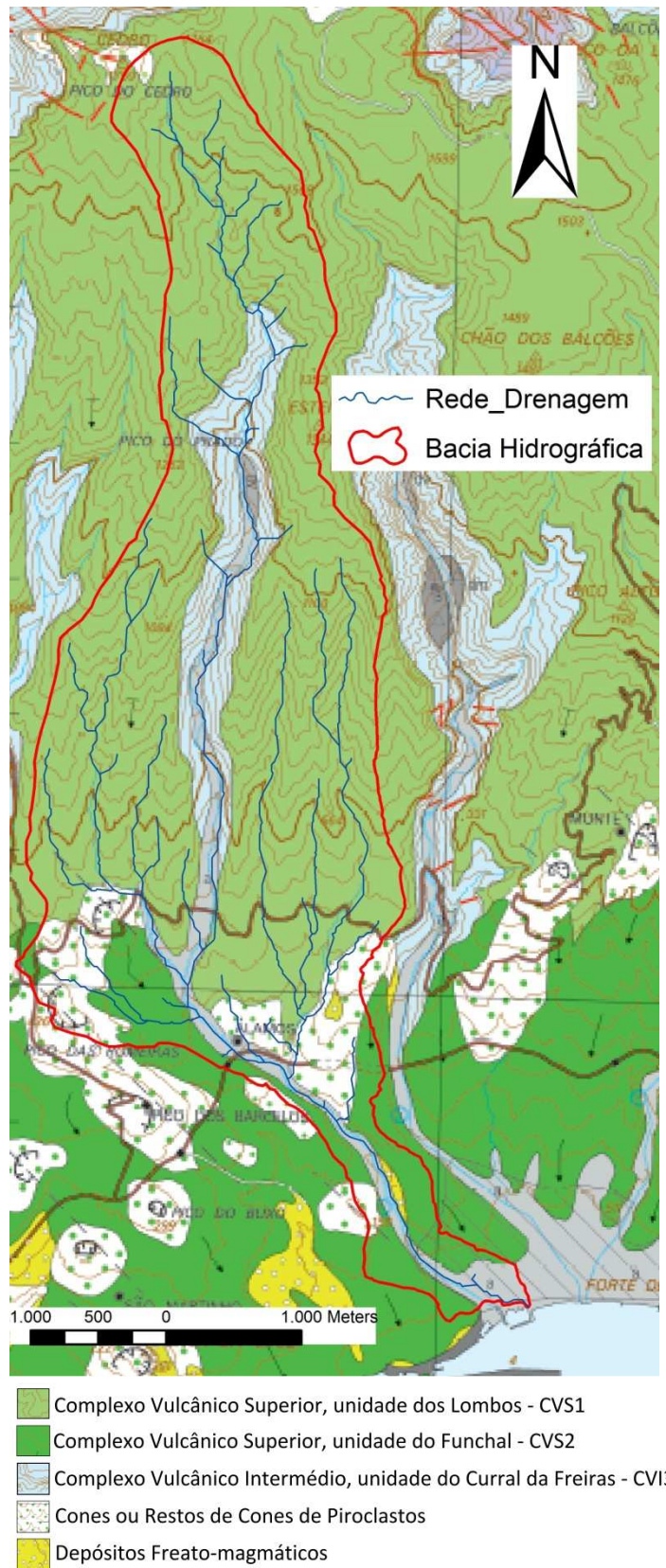


Figura 26: Geologia da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João (Carta Geológica da Ilha da Madeira ("In Press"))

#### **4.5. Classificação e Caracterização dos Solos na Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João**

Na Carta dos Solos da Ilha da Madeira (RICARDO, R. et. al., 1992), mostrada parcialmente na figura 27, constatou-se que na área da bacia hidrográfica da Ribeira de São João os solos estão divididos em apenas algumas das diversas classes de solo existentes e enumeradas no 2º capítulo deste trabalho. Numa vasta área, na zona montante da bacia, verificam-se duas unidades-solo distintas, ANu12 a azul e TAd a cinzento, tal como é possível verificar na figura 27.

A unidade-solo ANu12 é uma unidade onde os Andosolos Umbricos (ANu) são o tipo de solo dominante. O Terreno Rochoso Dístrico (TRd), o solo sub-dominante e inclusões de Andosolos Háplicos (ANh), Cambosolos Dístricos (CMd) e Cambisolos Húmicos (CMu).

A unidade TAd, chamada Terreno Acidentado Dístrico é constituída por Andosolos Háplicos e Andosolos Umbricos (além dos 400 m de altitude) e/ou Cambisolos Dístricos e Cambisolos Húmicos (nas áreas abaixo dos 700 m).

Ainda com base na figura 27, mais a jusante, numa zona de leito, está representado a verde a unidade-solo CMu9. Também a verde encontra-se uma mancha na zona de Santo António mas esta da unidade CMu5. Em ambas as unidades os solos dominantes são os Cambisolos Húmicos (CMu). Na unidade CMu5 encontram-se também solos do tipo Cambisolos Dístricos (CMd) e Cambisolos Crómicos (CMx) como solos sub-dominantes. Estão também presentes inclusões de Andosolos Háplicos, Andosolos Umbricos e Cambisolos Eutricos (CMe).

A unidade CMu9 não tem inclusões mas apresenta solos sub-dominantes do tipo Cambisolos Eutricos, Cambisolos Dístricos e Cambisolos Crómicos.

Ainda numa zona jusante da bacia, à esquerda e a cor-de-laranja está representada a unidade CMx10. À direita, também a cor-de-laranja, estão representadas na figura 27 as unidades-solo CMx21 e CMx1. A unidade CMx1 e CMx10 são compostas predominantemente por Cambisolos Crómicos. Os Cambisolos Eutricos também estão presentes como solo sub-dominante em ambas. A unidade CMx1 não tem qualquer inclusão, ao contrário da unidade CMx10 que apresenta inclusões do tipo Andosolos Vítricos (ANz), Vertisolos Eutricos (VRe) e Faeozemes Háplicos (PHh).

A unidade-solo CMx21 tem como solos dominantes o Cambisolos Crómicos, como solos sub-dominante Cambisolos Eutricos, Cambisolos Húmicos e Faeozemes Háplicos. Apresenta inclusões do tipo Leptosolos (LP), Andosolos Umbricos e Cambisolos Dístricos.

Não tão perceptível na figura 27, na zona de estreitamento da bacia, uma pequena mancha azul um pouco mais clara, representa a unidade ANz1. É uma unidade de apenas um tipo de solo, os Andosolos Vítricos.

Na baixa da cidade o branco representa depósitos de praia.

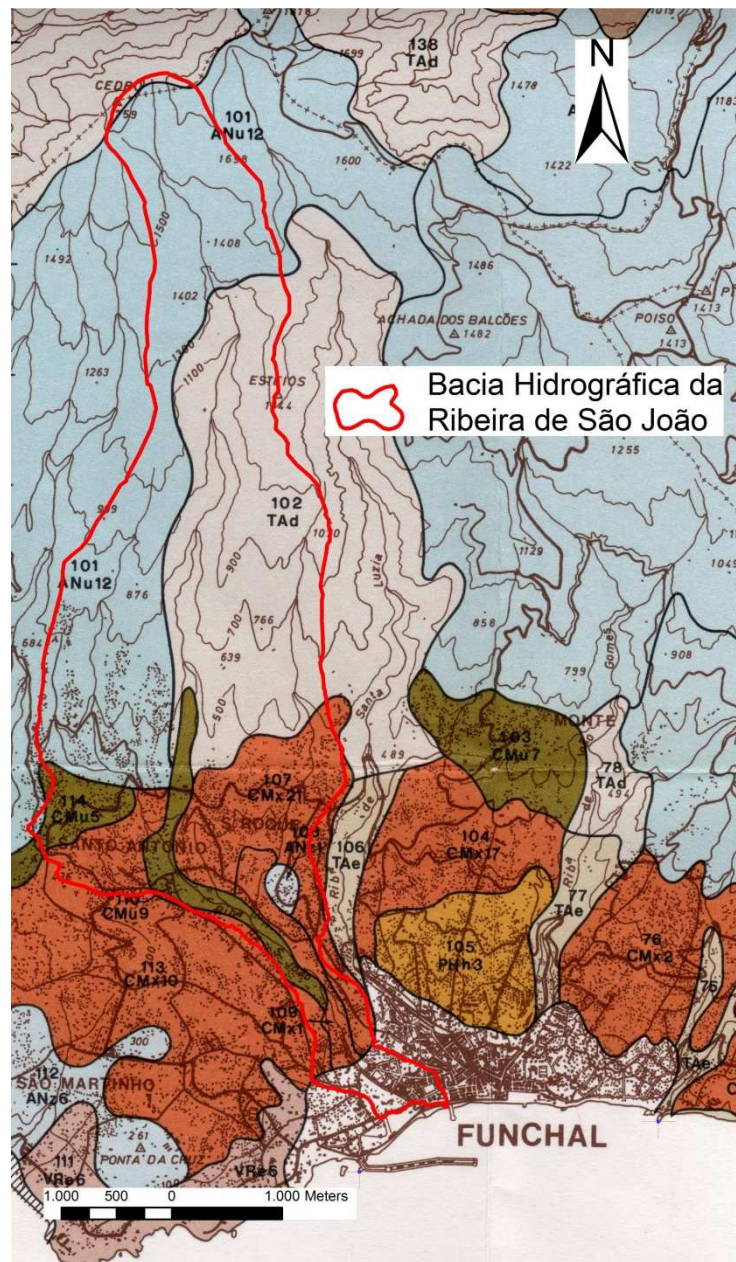


Figura 27: Classificações dos Solos na Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João (Carta dos Solos da Ilha da Madeira, 1992 (RICARDO, R. et. al., 1992))

## **4.6. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João**

### **4.6.1. Introdução**

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais (Teodoro, et. al., 2007). Para avaliar o seu comportamento hidrológico são levantados dados físicos da bacia e calculados factores que revelam indicadores específicos que permitem ter uma noção da sua vulnerabilidade ambiental.

As características morfométricas dividem-se nas características geométricas, características do relevo e características da rede de drenagem.

### **4.6.2. Metodologia**

O que antigamente era feito à mão, através de mapas e estratégias de medição, actualmente é possível delimitar automaticamente uma bacia hidrográfica através da utilização do software ArcGIS.

Por intermédio de um processo interactivo e cumulativo, o utilizador trabalha sobre a cartografia de base, composta pelos mapas digitais de terreno (MDT), que é, por outras palavras, um mapa de altimetrias. Inicia-se um processo de produção de nova cartografia através das várias etapas que serão descritas de seguida.

Assim, e como em qualquer trabalho em SIG, o passo inicial será sempre a definição da nossa cartografia de base que será o MDT da área a trabalhar. Neste trabalho, o MDT utilizado é o resultante da altimetria recolhida pelo projecto LIDAR.

O próximo passo é realizado de maneira a calcular a direcção do escoamento através da ferramenta *Flow Direction*. Passa por obter um modelo digital onde o valor de cada célula representa a direcção do escoamento da água. A cada célula é atribuído um valor que representa a direcção do fluxo de escoamento, determinado através da célula vizinha com um valor de altitude menor.

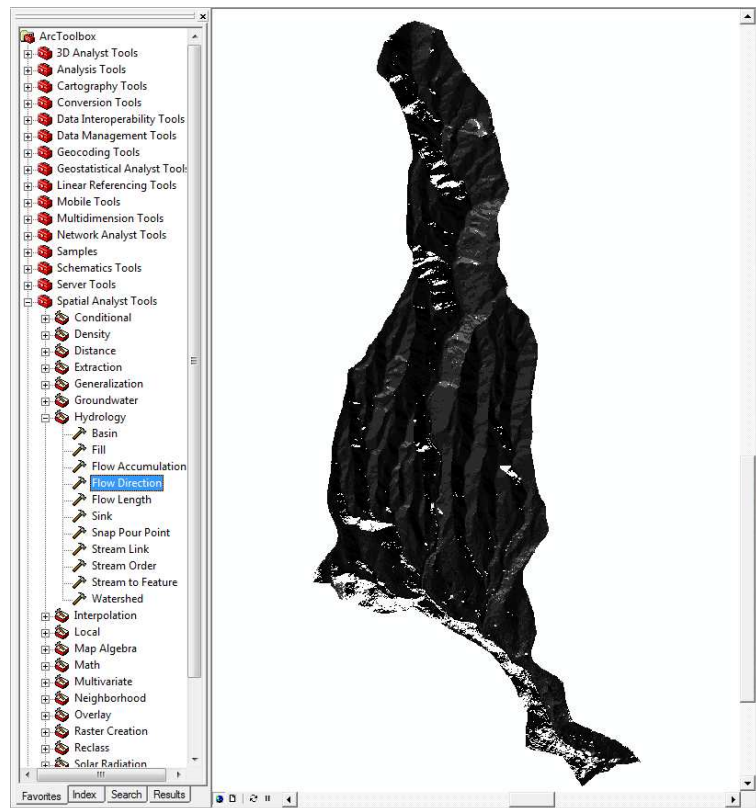


Figura 28: Cálculo da direção do escoamento pelo comando “Flow Direction”

Depois há que verificar a existência de *sinks* no nosso MDT. Os *sinks* consistem em pequenas depressões que influenciam a análise da direção e acumulação do escoamento, são vitais para o processo de delimitação da bacia hidrográfica. Os *sinks* resultam de erros na recolha da informação altimétrica que originam células com valor de cota zero e que na realidade não correspondem a tal. O preenchimento destas células é feito através de um processo de interpolação dos valores das células vizinhas.

O preenchimento dos *sinks* faz-se através da ferramenta *Fill*. Desta forma previne-se que, devido a um erro no MDT base, o escoamento possa fluir para áreas que, na realidade, não correspondem a depressões.

Depois, volta-se a calcular o *Flow Direction*, a partir do MDT corrigido anteriormente.

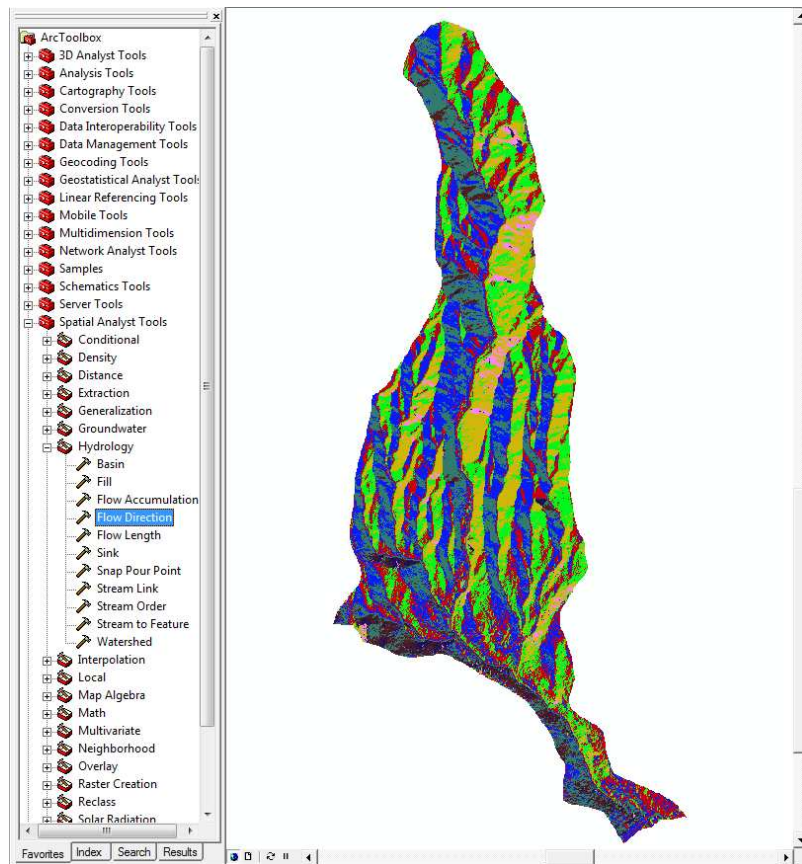


Figura 29: Cálculo da direcção do escoamento pelo comando “Flow Direction” no MDT corrigido

A partir do *Flow Direction*, calcula-se a acumulação (*Flow Accumulation*) do escoamento numa nova *grid* que contém os valores de acumulação da água em cada célula. A cada célula é atribuído um valor correspondente ao número de células que contribuem para que a água chegue até lá. As células com valores mais elevados correspondem aos pontos de maior acumulação de água, ou seja, à rede de drenagem.

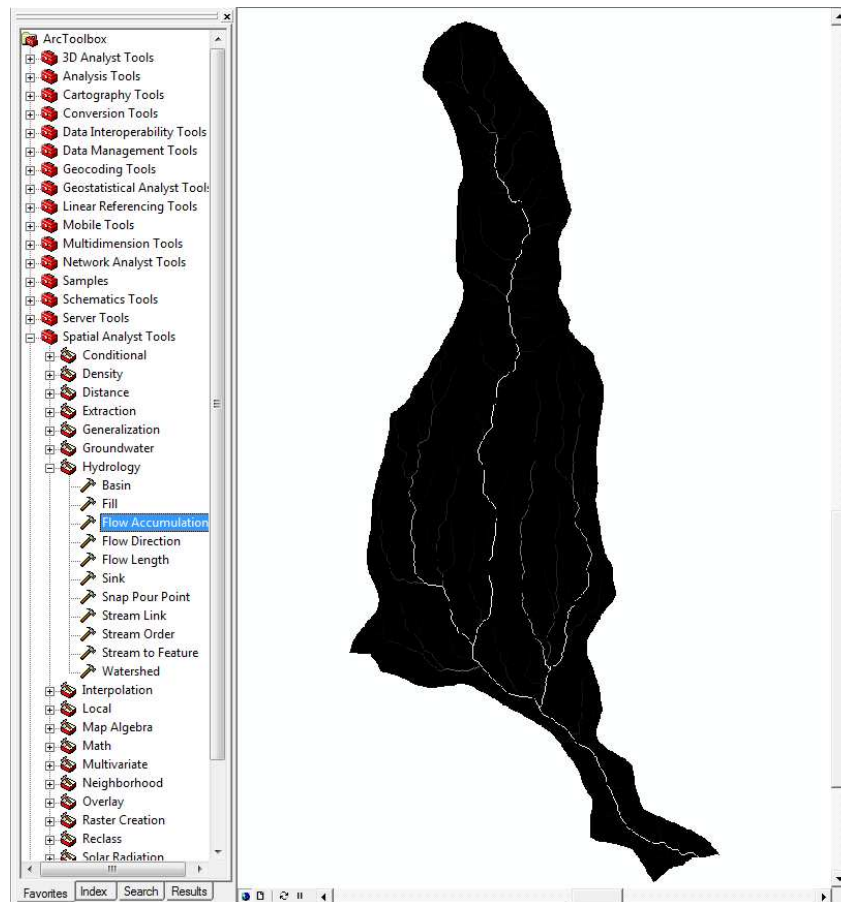


Figura 30: Cálculo da acumulação do escoamento pelo comando “Flow Accumulation”

Através do *raster calculator* individualiza-se e extrai-se a rede de drenagem da bacia, correspondente às linhas de água existentes. Para tal, procede-se à interpolação da rede através da definição de um valor de referência, que vai definir um número de células do terreno necessárias para gerar células de drenagem, que correspondem na prática a linhas de água. O valor especificado depende da sensibilidade do utilizador, uma vez que se o limite definido for muito baixo vai gerar uma rede demasiado densa e pouco realista, e no caso de um limite muito alto, a rede vai ser demasiado simplista e pode não incluir linhas de escoamento pequenas mas importantes, neste caso, iterativamente, foi-se atribuindo valores e achou-se que 1400 seria um valor razoável.

A partir desta informação, procede-se à individualização e identificação de cada um dos troços da rede de drenagem, através da ferramenta *stream link*. Esta ferramenta identifica e atribui a cada troço da rede de drenagem um valor de identificação.

A função *Stream To Feature* vai, na prática, vectorizar as linhas de água definidas pelas células de acumulação do escoamento, produzindo um tema em formato vectorial de toda a rede de drenagem do MDT. A rede de drenagem fica então identificada.

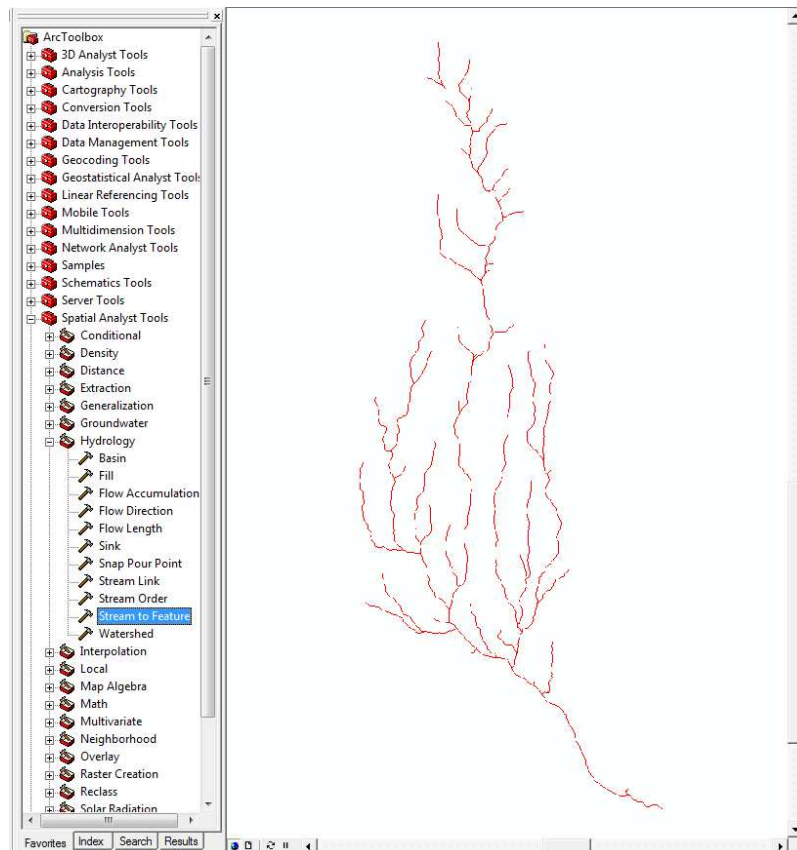


Figura 31: Vectorização das linhas de água pelo comando “Flow Direction” (Rede de Drenagem)

Para finalizar, com a ajuda dos ortofotomapas e de curvas de nível (interpoladas a partir do MDT) procede-se à delimitação da bacia. Começa-se por criar um novo *shapefile* do tipo polígono e manualmente desenha-se o limite da bacia.



Delimitação da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João 0 0,8 1,6 Km  
Bacia\_SJ

Figura 32: Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João e sua delimitação

Agora que a bacia está delimitada e a rede de drenagem identificada, pode-se calcular todos os parâmetros necessários para analisar a bacia. Altitudes, declives, áreas e perímetros, podem ser calculados automaticamente através de simples comandos.

### 4.6.3. Características geométricas

As características geométricas mais simples, como a área e o perímetro são calculadas automaticamente pelo ArcGIS. A área da bacia hidrográfica (A) refere-se à área de drenagem do sistema pluvial, projectada em plano horizontal. O perímetro (P) é o comprimento da linha imaginária que contorna essa área.

Destes parâmetros básicos torna-se possível avaliar outro tipo de características tais como o índice de compacidade de Gravelius e o índice de alongamento.

O índice de compacidade de Gravelius ( $K_c$ ) relaciona a forma da bacia com um círculo. Constituí a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual ao da bacia.

O valor varia conforme a forma da bacia. Se o valor  $K_c$  apresenta um coeficiente mínimo igual a uma unidade considera-se que a bacia tem uma forma circular. O valor aumentará em função da irregularidade da bacia (Teodoro, *et al.*, 2007).

O  $K_c$  é determinado através da seguinte equação:

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} \quad (1)$$

O Índice de alongamento ( $K_L$ ) relaciona a forma da bacia com a de um rectângulo.

Se o valor de  $K_L$  é superior a 2, considera-se que a bacia tem uma forma alongada. Se é inferior a 1,128 considera-se que a bacia tem uma forma arredondada (Oliveira, 2009).

Em suma, o índice de alongamento, tal como o índice de compacidade, mostra a tendência da forma da bacia se aproximar à uma circunferência.

O  $K_L$  é expresso pela seguinte equação.

$$K_L = \frac{L}{b} \quad (2)$$

L e b são obtidos através das seguintes equações.

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,128} \left| 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right| \quad (3)$$

$$b = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,128} \left| 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right| \quad (4)$$

Esta comparação da forma da bacia com uma circunferência e um rectângulo, é feita, porque a generalidade das bacias com forma próxima da circular são mais susceptíveis a cheias. Pelos valores obtidos conclui-se que esta é uma bacia com um forma não circular.

Quadro 2: Índice de compacidade e de alongamento da bacia hidrográfica da Rbeira de São João

Área da Bacia [km <sup>2</sup> ]	Perímetro da Bacia [km]	Comp. do curso de água mais longo [km]	Índice de Compacidade de Gravelius (Kc)	Índice de alongamento (K <sub>L</sub> )
14,64	24,21	11,51	1,78	7,83

#### 4.6.4. Características da Rede de Drenagem

Rede de drenagem consiste num sistema natural por onde são drenadas águas superficiais provenientes da precipitação.

A análise das características da rede de drenagem inicia-se pela hierarquização do canal fluvial. Cada linha de drenagem pode ser categorizada de acordo com a sua posição (ordem ou magnitude) dentro da bacia.

A ordem ou magnitude das demais linhas de drenagem depende do método utilizado. Os métodos mais utilizados são o Strahler e o Shreve. No método de Strahler, as linhas de 2ª ordem são formadas pela junção de 2 linhas de 1ª ordem, as linhas de 3ª ordem são formadas pela junção de 2 linhas de 2ª ordem e assim sucessivamente. Já no método de Shreve, as magnitudes são somadas todas as vezes que há a junção de duas linhas de drenagem. Nesse caso, por exemplo, quando 2 linhas de 2ª magnitude unem-se, o trecho a jusante recebe a designação de 4ª magnitude. Dessa forma, no método de Shreve, algumas magnitudes podem não existir.

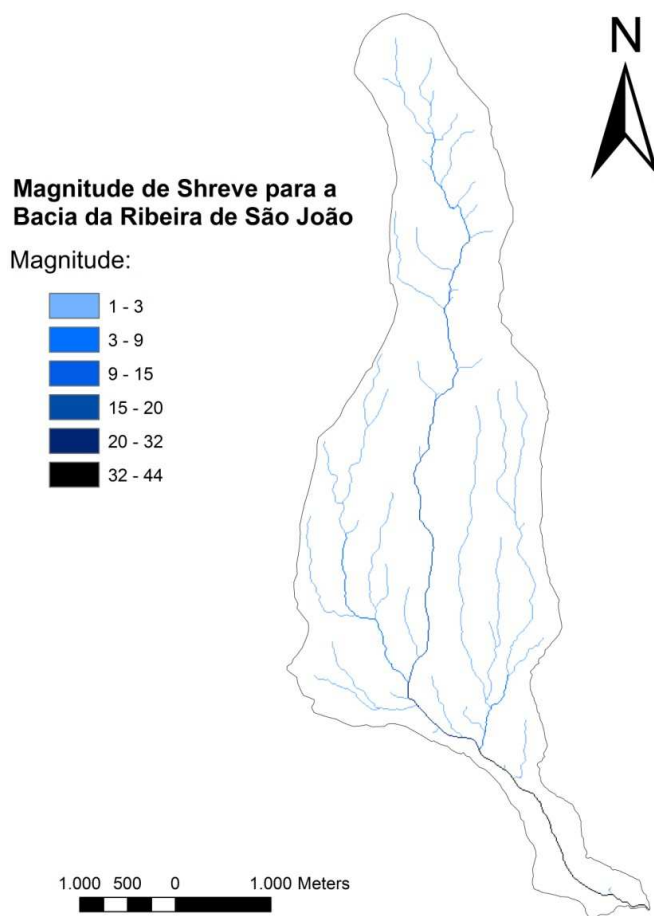


Figura 33: Aplicação do método de Shreve

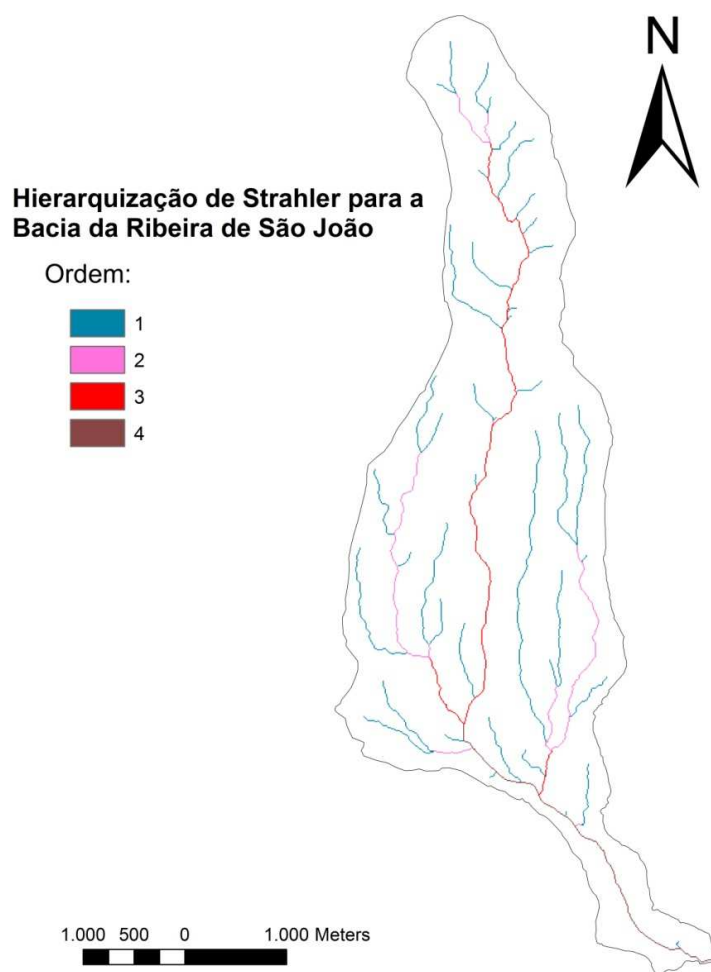


Figura 34: Aplicação do método de Strahler

Para ambos os métodos, as zonas com valores de ordem ou hierarquia mais elevados, são as zonas mais propícias a cheias.

O quadro 3 resume os valores máximos obtidos para o método de Strahler e Shreve.

Quadro 3: Hierarquia e Magnitude da Rede de Drenagem

Hierarquia (Strahler)	Magnitude (Shreve)
4	44

Um outro indicador importante, para averiguar da maior ou menor susceptibilidade à ocorrência de cheias numa bacia hidrográfica, trata-se da densidade de drenagem. É possível afirmar que, bacias hidrográficas com elevada densidade de drenagem, tendem a estar mais sujeitas às cheias do que as bacias com menor densidade de drenagem (Lopes, 2003).

A densidade de drenagem ( $D_d$ ) correlaciona o comprimento total da rede de drenagem ( $C_t$ ) com a área da bacia hidrográfica ( $A$ ) e define-se pela seguinte expressão:

$$D_d = \frac{C_t}{A} \quad (5)$$

Tanto a área como o comprimento dos cursos de água foram calculados automaticamente através do ArcGIS.

O quadro 4 apresenta o cálculo da densidade de drenagem.

Quadro 4: Cálculo da Densidade de Drenagem

Comprimento total da Rede ( $C_t$ ) [km]	Área da Bacia Hidrográfica ( $A$ ) [km <sup>2</sup> ]	Densidade de Drenagem ( $D_d$ ) [km/km <sup>2</sup> ]
44,53	14,64	3,04

A densidade hídrica ( $D_h$ ) é a relação existente entre o número de cursos de água ( $N$ ) e a área da bacia hidrográfica ( $A$ ). Serve essencialmente para se ter uma noção de quantos cursos de água existem por quilómetro quadrado e é calculado pela expressão:

$$D_h = \frac{N}{A} \quad (6)$$

O número de cursos de água é o número obtido no cálculo da magnitude pelo método de Shreve.

Quadro 5: Cálculo da Densidade Hídrica

Área da Bacia Hidrográfica ( $A$ ) [km <sup>2</sup> ]	Número de Cursos de água ( $N$ )	Densidade Hídrica [n.º c.a./km <sup>2</sup> ]
14,64	44	3,01

O valor da densidade hídrica é 3,01, tal como indicado no quadro 5, o que significa que existem cerca de três cursos de água por quilómetro quadrado.

Por último, deve-se calcular o coeficiente de torrencialidade. Este coeficiente é a multiplicação da densidade hídrica pela densidade de drenagem. Quanto maior o coeficiente de torrencialidade, ou seja, o regime torrencial, maior é a amplitude de variação dos caudais típicos da ribeira.

$$C_t = D_d \cdot D_h \quad (7)$$

Obteve-se para o coeficiente de Torrencialidade ( $C_t$ ) o valor de 9,14, valor que se pode considerar baixo.

#### 4.6.5. Característica de Relevo

As características de relevo da bacia dependem de factores como a altitude e a inclinação das vertentes da bacia. Estas dimensões físicas influenciam o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica.

A inclinação das vertentes está directamente relacionada com a velocidade de escoamento superficial, afectando o tempo que a água das chuvas leva a concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias e consequentemente afectando factores como os picos de cheia, infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos.

Quando existe grandes variações de altitude numa bacia verificam-se diferenças significativas na temperatura, precipitação média e evapotranspiração dentro da própria bacia.

O índice de rugosidade relaciona o relevo com a densidade de drenagem, expressando-se como um número adimensional que resulta do produto entre a altura da bacia ( $\Delta_{max}$ ) e a densidade de drenagem ( $D_d$ ).

$$I_r = \Delta_{max} \cdot D_d \quad (8)$$

Quadro 6: Cálculo do Índice de Rugosidade

Densidade de Drenagem ( $D_d$ ) [km/km <sup>2</sup> ]	Altura da Bacia ( $\Delta_{max}$ ) [m]	Índice de Rugosidade ( $I_r$ )
3,04	1.757	5.344,09

O índice de relevo combina a amplitude altimétrica máxima da bacia ( $\Delta_{max}$ ) e a maior extensão da mesma, medida paralelamente ao principal curso de drenagem. É expresso pela fórmula seguinte.

$$R_r = \frac{\Delta_{max}}{C_b} \quad (9)$$

Quadro 7: Cálculo do Índice de Relevo

Altura da Bacia ( $\Delta_{max}$ ) [m]	Comprimento da bacia ( $C_b$ ) [km]	Índice de Relevo ( $R_r$ )
1.757	10,25	171,41

Através do ArcGIS foi possível elaborar-se mapas que dão uma melhor perspectiva da inclinação e localização das vertentes da bacia hidrográfica. A figura 35 demonstra um mapa com a inclinação das vertentes da bacia, em graus.

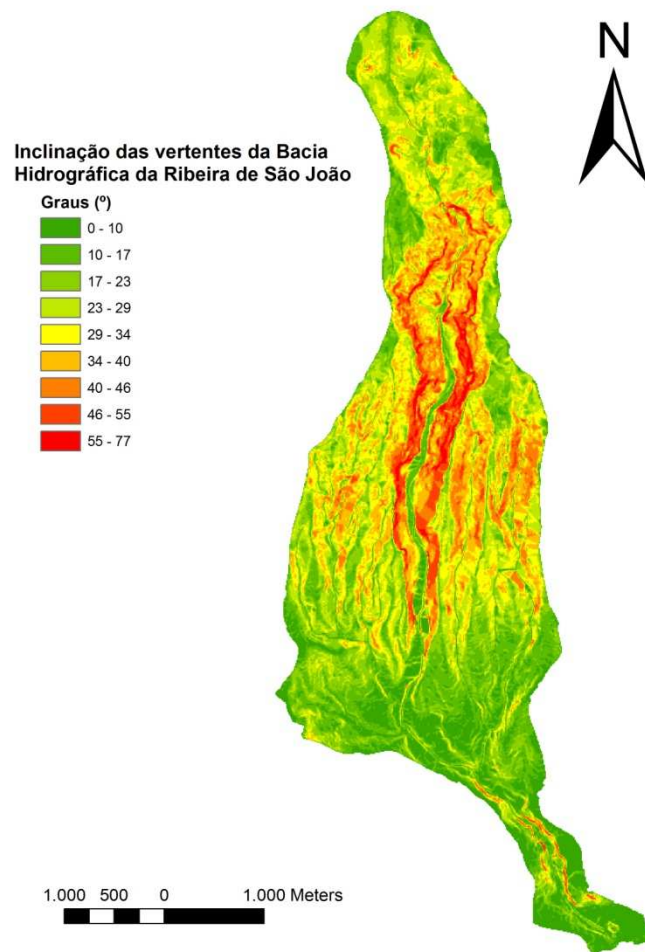


Figura 35: Inclinação das vertentes da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João

As zonas de maior inclinação situam-se no vale por onde corre o curso da água principal da bacia hidrográfica, zonas essas representadas a cor-de-laranja e vermelho na figura 35.

Também através do mapa de altimetrias (figura 36) percebe-se o relevo característico da bacia e a localização do vale onde corre o curso principal da ribeira.

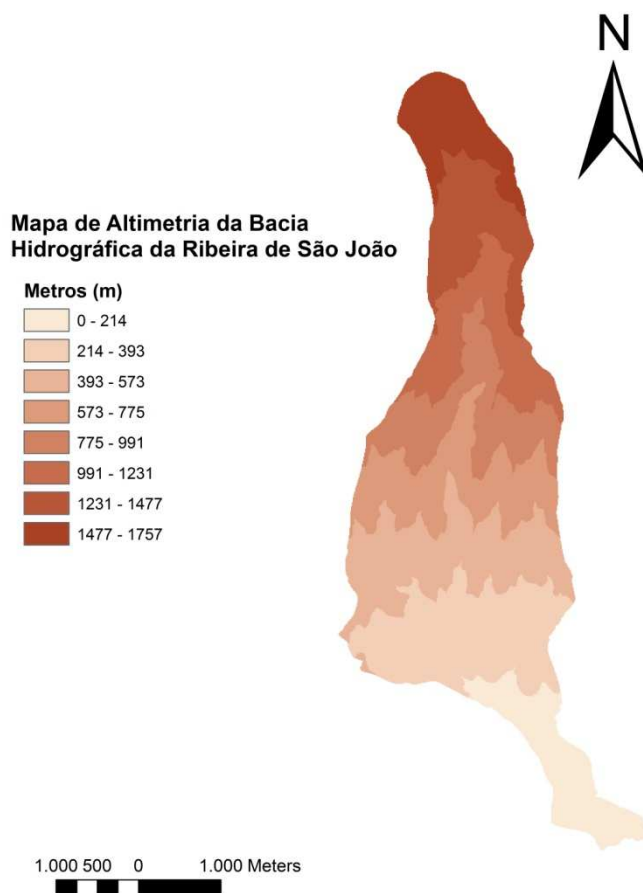


Figura 36: Inclinação das vertentes da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São João

A curva hipsométrica é a representação gráfica do relevo médio de uma bacia. Representa o estudo da variação da elevação dos vários terrenos da bacia com referência ao nível médio do mar.

Em relação ao curso de água principal, através da mesma ferramenta, ArcGIS, fez-se a curva hipsométrica apresentada na figura 37, de maneira a analisar o seu perfil longitudinal.

Os primeiros quilómetros da curva hipsométrica do curso principal da Ribeira de São João são os mais inclinados. Próximo do 2º quilómetro há um súbito aumento do declive. Esta zona é ainda numa área montanhosa e esta variação pode-se explicar pela existência de cascatas que fazem baixar bruscamente a altitude do curso de água.

Nota-se uma ligeira redução da inclinação a partir de metade do percurso analisado. O facto de a canalização da ribeira iniciar-se antes dos 7.000 metros poderá estar relacionado com essa redução de declive.

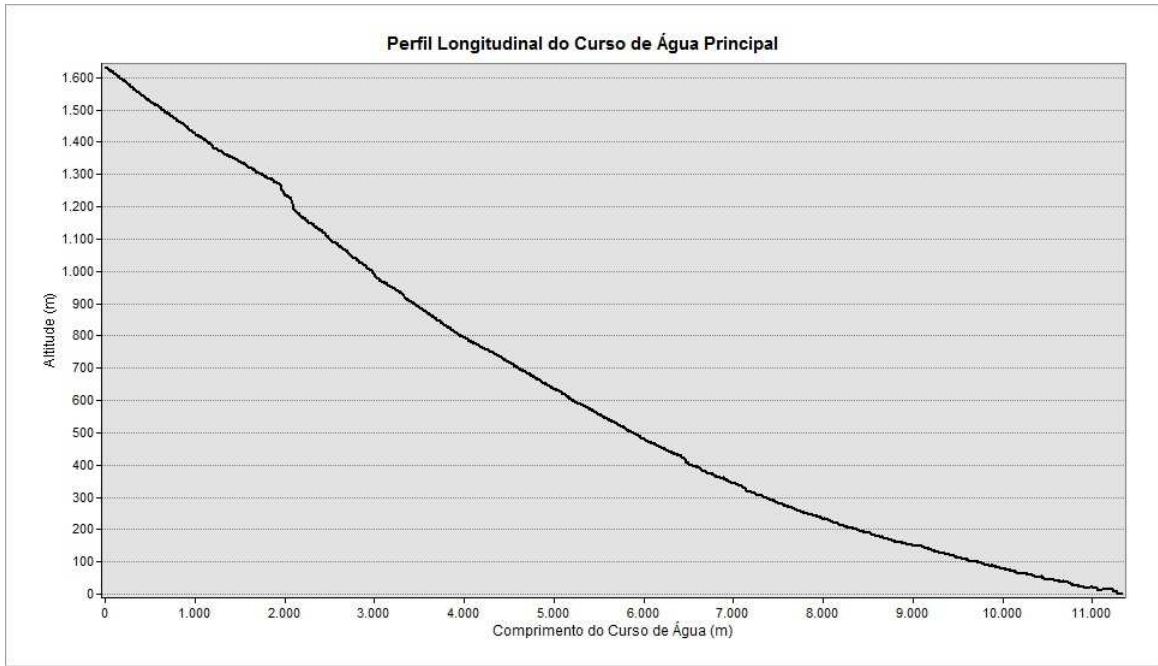


Figura 37: Gráfico representativo do Perfil Longitudinal do Curso de Água Principal da Ribeira de São João

#### 4.6.6. Tempo de Concentração

O tempo de concentração ( $T_c$ ) pode-se definir como o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial na secção de saída.

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica pequena, como é o caso, é o tempo após o qual todos os seus pontos estão a contribuir para um escoamento que permanece constante enquanto a chuva for constante.

O estudo do tempo de concentração é importante, principalmente em bacias de reduzidas dimensões, devido ao risco de ocorrência de cheias rápidas.

Vários factores influenciam o tempo de concentração de uma bacia. Factores tais como, a forma da bacia, a inclinação média da bacia, o tipo de coberto vegetal, o comprimento e inclinação do curso principal, o número de afluentes, distância horizontal entre o ponto mais afastado da bacia e a sua saída e as condições do solo em que a bacia se encontra no início da chuva.

Para calcular o tempo de concentração existem vários métodos distintos. A fórmula de Temez é um dos métodos e define-se pela seguinte expressão:

$$T_c = 0,3 \cdot \left( \frac{C_c}{I_{mc}} \right)^{0,76} \quad (10)$$

Onde o  $C_c$  e  $I_{mc}$  são o comprimento e a inclinação média do curso de água principal respectivamente. Estes valores são calculados automaticamente pelo software ArcGis.

Depois de calculado o tempo de concentração é possível também estimar o tempo de resposta da bacia. Para tal, basta multiplicar o valor do tempo de concentração por 0,6. O tempo de resposta é, resumidamente, o tempo que a bacia leva a responder à precipitação útil responsável pela ponta de cheia (valor máximo que o caudal atinge durante a cheia). (Lopes, 2003)

Quadro 8: Cálculo do Tempo de Concentração e Resposta para a bacia hidrográfica de São João

Comprimento do Curso Principal [km]	Declive Médio do Curso Principal [m/m]	Tempo de Concentração ( $T_c$ ) [h]	Tempo de Resposta [h]
11,51	0,132	2,824	1,694
		2 Horas e 49 minutos	1 Hora e 42 minutos

#### 4.6.7. Resumo de dados da bacia hidrográfica da Ribeira de São João

De alguns dos valores obtidos concluiu-se que a bacia hidrográfica tem uma forma alongada e uma densidade de drenagem relativamente baixa. Estes valores são característicos de bacias pouco susceptíveis a cheias. Foram também determinados outros valores importantes para uma análise á bacia hidrográfica.

Como conclusão, os quadros 9 e 10 resumem todos os dados apurados.

Quadro 9: Quadro resumo dos dados da bacia hidrográfica da Ribeira de São João

Dados obtidos da bacia hidrográfica da Ribeira de São João	
Área da Bacia [km <sup>2</sup> ]	14,64
Perímetro da Bacia [km]	24,21
Altitude Máxima da Bacia [m]	1.757,00
Altitude Média da Bacia [m]	736,16
Declive Máximo da Bacia [°]	76,71
Declive Máximo da Bacia [%]	423,23
Declive Máximo da Bacia [m/m]	4,23
Declive Médio da Bacia [°]	24,82
Declive Médio da Bacia [%]	46,25
Declive Médio da Bacia [m/m]	0,46
Comprimento do Curso Principal [km]	11,51
Altitude Máxima do Curso Principal [m]	1.630,00
Altitude Média do Curso Principal [m]	612,26
Declive Médio do Curso Principal [°]	7,51
Declive Médio do Curso Principal [%]	13,18
Declive Médio do Curso Principal [m/m]	0,13
Declive Máximo do Curso Principal [°]	43,78
Declive Máximo do Curso Principal [%]	95,82
Declive Máximo do Curso Principal [m/m]	0,96
Comprimento Total da Rede de Drenagem [km]	44,53

Quadro 10: Quadro resumo das características morfométricas da bacia hidrográfica da Ribeira de São João

Índice de Alongamento (KL)	7,82
Índice de Compacidade de Gravelius (Kc)	1,78
Densidade de Drenagem (D <sub>d</sub> ) [km/km <sup>2</sup> ]	3,04
Densidade Hídrica [n.º c.a./km <sup>2</sup> ]	3,01
Coefficiente de Torrenciabilidade (C <sub>t</sub> )	9,14
Índice de Rugosidade (I <sub>r</sub> )	5.344,09
Índice de Relevô (R <sub>r</sub> )	171,41

## 5 – Trabalho de Levantamento e Análise do Evento de 20 de Fevereiro

### 5.1. Introdução

Após o acontecimento de 20 de Fevereiro na Ilha da Madeira, principalmente devido às consequências que teve nos concelhos do Funchal e Ribeira Brava, surgiu um projecto de estudo com vista a se tentar perceber a causa de tão graves consequências. Nesse projecto, que se chamou de *Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira*, esteve inserida a Universidade da Madeira (UMa), em cooperação com o Laboratório Regional de Engenharia Civil (LREC) e o Instituto Superior Técnico (IST). Foram formadas várias equipas que teriam diferentes tarefas entre si. Inicialmente, as tarefas delegadas ao autor deste trabalho, consistira em caracterizar geometricamente o corredor fluvial do curso de água principal da bacia hidrográfica da Ribeira de São João, avaliar o material sólido depositado ao longo do curso de água principal da mesma bacia, avaliar as áreas inundadas e identificar os danos provocados pela aluvião.

Posteriormente, o objectivo passou por chegar a valores aproximados de volume de material sólido que foi trazido pela aluvião e a valores de caudais máximos verificados durante o evento de 20 de Fevereiro.

Este estudo culminou com o preenchimento das fichas elaboradas pelo IST que estão em anexo neste trabalho.

O capítulo anterior aborda temas que são importantes analisar uma bacia hidrográfica e a sua susceptibilidade a cheias. Neste capítulo avalia-se o comportamento e os problemas da bacia hidrográfica durante uma situação dessas.

## 5.2. Metodologia

Para caracterizar geometricamente o corredor fluvial da Ribeira de São João, o primeiro passo consistiu em seleccionar um conjunto de secções transversais que definissem com maior aproximação possível, o que realmente é o canal da Ribeira de São João. As secções seleccionadas foram as que registaram danos significativos durante o evento e/ou as que apresentam elementos que permitam estimar o caudal líquido e sólido que ocorreu. Nesse sentido, os critérios utilizados para a selecção de uma secção fora a confirmação de uma das seguintes situações durante o evento:

- 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);

Posto isto e escolhidas as secções a estudar, procedeu-se então a diversas visitas de campo com o objectivo de fazer um levantamento dos parâmetros de cálculo e avaliar as características da cada secção. Com a ajuda de uma fita métrica ou de um medidor a laser, quando não era possível alcançar uma das margens da ribeira, mediu-se a largura e a altura das secções antes seleccionadas. Nestas deslocações ao terreno foi sempre feito um registo fotográfico.

Finalmente, compilou-se e organizou-se, toda a informação recolhida, em fichas de campo com o objectivo de uniformizar o trabalho que se desenvolvia nas diversas ribeiras.

À medida que este trabalho ia evoluindo, eram recolhidas, para além de fotografias, vídeos e opiniões de testemunhos dos acontecimentos do dia 20 de Fevereiro.

Com base num conjunto de fotografias captadas durante e após o evento, o objectivo do segundo passo seria caracterizar o fluxo de material sólido ocorrido na bacia hidrográfica durante o dia 20 de Fevereiro. Para tal, foi necessário avaliar a quantidade de material sólido depositado nos vários locais da bacia hidrográfica em análise, e caracterizar a sua granulometria. Este trabalho foi elaborado, essencialmente, com auxílio às fotografias e vídeos recolhidos.

A granulometria das rochas sedimentares divide-se em diferentes classes, conforme a dimensão do material que a constitui. No quadro 11 estão demarcadas as classes e as suas dimensões.

Quadro 11: Rochas sedimentares de origem detrítica

Material Detrítico	Dimensão Dominante [mm]	Sedimentos Soltos	Sedimentos Agregados
		Rocha Desagregada	Rocha Consolidada
Argilas	< 0,005	Argilas	Argilito
Siltos	0,005 a 0,05	Siltos	Siltito
Areias	0,05 a 2	Areias	Arenito
<b>Balastros:</b>	> 2 mm	Casalheiras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conglomerados</li> <li>• Brechas</li> <li>• Conglomerados-brechoides</li> </ul>
Areão	2 a 4		
Seixo	4 a 64		
Calhau	64 a 256		
Bloco	> 256		

Fonte: Apontamentos da cadeira de Geologia (Universidade da Madeira)

Através das fotografias tiradas logo após, e comparando com fotografias tiradas antes do evento de 20 de Fevereiro, foi possível estimar a quantidade de material sólido depositado. Na análise do material depositado no leito da ribeira, em zonas canalizadas por muros de betão ou pedra aparelhada, comparou-se em fotos a cota a que estavam os sólidos com a altura da secção. Assim determinou-se um valor aproximado para a altura dos depósitos, que multiplicada pelo comprimento da ribeira em que se depositaram, chegou-se a um volume.

Para determinar a quantidade de material sólido depositado nas ruas ou estradas circundantes à ribeira, estimou-se, através dos ortofotomapas, a área em que o material se depositou. Pelo ArcGIS chegou-se a um valor aproximado para as áreas afectadas. Com o auxílio das fotografias ponderou-se uma altura média de sedimentação. Do produto destas duas grandezas estimou-se um possível volume para a quantidade de material sólido depositado.

Com recurso ao ArcGIS elaboraram-se mapas que assinalam as áreas onde se verificaram os depósitos.

Tal como anteriormente, a informação foi compilada e organizada em fichas de campo.

Posteriormente foram identificadas e representadas nos ortofotomapas (mapas elaborados a partir de fotografias de satélite) as secções de transbordo e as áreas inundadas. Identificou-se e representou-se, os locais onde ocorreram danos significativos sobre infra-estruturas e organizaram-se em três listas distintas consoante o tipo de infra-estruturas e morada/freguesia.

O resultado final desta fase do trabalho inclui:

- Mapa com a localização das infra-estruturas que sofreram danos significativos;
- Listagem das infra-estruturas que sofreram danos;

Os referidos mapas serão apresentados no subcapítulo onde é feita a apresentação dos resultados.

O objectivo do passo seguinte, passou por calcular o caudal máximo em cada uma das secções seleccionadas. A partir da informação recolhida para cada secção transversal, identificou-se as variáveis necessárias à estimação do caudal. Através de vídeos e marcas de água estimou-se também a altura da superfície de escoamento líquido e pela fórmula de *Manning-Strickler* (11) chegou-se a um valor aproximado do caudal, expresso em m<sup>3</sup>/s.

A equação de *Manning-Strickler* é:

$$Q = \frac{1}{n_{eq}} A_w (R_h)^{\frac{2}{3}} i^{1/2} \quad (11)$$

Onde Q representa o caudal em metros cúbicos por segundo;

-  $A_w$  representa a área molhada da secção, em metros quadrados. É o produto da largura do canal de escoamento ( $b$ ) por a altura da coluna de água ( $h_w$ ), em metros dado por:

$$A_w = (b \cdot h_w) \quad (12)$$

Considerou-se a altura da coluna de água ( $h_w$ ) a distância estimada desde o topo da camada de material sólido depositado até a superfície de escoamento máxima atingida.

No caso de ser uma secção onde tenha havido transbordo deverá ser acrescentada a área da secção molhada de transbordo;

$$A_w = (b \cdot h_w) + \sum (b_t + h_t) \quad (13)$$

Com  $b_t$  e  $h_t$  a largura e a altura da secção de transbordo em metros, respectivamente.

-  $R_h$  representa o raio hidráulico, em metros e expressa-se pela divisão da área molhada ( $A_w$ ) por o perímetro molhado da secção ( $P$ ), em metros.

$$R_h = \frac{A_w}{P} \quad (14)$$

-  $i$  é a inclinação do canal de escoamento, em metro por metro (m/m). Valor determinado através da informação altimétrica (MDT) disponível, com recurso ao ArcGIS.

-  $n_{eq}$  representa a rugosidade do canal;

$$n_{eq} = \frac{1}{K_{eq}} \quad (15)$$

-  $K_{eq}$ , o coeficiente da fórmula da *Manning-Strickler* depende directamente da rugosidade do canal.

$$K_{eq} = \left( \frac{P}{\sum \left( \frac{P_i}{K_i^{3/2}} \right)} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (16)$$

$$K_i = \frac{1}{n_i} \quad (17)$$

-  $P_i$  é o perímetro molhado dividido em partes de diferentes rugosidades, em metros. O  $n_i$  é a rugosidade da respectiva parte da secção.

Os valores utilizados para a rugosidade são valores tabelados. Os utilizados, são os valores para os materiais que se encontram com maior frequência nas ribeiras do Funchal e apresentam-se no quadro 12.

Pela aplicação da fórmula 15 obteve-se a totalidade das incógnitas necessárias para a obtenção dos caudais pela fórmula de *Manning-Strickler* (8). Os valores estimados serão apresentados no subcapítulo seguinte.

Quadro 12: Valores de rugosidade para os diferentes tipos de material

$n_i$	Tipo de Material
0,025	Rocha
0,026	Material aluvionar grosseiro (seixos, calhaus e blocos de pequenas dimensões)
0,013	Betão
0,014	Pedra aparelhada em bom estado
0,025	Alvenaria de pedra argamassada
0,030	Depósitos de margem constituídos maioritariamente por material argiloso

Finalmente, para se obter a velocidade de escoamento ( $V$ ), em metros por segundo, basta dividir-se o caudal pela área da respectiva secção de escoamento.

$$V = \frac{Q}{A_w} \quad (16)$$

## 5.3. Apresentação dos Resultados

### 5.3.1. Secções Seleccionadas

Tendo em conta os critérios para a selecção das secções transversais na Ribeira de São João, foram escolhidas 24 secções, todas elas no curso de água principal e indicadas da figura 38 à figura 42. As secções foram numeradas de jusante para montante numa ordem crescente.

Algumas secções, mesmo sem terem apresentado situações extremas durante o evento, foram sendo seleccionadas num intervalo não muito extenso de maneira que a caracterização do canal da ribeira fosse o mais rigoroso possível.

A primeira secção é junto à foz, à saída da parte canalizada subterrânea que conduz a ribeira, na sua parte terminal, até ao oceano.

As 4 secções seguintes estão localizadas ainda na zona baixa da Cidade do Funchal. A secção 3, no centro de uma rotunda que deixou de existir após 20 de Fevereiro, é uma secção onde houve transbordo de massa líquida e sólida, podendo-se afirmar que é uma secção crítica.



Figura 38: Mapa de secções (SJ\_1 a SJ\_6)

A secção 11, situa-se junto a um pequeno afluente que passa próximo do edifício da Universidade da Madeira. As secções seguintes, até à 16, situam-se todas junto a um ponte (pedonal ou rodoviária) ou a uma rotunda, como é o caso da secção 14 que está também situada junto ao importante afluente da Penteadá.



Figura 39: Mapa de secções (SJ\_11 a SJ\_14)

A secção 17, caracteriza-se por estar numa zona em que a canalização da ribeira sofre um curva acentuada. A secção 19, é uma secção onde houve uma grande deposição de material sólido, a montante de uma pequena ponte de pedra em arco.



Figura 40: Mapa de secções (SJ\_16 a SJ\_18)

A deposição de material sólido na secção 19 prolongou-se até à secção 20. A secção 20 situa-se a jusante de uma ponte rodoviária de acesso ao estádio do C.F. Andorinha e de uma zona em que se inicia a canalização da ribeira por muros de betão, zona onde existe um estreitamento da secção transversal.

A secção 21 e as restantes, são secções não canalizadas e foram seleccionadas de maneira a se poder estabelecer uma comparação entre este tipo de leito e o canalizado.



Figura 41: Mapa de secções (SJ\_20 e SJ\_21)

A secção 23, situa-se junto a uma barragem que foi construída com o propósito de reter material sólido para posterior transformação e utilização na engenharia civil. Nesta secção ficou depositada uma enorme quantidade de material sólido.



Figura 42: Mapa de secções (SJ\_22 a SJ\_24)<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> Figuras retiradas de Google Earth

O quadro 13 enumera as secções escolhidas e refere a sua localização.

Quadro 13: Secções seleccionadas

Secção	Localização	Dist. à foz [m]	Coordenadas (UTM)
SJ_1	Chegada à foz (saída túnel)	0,0	28 S CB 20675 13650
SJ_2	Minas Gerais (entrada túnel)	146,0	28 S CB 20550 13725
SJ_3	Centro da Rotunda destruída	214,0	28 S CB 20500 13760
SJ_4	Início da parte descoberta da Ribeira	343,0	28 S CB 20425 13825
SJ_5	Ponte Pedonal	391,0	28 S CB 20350 13850
SJ_6	Ponte de Pedra em Arco	674,0	28 S CB 20100 14025
SJ_7	Auto Lavagem S. João	883,0	28 S CB 20000 14175
SJ_8	Ponte Pedonal (de acesso a habitações)	1.062,0	28 S CB 19900 14450
SJ_9	Oficinas da Reunault	1.498,0	28 S CB 19750 14750
SJ_10	Stand automóvel	1.587,0	28 S CB 19700 14850
SJ_11	Cantina UMa	1.845,0	28 S CB 19500 15000
SJ_12	Ponte pedonal de acesso à UMa	2.007,0	28 S CB 19350 15150
SJ_13	Ponte de acesso ao Tecnopolo	2.233,0	28 S CB 19200 15275
SJ_14	Rotunda (Penteada)	2.415,0	28 S CB 19100 15400
SJ_15	Por baixo do Viaduto da Via Rápida	2.795,0	28 S CB 18775 15525
SJ_16	Ponte de acesso às piscinas	3.143,0	28 S CB 18600 15675
SJ_17	Bairro de St. António	3.373,0	28 S CB 18425 15875
SJ_18	Ponte Pedonal no Bairro	3.702,0	28 S CB 18400 16225
SJ_19	Ponte João Augusto de Sousa	4.198,0	28 S CB 18600 16625
SJ_20	Ponte de acesso ao Estádio do Andorinha	4.463,0	28 S CB 18525 16800
SJ_21	Final da Estrada	5.204,0	28 S CB 18600 17450
SJ_22	Jusante barragem	5.765,0	28 S CB 18445 18115
SJ_23	Barragem	6.034,9	28 S CB 18465 18370
SJ_24	Montante da barragem	6.495,3	28 S CB 18625 18890

### 5.3.2. Caracterização do Fluxo de Material Sólido

Foram arrastadas grandes quantidades de material sólido como consequência dos fortes caudais verificados no dia 20 de Fevereiro na Ribeira de São João. O material que chegou à baixa do Funchal teve consequências mais graves, principalmente por se tratar de uma área com uma densidade de construção bastante elevada.

Na baixa da cidade, a parte subterrânea da ribeira ficou quase cheia de material sólido. Os sedimentos atingiram cotas médias perto dos 5,5 metros, obstruindo o normal curso da ribeira. Desde o centro comercial Dolce Vita (SJ\_3) até à foz (SJ\_1), toda a margem da ribeira ficou obstruída. A figura 43 mostra como a foz da ribeira ficou obstruída, sendo também possível constatar que depositaram-se, naquela área, essencialmente blocos mas também algum calhau e areia.



Figura 43: Foz da Ribeira e área de deposição de material sólido ao longo do leito da ribeira na baixa do Funchal  
Fonte: SRES

Devido à obstrução da ribeira na secção SJ\_3, o caudal transbordou o canal, provocando depósitos fora das margens da ribeira. Na Avenida do Mar e na Avenida Arriaga, os depósitos de material atingiram cerca de 10 centímetros de altura, depósitos de sedimentos essencialmente finos, tal com siltes, argilas e areias, como ilustram as figuras 44 e 45. Na avenida Calouste Gulbenkian (figura 46) também verificou-se sedimentação (cerca de 30 cm) mas de material com dimensões mais significativas, como areão, seixo, calhau (predominantemente) e areia.



Figura 44: Avenida do Mar  
Fonte: SRES



Figura 45: Avenida Arriaga  
Fonte: Desconhecido

O caudal transbordado seguiu um percurso que não é o natural em direcção ao Mar e com ele trouxe grandes quantidades de material sólido. No túnel que liga a avenida Calouste Gulbenkian à rotunda Dr. Francisco Sá Carneiro verificou-se algum depósito, mas foi na rotunda que grandes quantidades de sedimentos sólidos assentaram, resultando num assoreamento com cerca de 2.500 m<sup>2</sup> de área com uma altura média de 40 centímetros. Aqui verificaram-se sedimentos um pouco maiores tais como areão, seixo e calhau, como se pode verificar na figura 47.



Figura 46: Avenida Calouste Gulbenkian  
Fonte: SRES



Figura 47: Rotunda Dr. Francisco Sá Carneiro  
Fonte: SRES

Sedimentos do mesmo tipo surgiram também numa zona de cota inferior à rotunda, na marina e nas instalações dos clubes desportivos e de recreação náutica. A figura 48 mostra que nessa área depositaram-se sedimentos até próximo dos 50 centímetros de altura.



Figura 48: Deposição de material sólido na Marina  
Fonte: SRES

Em Santo António, verificou-se um assoreamento no leito da ribeira desde o início da parte canalizada da ribeira, perto do estádio do Clube Futebol Andorinha, até quase ao final do Caminho da Ribeira Grande (SJ\_19), na intercepção com a estrada Comandante Camacho de Freitas. Em toda esta zona existiu uma grande deposição de material sólido de grandes dimensões, maioritariamente bloco. Depósitos com uma altura média de 8 metros ocorreram ao longo do leito da ribeira em cerca de 575 metros, numa área aproximada de 7.500 m<sup>2</sup> (figura 49).

Como se pode ver na figura 50, devido a este grande assoreamento, a ribeira ficou obstruída e transbordou para a estrada (Caminho da Ribeira Grande) paralela e junta ao leito da ribeira. Como resultado, material do tipo sedimentos de menores dimensões como areão, calhau e bloco acumulou-se. Os depósitos ocuparam uma área com cerca de 6.600 m<sup>2</sup> e altura média de 0,5 metros.



Figura 49: Caminho da Ribeira Grande e Ribeira de São João  
Fonte: SRES



Figura 50: Caminho da Ribeira Grande  
Fonte: Desconhecido

Verificou-se também uma enorme deposição de material sólido numa zona alta do Funchal (SJ\_23). Na área limitada pela uma barragem de retenção de sólidos, depositou-se uma grande quantidade de material tal como ilustrado na figura 51.



Figura 51: Barragem e trabalhos de limpeza a decorrer  
Fonte: Autor

A informação que foi possível obter acerca das secções onde se verificou deposição de material sólido e das suas quantidades está resumida nos quadros 14 e 15.

Quadro 14: Resumo das secções com deposição de material sólido

Secção de Deposição	Local	Distancia à foz [m]	Extensão para jusante [m]	Característica da Secção
SJ_23 até SJ_24	Zona Alta (Barragem)	6.495	460	Existência de uma barragem de retenção na SJ_23
SJ_19 até cerca de 300 m a montante de SJ_20	Caminho da Ribeira Grande (St. António)	4.678	575	Estreitamento e ligeira curva à direita
SJ_1 até cerca de 50 m a montante de SJ_5	Baixa da Cidade (Desde a Foz até Avenida Calouste Gulbenkian)	440	440	Na foz há uma ligeira diminuição da inclinação da Ribeira. A canalização da Ribeira é subterrânea e sofre um estreitamento a cerca de 150 metros da foz

A 1ª coluna do quadro 14 localiza o local de deposição de material sólido em relação à numeração das secções. Na 3ª coluna está a distância à foz onde a deposição se iniciou e a 4ª por quantos metros se estendeu, para jusante.

Depois de identificadas as áreas de deposição de material sólido, através da análise de fotografias, estimou-se um valor para a quantidade da material que se sedimentou nas ruas, nas estradas, e, no leito da ribeira.

Nas ruas e estradas circundantes à ribeira, que estão descritas na primeira coluna do quadro 15, chegou-se a um valor total aproximado a 6.531 metros cúbicos de material sólido depositado. Da multiplicação da área de deposição, expressa na 2ª coluna, pela altura média da mesma, obtém-se uma estimativa para um valor do volume de sólidos depositados fora do leito da ribeira.

Quadro 15: Volume de material sólido depositado fora do leito da ribeira

	Área [m <sup>2</sup> ]	Altura Média [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]	
Avenida Calouste Gulbenkian	1.350	0,3	405	
Rotunda Dr. Francisco Sá Carneiro	2.500	0,4	1.000	
Avenida do Mar	1.400	0,1	140	
Avenida Arriaga	1.920	0,1	192	
Marina	2.980	0,5	1.490	
Caminho da Ribeira Grande	6.608	0,5	3.304	
			6.531	Total

No leito da ribeira verificou-se deposição em apenas 3 troços mas em quantidades superiores. A localização desses troços corresponde à 1ª coluna do quadro 16. O valor estimado foi de 233.741,7 metros cúbicos de material sólido, resultante da multiplicação da altura média de material sólido depositado, pela área plana desses troços de leito.

Quadro 16: Volume de material sólido depositado no leito da ribeira

	Área	Altura Média [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]	
Baixa da Cidade	5.237,55	5,50	29.296,72	
Caminho da Ribeira Grande	16.295,89	5,40	76.292,65	
Zona Alta (Barragem)	26.979,44	4,75	128.152,34	
			233.741,70	Total

Após a apreciação de fotos, algumas das quais apresentadas ao longo deste capítulo, foi possível fazer um estudo granulométrico do material sólido.

Quando à granulometria do material depositado, o quadro 16 resume em percentagem as classes de rochas sedimentares verificadas.

O material mais pesado e de maiores dimensões depositou-se nos troços de leito da ribeira que ficaram obstruídos. Os sedimentos mais pequenos e leves foram levados juntamente com o caudal líquido transbordado para diversos locais nos arredores das zonas de leito obstruído. Normalmente, quanto mais distante da ribeira, menor granulometria apresenta o material depositado.

Quadro 17: Granulometria do material sólido depositado

Local	Granulometria	Percentagem [%]
Foz – Avenida Calouste Gulbenkian (Leito)	Bloco	80
	Areão, Seixo e Calhau	20
Caminho da Ribeira Grande (Leito)	Bloco	60
	Areão, Seixo e Calhau	30
	Areia	10
Rotunda Dr. Francisco Sá Carneiro	Calhau	60
	Areia, Areão e Seixo	40
Marina	Areia	70
	Areão, Seixo e Calhau	30
Avenida Calouste Gulbenkian	Areia	40
	Areão, Seixo e Calhau	40
	Bloco	20
Avenida Arriaga	Argila e Silte	60
	Areia	30
	Areão, Seixo e Calhau	10
Avenida do Mar	Areia e Silte	60
	Areão e Seixo	30
	Argila	10
Caminho da Ribeira Grande	Areão, Seixo e Calhau	60
	Bloco	20
	Areia	20

No mapa da figura 52 estão representadas as áreas onde a deposição de sólido foi mais significativa.

Foram três as áreas onde a deposição foi bastante elevada. Mais a norte, a barragem lá situada reteve uma enorme quantidade de material sólido. Numa zona intermédia, onde se inicia a canalização da ribeira, houve uma grande deposição ao longo do leito da ribeira e da estrada transversal ao mesmo.

A sul, após o assoreamento total da secção da ribeira, a deposição de sólido na zona baixa da cidade estendeu-se por diversas ruas e avenidas da cidade.

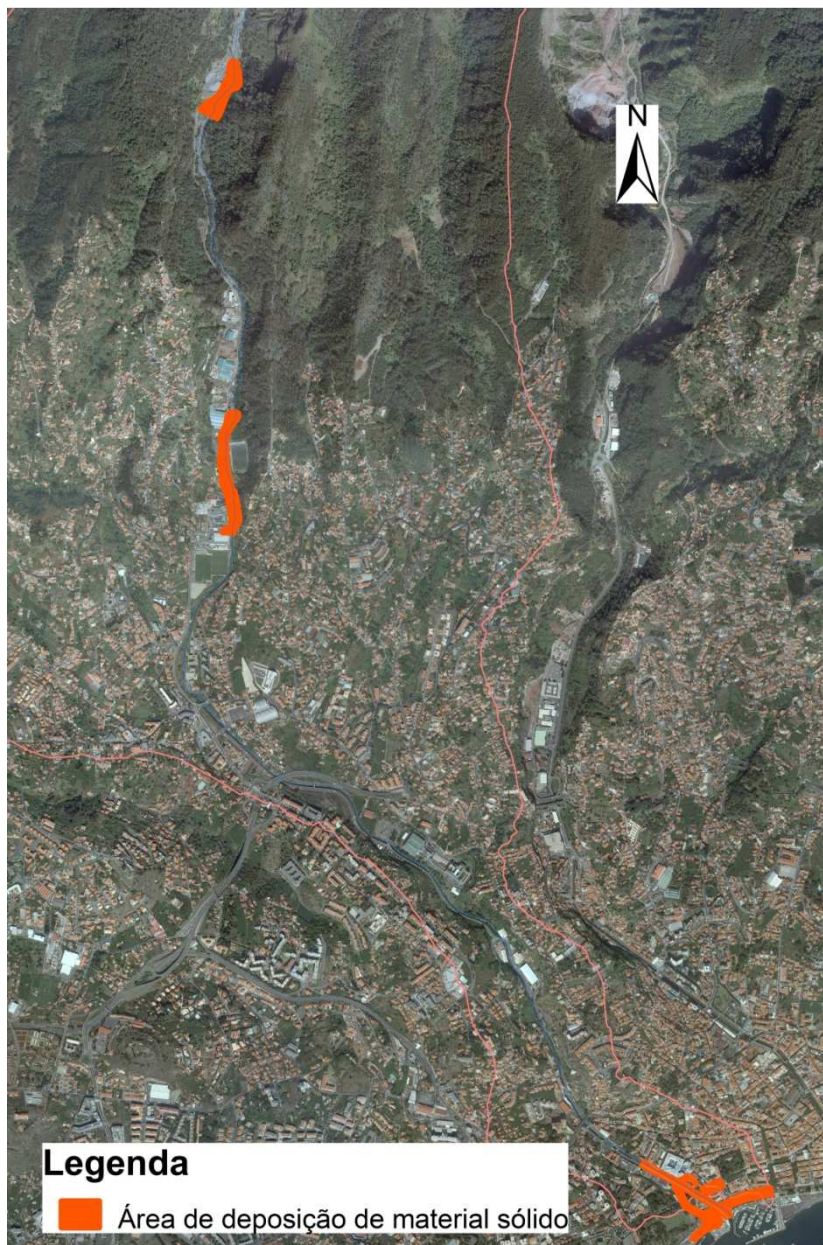


Figura 52: Mapa das áreas de deposição de Material Sólido na bacia hidrográfica de São João

### 5.3.3. Identificação de algumas das principais Zonas Inundadas

Na manhã de 20 de Fevereiro a Cidade do Funchal foi sujeita uma intensa precipitação. Os caudais das ribeiras atingiram níveis elevados e cotas de escoamentos superiores aos muros que canalizam os cursos de água, provocando várias inundações.

Muitas estradas tornaram-se em cursos de água, e muitas habitações sofreram infiltrações em vários pontos da bacia hidrográfica da Ribeira de São João. No entanto aqui serão enumerados os edifícios mais importantes e os locais em que as inundações tiveram uma expressão mais significativa, visto ser impossível apontar todas as pequenas inundações que sucederam.

Em Santo António o curso de água transbordou as margens (cerca de 300 m a montante de SJ\_20) e envolveu grande parte do Caminho da Ribeira Grande. Devido ao assoreamento que se registou nesta zona, a secção foi insuficiente para reter todo o caudal, verificando-se um transbordo para a rua paralela ao curso de água. Na estrada chegou a escoar água com cerca de 0,5 metros de altura.

Algumas casas e armazéns situados nesse local ficaram inundados e muitos deles destruídos. A estrada Comandante Camacho de Freitas, transversal ao Caminho da Ribeira Grande, também foi alagada, pelo menos até a um posto de abastecimento lá situado (figuras 53 e 54).



Figura 53 - Armazéns inundados no Caminho da Ribeira Grande  
Fonte: João Perneta



Figura 54: Posto de abastecimento  
Fonte: João Perneta

Mais a jusante, os parques de estacionamento (o subterrâneo e o exterior que circunda o edificio) da Universidade da Madeira e do Madeira Tecnopolo foram igualmente afectados pelas inundações. A fotografia 55 mostra que a água atingiu em alguns pontos alturas superiores a um metro (marca de água nas portas).



Figura 55: Parque de estacionamento ao redor da Universidade da Madeira  
Fonte: Desconhecido

A cerca de 880 metros da foz (SJ\_7), a auto lavagem de São João, que é um edifício que se situa na margem da ribeira, foi inundada ao ponto da água entrar pelas janelas.

O posto de abastecimento em São João, foi igualmente inundado por água que corria pela estrada proveniente da forte precipitação.

A zona mais afectada foi a zona baixa da cidade. Junto ao centro comercial Dolce Vita, na Avenida Calouste Gulbenkian, a ribeira ficou obstruída e a cerca de 330 metros da foz (SJ\_5) surgiu o primeiro transbordo. Parte da estrutura em betão armado que formava a canalização subterrânea da ribeira foi levantada, e formou uma abertura pela qual o caudal da ribeira também surgiu.

A maior parte da água que transbordou, seguiu o seu curso pelo túnel rodoviário até à rotunda Dr. Francisco Sá Carneiro, dirigindo-se para o mar. A marina, onde se situam os clubes desportivos e de recreação náutica, foi também inundada. Tal como a fotografia 56 mostra, a água subiu até cotas próximas de 1 metro.



Figura 56: Rotunda Dr. Francisco Sá Carneiro e Marina  
Fonte: Agencia Lusa (Homem Gouveia)



Figura 57: Avenida Arraiga  
Fonte: Hélder Santos



Figura 58: Avenida do Mar  
Fonte: Gregório Cunha

A água que não seguiu pelo túnel dirigiu-se à Rotunda do Infante. No entanto, devido à sua cota ser superior à da Avenida Arriaga, a água contornou a rotunda e acabou por ir na direcção da avenida, inundando-a (figura 57). Aqui, a altura de água atingida não foi muito considerável, podendo só ter atingido alguns centímetros. A explicação para esse facto é a rua transversal que liga as avenidas do Funchal. Por fim, a água dirigiu-se em à avenida que se encontra numa cota inferior, a Avenida do Mar, tendo nesta atingido, em alguns locais, cotas de cerca de meio metro, como mostra a figura 58.

Uma pequena rua transversal ao centro comercial Dolce Vita, a Rua da Ponte de São Lázaro, e outra rua perpendicular a esta, a Rua Serpa Pinto, também foram inundadas pela água proveniente do transbordo na Avenida Calouste Gulbenkian. A Rua Serpa Pinto, por ter um forma côncava a inundaçãõ atingiu cerca de 2 metros.

Dois parques de estacionamento subterrâneo ficaram também inundados. O parque do centro comercial Dolce Vita ficou inundado em todos os seus andares até aos túneis de acesso. O parque do Marina Shopping, com acesso pela Avenida do Mar, foi também totalmente alagado, como ilustra a figura 59.



Figura 59: Entrada para o parque de estacionamento do Marina Shopping na Avenida do Mar  
Fonte: Desconhecido

O quadro 18 resume informação acerca das duas secções em que se verificaram os transbordos mais importantes de que resultaram inundações. As secções onde se iniciou o transbordo são as enumeradas na 1ª coluna. Para além de outros dados, na última coluna está descrito um possível motivo para o transbordo.

Quadro 18: Secções de transbordo da Ribeira de São João

Secção de Transbordo	Local	Distancia à foz [m]	Extensão para jusante [m]	Característica da Secção	Motivo
300 m a montante de SJ_20	Caminho da Ribeira Grande	4.678	600	Estreitamento e pequena curva à direita	Assoreamento do leito da Ribeira. Com o assoreamento verificado a altura da secção foi insuficiente para conter todo o caudal e houve transbordo.
SJ_5	Avenida Calouste Gulbenkian	330	380	Subterrânea	Houve assoreamento desde a foz da Ribeira até cerca de 400 metros a montante. O transbordo deu-se a cerca de 330 metros da foz pela abertura formada quando a laje que cobria a Ribeira foi levantada.

Com a ajuda do software de sistemas de informação digital, o ArcGIS, estimou-se um valor para cada uma das áreas inundadas em metros quadrados. Estimou-se um valor total de 42.722 m<sup>2</sup> de área inundada, apresentado no quadro 19.

Quadro 19: Áreas inundadas

Local	Área Inundada [m <sup>2</sup> ]
Caminho da Ribeira Grande e Infra-estruturas próximas	9.619
Edifício Universidade/Tecnopolo e arredores	5.763
Auto lavagem e GALP de São João	313
Baixa da Cidade do Funchal	15.587
Edifícios na Baixa do Funchal	11.440
	42.722
	Total

Posteriormente, elaborou-se um mapa representativo das áreas onde ocorreram as inundações mais significativas. Esse mapa está ilustrado na figura 60.

A zona baixa da cidade foi a área mais inundada. Nesta área relativamente pequena desaguam três importantes ribeiras, o que faz esta área ser mais susceptível a cheias. Nalguns locais não é possível distinguir de que ribeira a água, ou mesmo algum material sólido de menor dimensão, provem, dada a pouca distância a que se situam. Ainda assim a obstrução do leito da ribeira foi causa fundamental para a enorme inundação registada.

Mais a norte, no Caminho da Ribeira Grande, a inundação também atingiu uma proporção significativa quando a água transbordou das margens e dirigiu-se para a estrada e infra-estruturas circundantes.

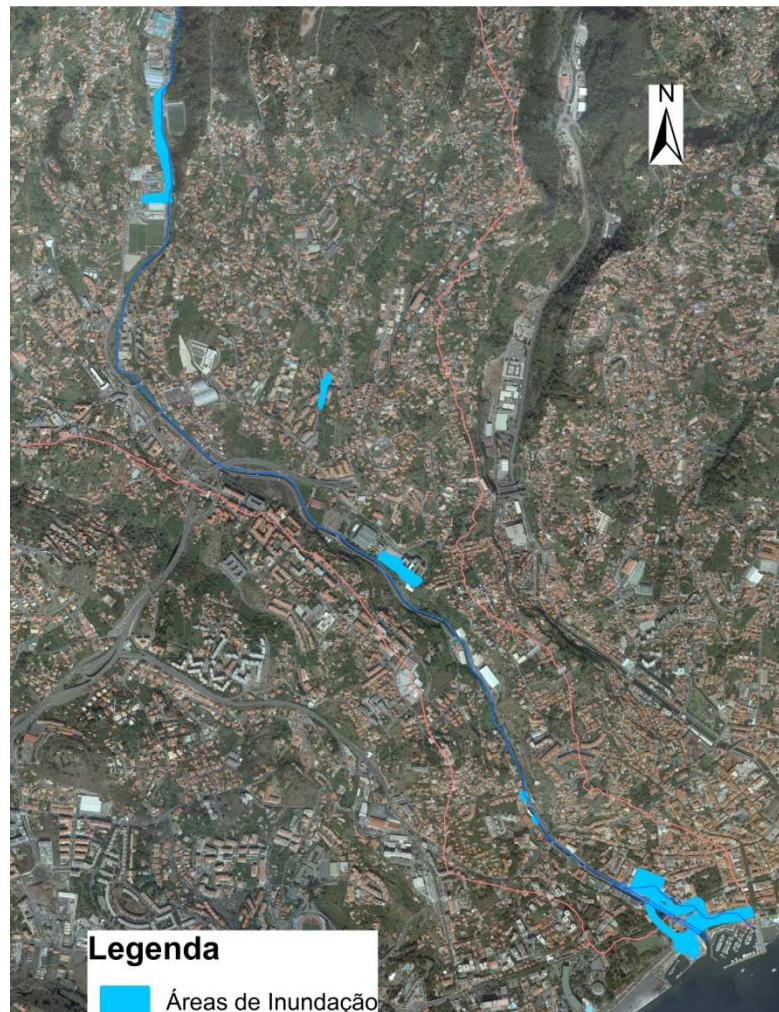


Figura 60: Mapa das áreas inundadas na bacia hidrográfica da Ribeira de São João

### 5.3.4. Identificação de algumas das infra-estruturas danificadas

A grande precipitação que se fez sentir no dia 20 de Fevereiro fez com que a rede de drenagem da Ribeira de São João atingisse valor de caudais muito elevado. O que habitualmente eram pequenos cursos de água, neste dia tornaram-se em autênticas ribeiras. A saturação dos solos chegou a níveis insuportáveis, resultando em deslizamentos de terras e cedência de alguns muros de suporte. Esta situação resultou em danos numa área bastante vasta da bacia.

De maneira a identificar as infra-estruturas danificadas diversas equipas, sob alçada de entidades governamentais e não só, percorreram as zonas afectadas e registaram os estragos.

O Instituto da Habitação da Madeira (IHM) fez a recolha dos danos verificados em habitações, a Câmara Municipal do Funchal fez o levantamento dos danos em infra-estruturas públicas e, à Associação Comercial e Industrial do Funchal (ACIF), coube as infra-estruturas de comércio, restauração e serviços da cidade do Funchal.

Toda a informação recolhida pelos citados foi posteriormente cedida à Universidade da Madeira ainda no âmbito do *Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira*. Para o presente trabalho, seleccionaram-se os danos que se situaram dentro da bacia hidrográfica de São João e, através do ArcGIS, foram localizados no ortofotomapa da bacia.

No total, foram identificadas 104 habitações danificadas, na sua maioria situadas nas zonas altas de Santo António e São Roque.

Em termos de infra-estruturas de comércio, restauração e serviços foram inquiridos, ao todo, 124 estabelecimentos. Naturalmente, grande parte destes estabelecimentos situam-se na baixa da cidade do Funchal.

Quanto a infra-estruturas públicas, tais como redes de acessibilidade viária e pedonal, identificaram-se em todas as freguesias, diversos locais onde foram necessárias obras de reparação.

Numa avaliação geral aos danos, sobressaem os próximos do curso de água principal. Junto a este, os danos tiveram um impacto superior, dos quais se pode destacar os que a seguir se descrevem.

A cerca de 6.400 metros da foz, uma pequena estrada alcatroada de acesso para camiões de extracção de inertes, situada na margem da ribeira, foi destruída. Numa zona em que a ribeira não está canalizada, a margem sofreu erosão e a estrada foi arrasada.

A cerca de 4.500 metros da foz, a estrada alcatroada do Caminho da Ribeira Grande foi parcialmente destruída, a figura 61 assim o demonstra. Esse sector de estrada destruído, tornou-se parte do leito da ribeira em direcção a armazéns, oficinas e casas situadas na beira da estrada. Algumas desta propriedades ficaram danificadas e outras devastadas.



Figura 61: Estrada destruída no Caminho da Ribeira Grande, Santo António  
Fonte: Desconhecido

No afluente da Penteada, um pequeno muro junto a um armazém acabou por ceder. Também no armazém verificaram-se alguns pequenos danos como a figura 62 ilustra.



Figura 62: Danos no afluente da Penteada  
Fonte: SRES

A cerca de 880 metros, na margem direita da ribeira, está situada a auto lavagem de São João. Tal como mostra a figura 63, parte do edifício localiza-se dentro da secção de

escoamento da ribeira (SJ\_7), o que provocou a destruição de paredes e janelas do mesmo. A água danificou equipamentos que se encontravam no interior do edifício.



Figura 63: Danos na auto Lavagem de São João  
Fonte: SRES

A cerca de 50 metros a jusante um posto de abastecimento também ficou danificado, principalmente a parte edificada. A água que fluía na estrada transportava material sólido que depositou-se no estabelecimento, provocando alguns danos.

Na zona baixa da cidade, a cerca de 214 metros da foz, a parte subterrânea da ribeira ficou obstruída. O fluxo que corria com elevados níveis de velocidade e caudal, ao chegar à secção congestionada causou uma forte pressão que resultou no levantamento das lajes que cobriam o leito da ribeira na secção SJ\_3. Estas lajes, que formavam uma rotunda ficaram danificadas e tiveram de ser posteriormente removidas (Figura 64).



Figura 64: Laje de cobertura da Ribeira danificada  
Fonte: SRES

Na mesma zona, na margem esquerda está situado o centro comercial Dolce Vita. O parque de estacionamento subterrâneo ficou completamente submerso. O fluxo que

invadiu o estacionamento, para além de o inundar, também deixou uma grande quantidade de sedimentos sólidos, essencialmente nos pisos inferiores. Muitas viaturas não foram retiradas a tempo e ficaram muito danificadas.

A situação foi idêntica no parque de estacionamento do Marina Shopping. Estas instalações para estacionamento ficaram inundadas durante vários dias e as autoridades foram obrigadas a grandes trabalhos para normalizar a situação.

Como revela a figura 65, muito material sólido chegou à rotunda Dr. Francisco Sá Carneiro, deixando algumas marcas de destruição. O jardim, o passeio e os varões que delimitavam a rotunda ficaram com alguns estragos.

As instalações dos clubes, barcos e outros equipamentos situados na marina também sofreram danos (figura 66).



Figura 65: Rotunda Dr. Francisco Sá Carneiro  
Fonte: SRES



Figura 66: Marina do Funchal  
Fonte: SRES

De referir que em alguns troços da ribeira, onde o leito foi significativamente erodido, os descarregadores funcionaram como pequenas barragens até serem destruídos. Alguns muros laterais da canalização da ribeira também foram danificados junto à base, mas nenhum cedeu por completo.

A figura 67 ilustra um mapa onde foram sinalizadas algumas das infra-estruturas danificadas. Na sua análise fica claro que a zona baixa da cidade foi a área que mais danos sofreu. Junto ao curso de água principal, em Santo António, também observa-se um pequeno aglomerado de pontos numa zona também bastante maltratada. Os restantes pontos encontram-se mais dispersos e sinalizam danos junto a afluentes ou danos provocados por deslizamentos de terra.

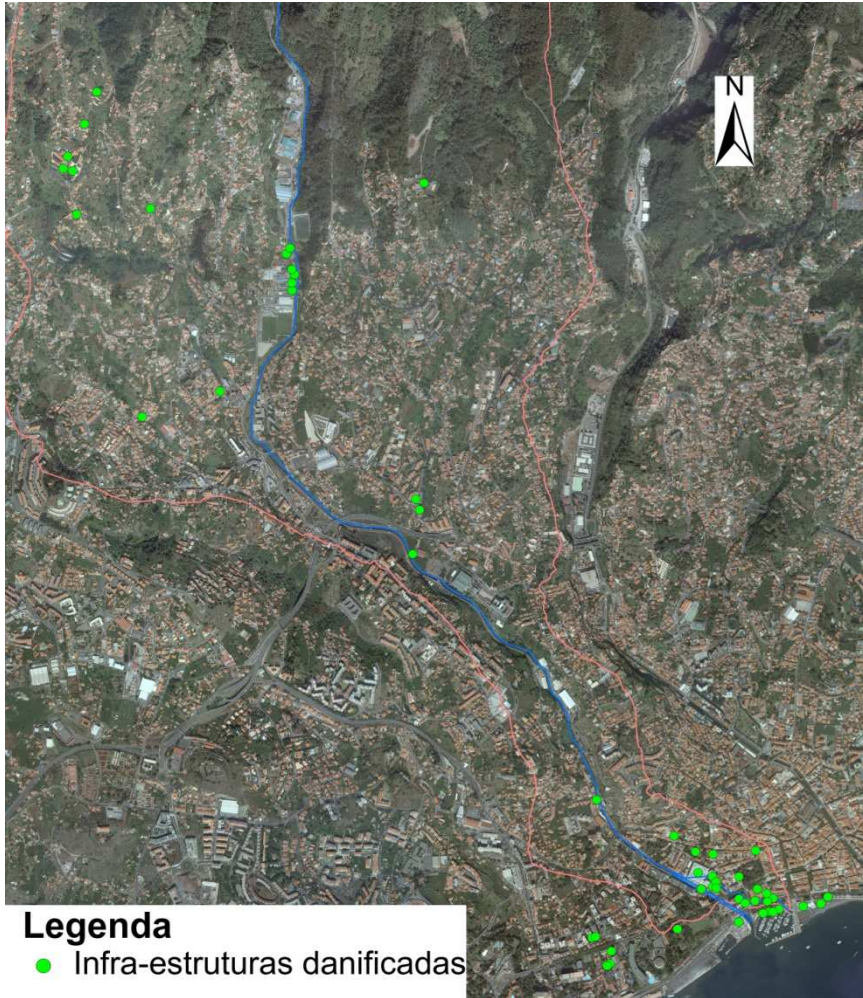


Figura 67: Mapa das principais infra-estruturas danificadas identificadas

### 5.3.5. Estimativa do Caudal Máximo

Para as secções transversais seleccionadas do curso principal da Ribeira de São João, fez-se uma estimativa dos caudais máximos e velocidade de escoamento verificados durante o evento de 20 de Fevereiro. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 20.

Num curso de água em que estas secções transversais, em mais de 90% dos dias do ano, apresentam um caudal baixo, apresentando valores inferiores a 25 m<sup>3</sup>/s com uma secção molhada com 30 centímetros de altura no máximo, estes valores são considerados extraordinariamente elevados.

Quadro 20: Caudal e velocidade de escoamento das secções transversais

Secção	Aw [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ] (Secção com transbordo)	P molhado [m]	Rh [m]	n	Inclinação (l) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
SJ_1	13,10	-	15,10	0,87	0,02	0,04	103,15	7,87
SJ_2	12,00	-	14,00	0,86	0,02	0,07	125,09	10,42
SJ_3	-	36,70	42,10	0,87	0,01	0,07	772,28	31,91
SJ_4	37,80	-	17,80	2,12	0,02	0,07	771,09	20,40
SJ_5	21,80	-	14,90	1,46	0,01	0,11	889,51	40,80
SJ_6	50,48	-	20,62	2,45	0,02	0,04	833,02	16,50
SJ_7	43,02	-	19,17	2,24	0,02	0,11	1.544,43	35,90
SJ_8	21,33	-	13,11	1,63	0,01	0,07	623,13	29,22
SJ_9	22,69	-	15,35	1,48	0,02	0,09	482,45	21,26
SJ_10	22,73	-	14,09	1,61	0,02	0,04	288,20	12,68
SJ_11	22,83	-	15,41	1,48	0,02	0,06	328,08	14,37
SJ_12	21,28	-	14,64	1,45	0,02	0,06	299,52	14,07
SJ_13	19,25	-	13,63	1,41	0,02	0,09	379,33	19,71
SJ_14	22,43	-	15,22	1,47	0,02	0,15	509,58	22,71
SJ_15	22,71	-	15,36	1,48	0,02	0,04	254,37	11,20
SJ_16	22,50	-	15,25	1,48	0,02	0,05	320,21	14,23
SJ_17	22,00	-	15,00	1,47	0,02	0,09	409,58	18,62
SJ_18	21,61	-	14,80	1,46	0,02	0,11	441,35	20,43
SJ_19	-	17,89	37,78	0,47	0,02	0,05	127,21	10,70
SJ_20	-	14,46	24,42	0,59	0,02	0,05	142,13	15,03
SJ_21	36,88	-	27,59	1,34	0,02	0,12	810,11	21,96
SJ_22	42,00	-	31,00	1,35	0,03	0,14	682,02	16,24
SJ_23	118,05	-	81,70	1,44	0,05	0,16	1.156,08	9,79
SJ_24	57,75	-	41,50	1,39	0,03	0,18	1.012,37	17,53

#### 5.4. Análise e Discussão dos resultados

É importante referir que devido ao perigo do acontecimento de 20 de Fevereiro, a maior parte da informação foi recolhida posteriormente. As secções transversais da ribeira foram medidas após o evento, assim como as áreas de deposição de sólidos e as áreas inundadas.

A maior parte dos valores apresentados foram obtidos com base em fotografias, vídeos e testemunhos de pessoas que presenciaram o sucedido. Partindo deste princípio, é possível afirmar que, os dados obtidos, são estimativas aproximadas do que realmente se verificou.

Quanto aos resultados obtidos, o volume total de material sólido transportado e depositado ao longo do curso da ribeira chega aos 240.272,7 metros cúbicos. Acredita-se que este é um valor subestimado, pois muito material chegou até ao mar onde se depositou. Muito material ficou espalhado pela cidade em pequenas quantidades tendo, por isso, sido desprezado.

Para as áreas inundadas o valor estimado é de 42.722 metros quadrados, considerando apenas as áreas com água em quantidade suficiente, ao ponto de ser considerada área inundada.

Os valores para os caudais foram obtidos através de dados obtidos em fotos ou vídeos. Os vídeos recolhidos referem-se obviamente apenas a curtos espaços de tempo e daí não ser possível saber com certeza se a imagem corresponde ao ponto máximo de caudal. As fotografias têm o mesmo tipo de limitação. Ainda assim, os resultados apresentam valores satisfatórios, podendo em algumas secções apresentar valores demasiado elevados, pois em certas secções gerou-se uma turbulência no escoamento da ribeira. Essa turbulência fez com que o valor da secção molhada aumentasse e com que a velocidade do escoamento diminuísse. Não foi possível entrar com esse factor durante os cálculos, o que originou valores de caudais elevados.

As últimas duas secções apresentam um decréscimo de caudal que pode ser explicado devido ao transbordo que se verificou a montante, na secção SJ\_3.

## 6 – Conclusões

A análise climatológica, geológica e geomorfológica feita à bacia hidrográfica da Ribeira de São João é fundamental para enquadrar o trabalho feito em relação ao evento de 20 de Fevereiro. No fundo, o clima é o primeiro factor a ter em conta em situações de aluvião. A geologia e geomorfologia da bacia são igualmente temas importantes. O relevo da ilha, estabilidades das vertentes, tal como os deslizamentos e desabamentos de terra têm grande influência em relação ao volume de sólido que se depositou em algumas secções da ribeira e não só.

Da análise morfométrica feita à bacia hidrográfica conclui-se que esta é uma bacia pouco propícia a cheias. Os valores de precipitação ocorridos a 20 de Fevereiro são valores excepcionais que causariam problemas a qualquer bacia hidrográfica com características geológicas semelhantes.

O trabalho feito em relação a anteriores aluviões alerta para a importância deste fenómeno na ilha da Madeira. Conclui-se que estes acontecimentos são cíclicos e que em qualquer altura nova aluvião pode acontecer.

A imprevisibilidade dum acontecimento tal como o que é tratado neste trabalho é o primeiro obstáculo à realização do mesmo. A ciência da meteorologia não permite fazer uma previsão ao ponto de quantificar a precipitação que irá ocorrer no dia seguinte ou mesmo no próprio dia. Por isso o evento de 20 de Fevereiro constituiu uma surpresa. Para além da imprevisibilidade, também a perigosidade fez com que a comunidade madeirense se mantivesse protegida, resultando, em várias situações, numa escassez de informação sobre o evento. Esta situação é mais evidente nas zonas mais altas ou desabitadas onde a informação é praticamente nula.

Ainda assim, nesta dissertação é feita uma análise aos acontecimentos de 20 de Fevereiro que pode servir de base a uma ponderação acerca de medidas a serem adoptadas de maneira a reduzir o impacte de nova aluvião.

Algumas dessas medidas, podem contribuir para reduzir a quantidade de material rochoso que normalmente é arrastado em situações de grande precipitação. Medidas como, parar com a desflorestação e incentivar à florestação com plantas e árvores endémicas (estas adaptam-se melhor às condições da ilha e têm menos probabilidade de serem arrancadas), contribuirá para que se reduza a erosão e a quantidade de escorregamentos de inertes. Actualmente, e devido aos incêndios do passado Verão (13 de Agosto de 2010), esta medida torna-se urgente, principalmente nas serras do Funchal. O leito das ribeiras também deve ser alvo de uma frequente manutenção e limpeza, sem descurar a importância de manter equilíbrio no seu ecossistema.

É necessário rever o ordenamento do território e ter uma atitude responsável na elaboração de planos nas zonas próximas do leito das ribeiras. Posteriormente é

importante cumpri-los. Medidas como sinalizar zonas de risco poderão ter uma grande importância. Nestas zonas será possível interditar a construção e noutros casos flagrantes é necessário reposicionar algumas infra-estruturas para locais mais seguros.

Algumas zonas de leito canalizado, por muros de pedra ou betão armado, sofrem estrangulamentos ou curvas demasiado pronunciadas que originaram situações como deposição de sólidos e transbordos de caudal. Rever estas obras também poderá ser uma boa medida.

Na ribeira de São João, mais concretamente em Santo António, o assoreamento da ribeira pode ter sido provocado pelo brusco estreitamento no leito da ribeira, na zona em que se inicia a canalização por muros de betão.

Na zona baixa do Funchal o estrangulamento da ribeira também é evidente, e numa zona onde o declive do leito não é tão pronunciado, o assoreamento foi elevado. Nesta zona de leito subterrâneo, é fácil chegar à conclusão que se fosse a descoberto, as zonas circundantes poderiam não ter sofrido tanto com inundações e deposição de material sólido. Visto estar a falar de uma zona com uma densidade de construção enorme esta não seria uma solução fácil de adoptar. Ainda assim, aumentar a secção de escoamento da ribeira e manter este troço sempre muito bem limpo e desobstruído poderá melhorar o seu comportamento.

Devido à foz se situar ao largo do porto do Funchal torna-se especialmente importante fazer uma frequente dragagem na foz. Numa zona onde a normal corrente do mar está limitada, a capacidade de recepção da carga sólida transportada poderá ser insuficiente.

Finalmente, de modo a possibilitar uma melhor e mais rápida resposta dos meios de socorro poderá também ser executado um plano de emergência. A polícia, exercito, bombeiros e protecção civil poderão, em conjunto, elaborar um plano que possa ser seguido em situações de crise para que se perca menos tempo na organização e mobilização de meios e pessoal disponível para o resgate.

## Bibliografia

ALENCOÃO, Maria; FERREIRA, Martim (1998) – Algumas Características Morfológicas da Bacia Hidrográfica e do Percurso do Rio Pinhão. 4º Congresso da Água. Lisboa. Março de 1998.

BRUM DA SILVEIRA, A.; MADEIRA, J. , RAMALHO, R.; FONSECA, P.; PRADA, S. & RODRIGUES, C. F. (2008) *A new Geological Map of Madeira Island, Portugal*. Abstracts of the 2008 IAVCEI General Assembly, Reykjavík, in CD-Rom (Monday, Aug. 18th, oral presentations): 80.

CASCALHO, João; OLIVEIRA, Anabela; RODRIGUES, Aurora; TABORDA, Rui; FONSECA, Raul; FERNANDES, Carlos (2007) – Características Sedimentares da Plataforma SW da Ilha da Madeira. IV Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. Funchal. Outubro de 2007.

FERNANDES, Mariela (2009) – Riscos no Concelho da Ribeira Brava. Movimentos de Vertente. Cheias Rápidas e Inundações. Tese de Mestrado. Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra.

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

FIGUEIRA, Celso (2009) – Estudo da Precipitação Oculta nas Florestas Naturais do Norte do Paul da Serra, Ilha da Madeira – Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Ecologia da Paisagem e Conservação da Natureza. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

FIGUEIRA, C; PRADA, S; SEQUEIRA, M; PERESTRELO, A; SILVA, M. O. (2006) – Estudo de precipitação oculta em dois tipos de vegetação da ilha da Madeira. 8º Congresso da Água. Figueira da Foz. Março de 2006.

GELDMACHER, J.; BOGAARD, P.; HOERNLE, K.; SCHMINCKE, H. (2000) – Ar Age Dating Of The Madeira Archipelago and Hotspot Track (Eastern North Atlantic). Geomar Wischhofstrasse 1: 109–122.

LENCASTRE, A.; FRANCO, F.M. (2006) – Lições de Hidrologia. 3ª Edição. Fundação da Faculdade de Ciências de Lisboa. Lisboa. Março de 2006.

LOPES, Sérgio (2003) – O Risco de “Aluvião” nas Bacias Hidrográficas Concelho do Funchal. Contributo Para o Ordenamento do Território. Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa. Junho de 2003.

LOUREIRO, João (1982) – Monografia hidrológica da Ilha da Madeira. Seminário sobre a Caracterização e Gestão de Recursos Hídricos em Ilhas Vulcânicas. Funchal. Novembro de 1982.

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.

MACIEL, Olga (2000) – As Aluviões na Ilha da Madeira, uma manifestação de risco climático (meteorológico) e hidrológico. Seminário de Geografia Física II. Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra. Maio de 2000.

MARZOL, M<sup>a</sup> V.; YANES, A.; ROMERO, C.; BRITO DE AZEVEDO, E.; PRADA, S.; MARTINS, A. (2006) – Los riesgos de las lluvias torrenciales en las islas de la Macaronesia (Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde). In: Cuadrat Prats, J.M.; Saz Sánchez, M.A.; Vicente Serrano, S.M.; Lanjeri, S.; De Luis Arrillaga, M. y González-Hidalgo, J.C. (Eds): *Clima, Sociedad y Medio Ambiente. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), 2006, Serie A, nº 5, p.443-452.*

MARZOL, M<sup>a</sup> 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 Internationale de Climatologie (AIC), Épernay: 415-420.*

MATA-LIMA, Herlander; VARGAS, Hugo; CARVALHO, Julia; GONÇALVES, Marcia; CAETANO, Hugo; MARQUES, Andreia; RAMINHOS, Cristina (2007) – Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. R. Esc. Minas, Ouro Preto, 60(3): 525-536, Julho/Setembro de 2007.

OLIVEIRA, Rodrigo (2009) – Apontamentos da Cadeira Hidrologia e Recurso Hídricos. Ano lectivo 2009/2010. Instituto Superior Técnico.

OLLET, Edgardo (2008) – Flash Flood and Landslide Disaster in the Philippines: Reducing Vulnerability and Improving Community Resilience. Tese de Mestrado. The University of Newcastle, Australia. Agosto de 2008.

PRADA, Susana (2000) – Geologia e Recursos Hídricos Subterrâneos da Ilha da Madeira. Tese de Doutoramento. Universidade da Madeira. Funchal. 2000.

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.

PRADA, S., GASPAR, M.A., SILVA, M.O., CRUZ, J.V., PORTELA, M.M., HORA, G.R. (2003) – Recursos Hídricos da Ilha da Madeira. Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro, Tomo 90: 125-142.

PRADA, S., MENDONÇA, J., SILVA, M.O., GASPAR, A., FIGUEIRA, C., PONTES A. (2008) – Delimitação dos perímetros de protecção das galerias de captação do maciço do Paul da Serra, Ilha da Madeira. In: “Documentos Técnicos e Divulgativos, DVD” do Guia da Água na Macaronésia Europeia. AQUAMAC. Suarez, B.P., Rodríguez, G.M., Peña, L.M., Marfil, M.A., González, J.F. (Coord.). Edição do Instituto Tecnológico de Canárias, S.A.

PRADA, S., MENEZES DE SEQUIERA, M., FIGUEIRA, C., PRIOR, V., SILVA, M. O. (2010) - Response to “Comment on fog precipitation and rainfall interception in the natural forests of Madeira Island (Portugal)” – *Agricultural and Forest Meteorology*. 2010.

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.

PRAM (2002) – 1ª Fase: Caracterização e Diagnóstico da Situação Actual. Plano Regional da Água da Madeira. Agosto de 2002.

QUINTAL, Raimundo (1999) – Aluviões da Madeira, Desde o Século XIX. *Revista Territorium 6*, MINERVA. Coimbra.

QUINTELA, A. C. (1996) – Hidrologia e Recursos Hídricos. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

RAMOS, Catarina; REIS, Eusébio (2001) – As cheias no Sul de Portugal em diferentes tipos de Bacias Hidrográficas. *Finisterra*, XXXVI, 71, 2001, pp. 61-82.

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.

RICARDO, R.; SILVA DA CÂMARA, E.; FERREIRA, M. (1992) – Carta dos Solos da Ilha da Madeira. Região Autónoma da Madeira. Lisboa.

SALVADOR, Domingues – Roteiro para geração de carta de drenagens e delimitação de Bacias Hidrográficas a partir de MDE no ARCGis 9. SUREG/SP.

SOBRINHO, Teodorico; OLIVEIRA, Paulo; RODRIGUES, Dulce; AYRES, Fábio (2010) – Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.30, n.1, p.46-57, Janeiro/Fevereiro de 2010.

TEODORO, Valter; TEIXEIRA, Denilson; COSTA, Daniel; FULLER, Beatriz (2007) – O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. *Revista UNIARA*, n.º 20.

Sítios na Internet:

Atlas Digital do Ambiente:

<http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp?zona=madeira&grupo=madeira.m0&tema=madeira.m0>, acedido em 13 de Outubro de 2010.

Biblioteca Pública Regional da Madeira:

[http://www.bprmadeira.org/index\\_digital.php?IdSeccao=351](http://www.bprmadeira.org/index_digital.php?IdSeccao=351), acedido em 8 de Setembro de 2010.

Blog GEO.net:

<http://blog.geoprocessamento.net/2010/07/delimitacao-de-bacias-hidrograficas-e-a-extracao-de-redes-de-drenagem/>, acedido em 21 de Julho de 2010.

Câmara Municipal do Funchal:

<http://geo.cm-funchal.pt/munisigweb/%28S%28ebjy4yy33pehlqinrsx1x1jm%29%29/MapView/SectionsViewer.aspx?id=138>, acedido em 21 de Setembro.

Geospatial Innovation Facility:

[http://gif.berkeley.edu/CE/Summer2007/GISanalysis\\_Exercise\\_August22\\_UCCE\\_Hydro.pdf](http://gif.berkeley.edu/CE/Summer2007/GISanalysis_Exercise_August22_UCCE_Hydro.pdf), acedido em 21 de Julho de 2010.

Governo Regional da Madeira:

<http://www.gov-madeira.pt/madeira/conteudo/displayconteudo.do2?numero=263>, acedido em 27 de Agosto de 2010.

Quercus:

<http://madeira.quercus.pt/scid/subquercus/defaultarticleViewOne.asp?categorySiteID=313&articleSiteID=399>, acedido em 22 de Junho de 2010.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil:

[http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nti/estudos\\_id/bvp](http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nti/estudos_id/bvp), acedido em 7 de Junho de 2010.

Madeira Nature:

[http://www.madeiranature.com/index/cms/page/-/page/nature\\_flora/lang/pt](http://www.madeiranature.com/index/cms/page/-/page/nature_flora/lang/pt), acedido em 8 de Julho de 2010.

# ANEXOS



## ANEXO 1 – Fichas de Campo



## Anexo 1:

### 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.*

## Anexo 2:

### 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.*



ANEXO 2 - Ficha de caracterização de uma secção transversal de um  
curso de água



## Anexo 1:

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

---

#### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: Secção SJ\_1

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 0

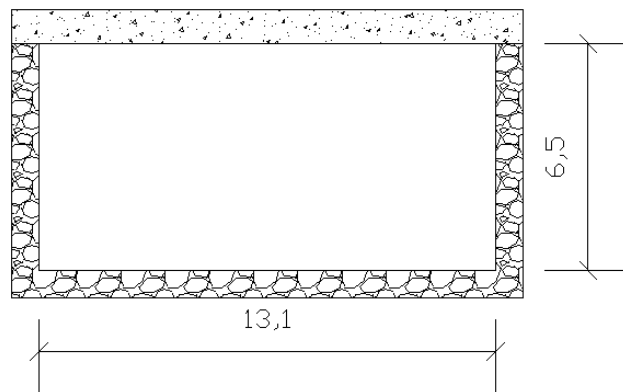
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20675 13650 (Sistema UTM)

#### Descrição sumária:

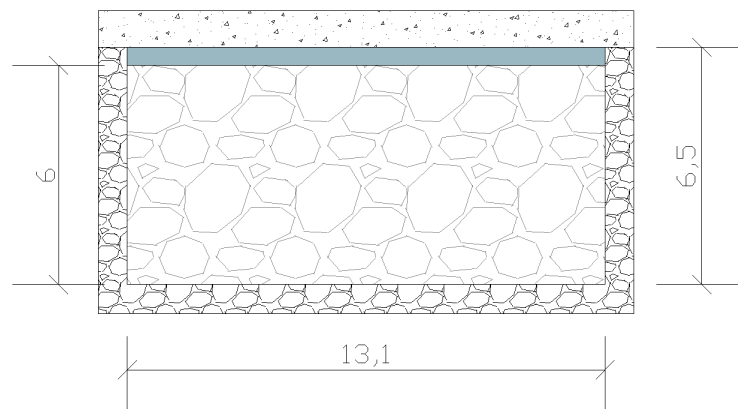
Secção em forma de tubo rectangular. Situada junto à foz na Avenida do Mar.

#### Geometria

Croquis da secção antes de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Secção rectangular delimitada por muros e uma laje de betão armado sem qualquer tipo de vegetação. Leito da ribeira com detritos desde areias a todo o tipo de balastos.

#### Elementos relevantes nas redondezas:

Nada a registar.

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

- A secção ficou quase completamente obstruída por detritos sólidos havendo ainda assim algum fluxo líquido até ao limite superior da secção.
- Depósitos de material sólido até uma cota de aproximadamente de 6 metros;

Dados estimados:

Quadro A.1. 1: Possíveis valores no auge do evento na secção 1

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
85,15	1,0	6,00	78,60	6,55	0,04	103,15	7,87



Figura A.1.1: Secção SJ\_1

# Anexo 1:

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

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_2

Curso de água: Principal

Distância à foz (m):146

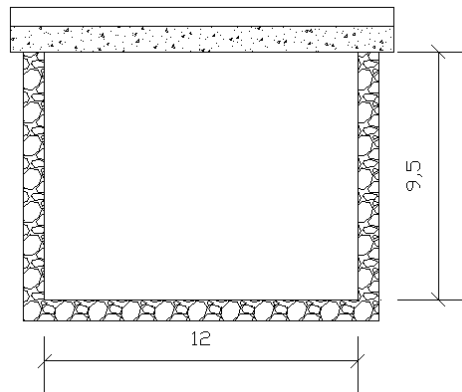
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20550 13725 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

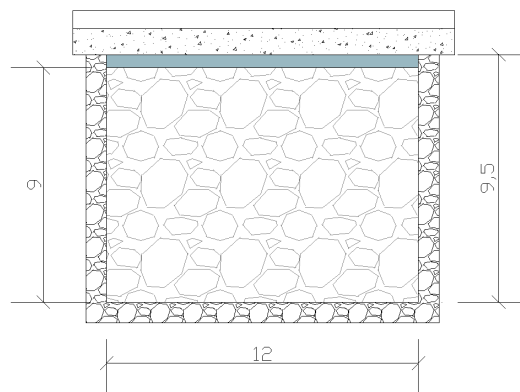
Secção tubular de geometria rectangular situada na parte da cobertura da Ribeira. O leito da ribeira corre por baixo de uma laje suportada por vigas de betão armado.

### Geometria

Croquis da secção antes de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Margens da Ribeira delimitadas por muros de betão. Leito composto por sedimentos de todo o tipo.

#### Elementos relevantes nas redondezas:

Prédio em construção junto à margem direita.

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

- Os depósitos obstruíram por completo a secção;

Dados estimados:

Quadro A.1.2: Possíveis valores no auge do evento na secção 2

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
114,00	0,50	9,00	108,00	6,00	0,00	1,06	0,18



Figura A.1.2: SJ\_2

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_3

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 305

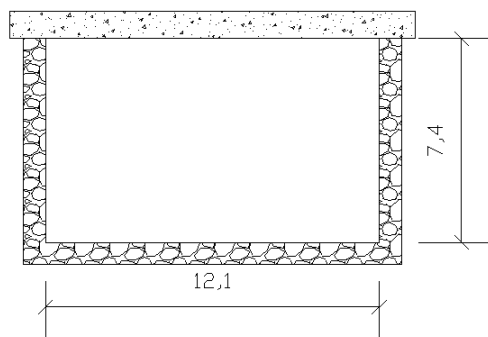
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20500 13760 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

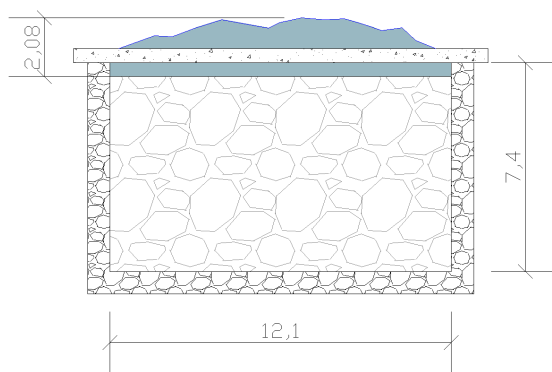
Secção de geometria rectangular, contraventada por vigas no topo dos muros laterais. A secção estudada é no centro da rotunda, lá antes existente, onde há uma interrupção na laje que cobre a Ribeira na zona baixa do Funchal. Nesta secção verificou-se transbordo de caudal.

### Geometria

Croquis da secção antes de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção na tarde de 20 de Fevereiro.



Muros de betão contraventados por vigas e uma laje de betão armado, sem qualquer tipo de vegetação.

#### Elementos relevantes nas redondezas:

Parque de estacionamento subterrâneo do Centro Comercial Dolce Vita;

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

- Depósitos de material sólido até uma cota de aproximadamente de 8,4 metros.

Dados estimados:

Quadro A.1.3: Possíveis valores no auge do evento na secção 3

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
89,54	2,00	7,40	89,54	24,20	0,31	405,22	16,74



Figura A.1.3: SJ\_3

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_4

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 343

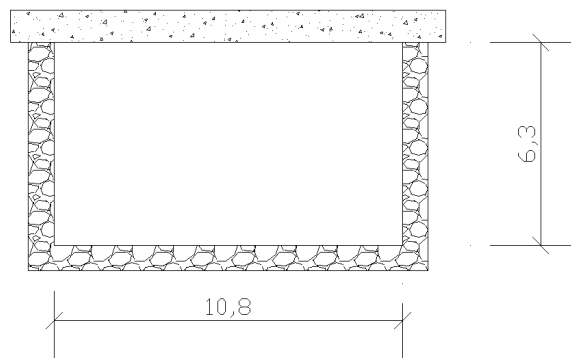
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20425 13825 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

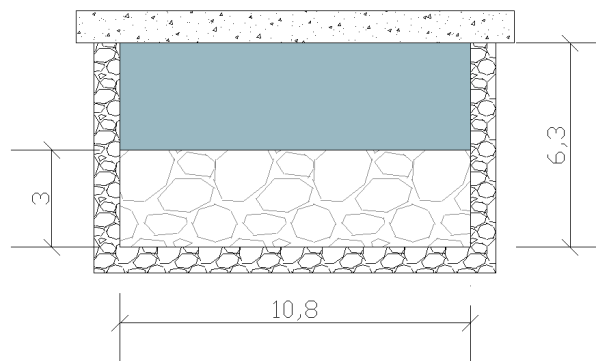
Secção transversal de geometria rectangular, contraventada por vigas no topo dos muros laterais que delimitam as margens. Zona onde se inicia a parte coberta da Ribeira.

### Geometria

Croquis da secção antes de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Secção definida por muros de betão armado. O leito com argila, areia e calhau. O leito está parcialmente coberto por vigas de betão armado. Estrada alcatroada em ambas as margens.

### Elementos relevantes nas redondezas:

Nada a registar.

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

Houve assoreamento até cerca de metade da secção.

Dados estimados:

Quadro A.1.4: Possíveis valores no auge do evento na secção 4

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
68,04	3,50	3,00	32,40	37,80	0,07	526,96	13,94



Figura A.1.4: SJ\_4

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_5

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 391

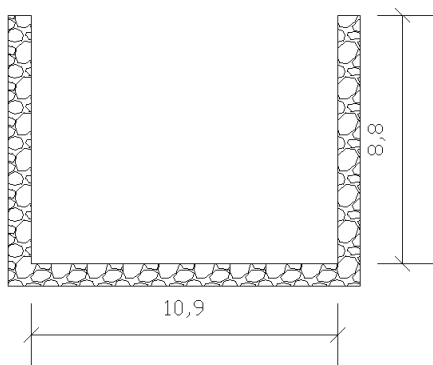
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20350 13850 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

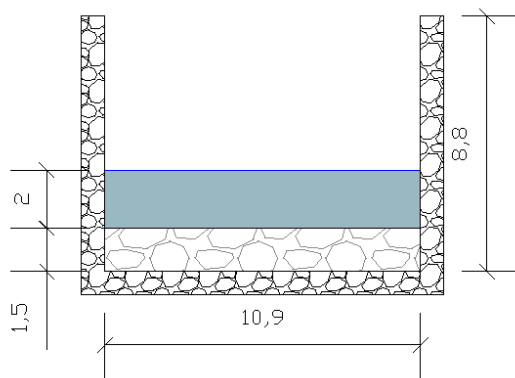
Secção de geometria rectangular. Junto a uma ponte de passagem para peões entre as margens.

### Geometria

Croquis da secção antes do evento de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Margens da Ribeira delimitadas por muros de betão. Leito composto por sedimentos de todo o tipo.

### Elementos relevantes nas redondezas:

Habitacões junto à margem direita.

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

- Superfície livre atingiu uma cota máxima de aproximadamente 3,5m por volta do meio-dia;
- Depósitos de sedimentos com aproximadamente 1,5m de altura;

Dados estimados:

Quadro A.1.5: Possíveis valores no auge do evento na secção 5

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
95,92	2,00	1,50	16,35	21,80	0,11	383,46	17,59

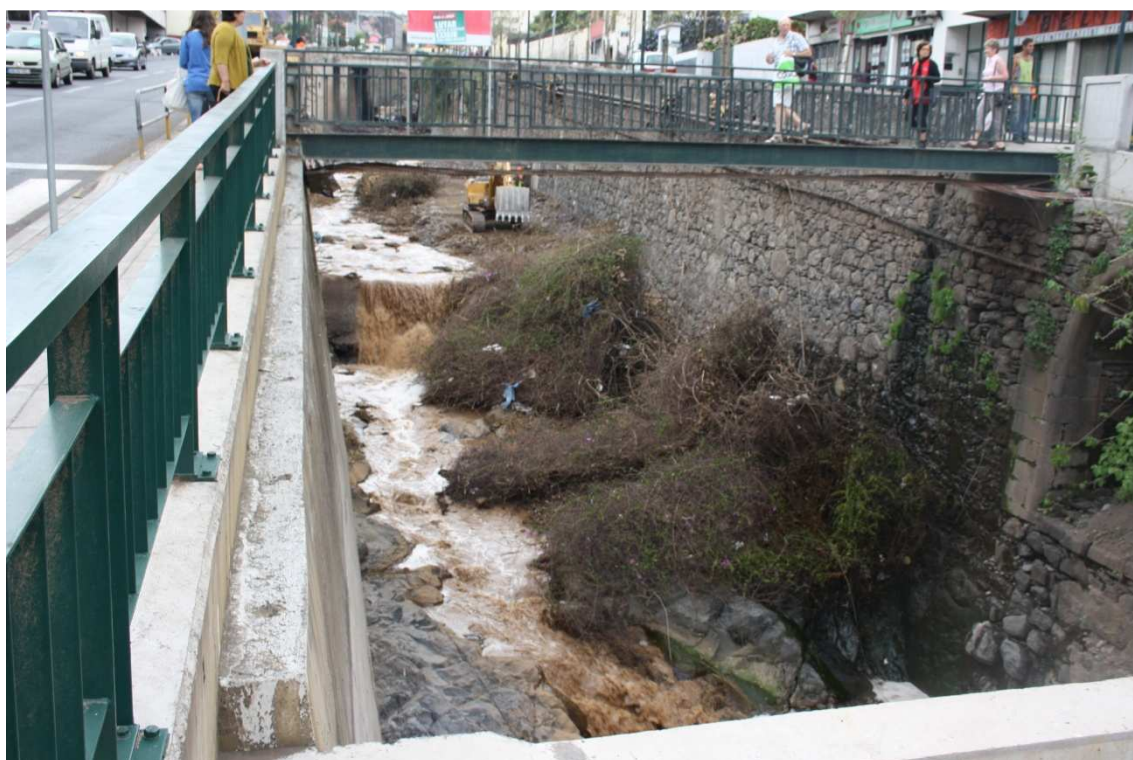


Figura A.1.5: SJ\_5

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira São João

Designação: SJ\_6

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 674

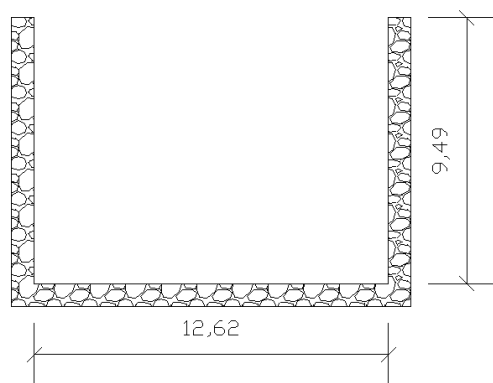
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20100 14025 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

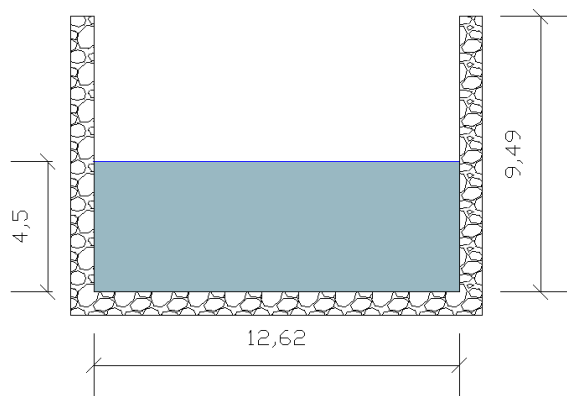
Secção de geometria rectangular. Junto a uma ponte de pedra em arco.

### Geometria

Croquis da secção antes de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Muros de pedra aparelhada, agora reforçados na base por muros de betão. O leito composto por sedimentos rochosos de pequena e media dimensão.

### Elementos relevantes nas redondezas:

Nada a registar.

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

- Não houve deposição de sedimentos no leito da Ribeira
- Cota máxima da superfície livre chegou aproximadamente aos 4,5m;

Dados estimados:

Quadro A.1. 6: Possíveis valores no auge do evento na secção 6

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
119,76	4,00	0,00	0,00	50,48	0,04	410,01	8,12



Figura A.1.6: SJ\_6

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_7

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 883

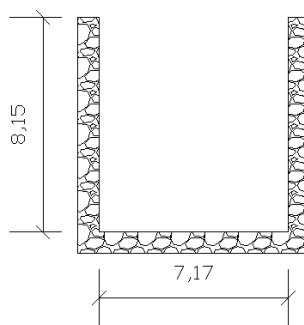
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 20000 14175 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

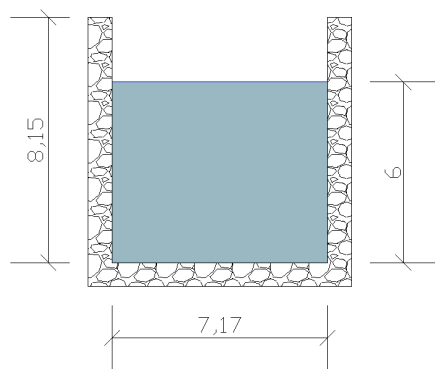
Secção de geometria rectangular. Junto a uma ponte (a montante) e a um edifício que fica parcialmente dentro da secção da Ribeira. Uma zona em que há estreitamento na forma da secção. À esquerda passa uma estrada alcatroada.

### Geometria

Croquis da secção antes de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção após a manhã de 20 de Fevereiro.



Secção definida por muros de betão e leito composto por todo o tipo de sedimentos.

#### Elementos relevantes nas redondezas:

Auto Lavagem na margem direita e posto de abastecimento GALP também na mesma margem mas uns metros mais a baixo;

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

- Não houve depósitos significativos no leito da Ribeira.

Dados estimados:

Quadro A.1.7: Possíveis valores no auge do evento na secção 7

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
58,44	6,00	0,00	0,00	43,02	0,11	736,05	17,11



Figura A.1.7: SJ\_7

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_8

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 1062

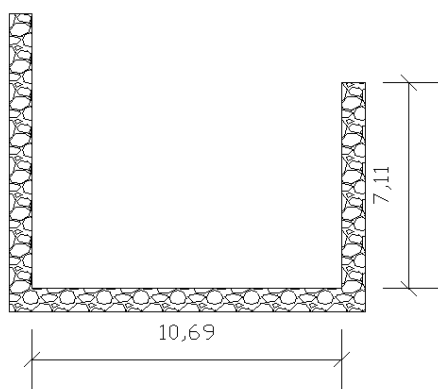
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 19900 14450 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

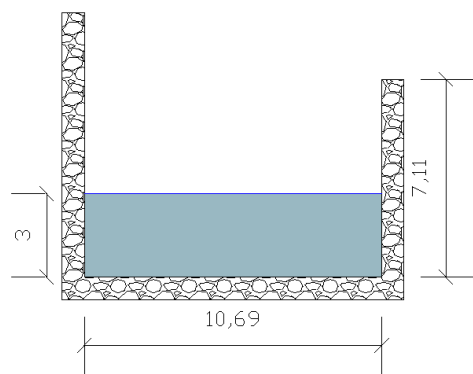
Secção de geometria rectangular. Junto a uma ponte pedonal de acesso a algumas habitações.

### Geometria

Croquis da secção antes de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Muros de betão delimitam as margens da Ribeira. Leito com sedimentos de todo o tipo. Estrada alcatroada na margem esquerda.

### Elementos relevantes nas redondezas:

Nada a registar.

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

- Cota da superfície livre chegou aproximadamente aos 3m por volta do meio-dia;
- Não houve deposição de sedimentos no leito da Ribeira;

Dados estimados:

Quadro A.1.8: Possíveis valores no auge do evento na secção 8

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
75,96	3,00	0,00	0,00	21,33	0,07	331,91	15,56



Figura A.1.8: SJ\_8

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_9

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 1498

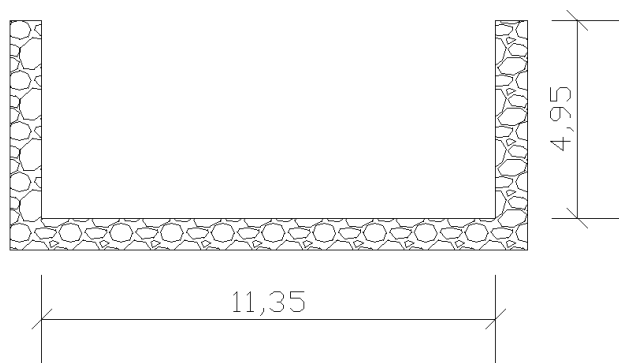
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 19750 14750 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

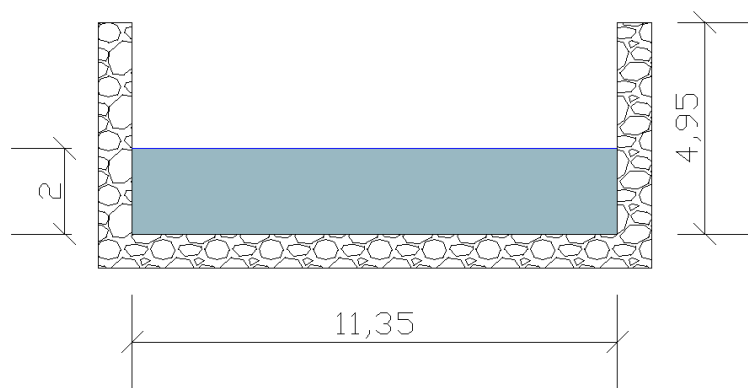
Secção de geometria rectangular. Junto a um descarregador.

### Geometria

Croquis da secção antes de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Margens delimitadas por muros de betão. No leito é visível rocha, algum betão e blocos de basalto.

### Elementos relevantes nas redondezas:

Nada a registar.

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

- Superfície livre subiu até uma cota aproximadamente de 2m. Ondas periódicas de fluxo ultrapassaram largamente essa cota.
- Não houve deposição de sedimentos no leito da Ribeira;

Dados estimados:

Quadro A.1.9: Possíveis valores no auge do evento na secção 9

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
56,13	2,00	0,00	0,00	22,69	0,09	368,46	16,24



Figura A.1.9: SJ\_9

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_10

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 1587

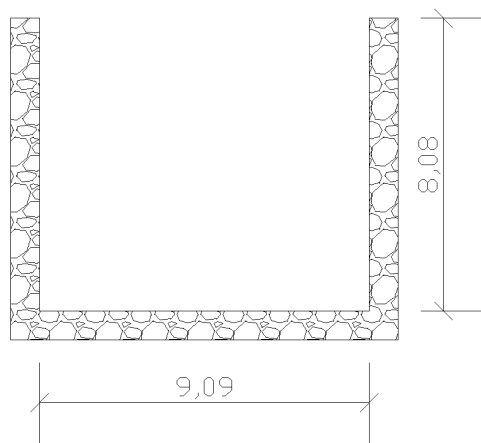
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 19700 14850 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

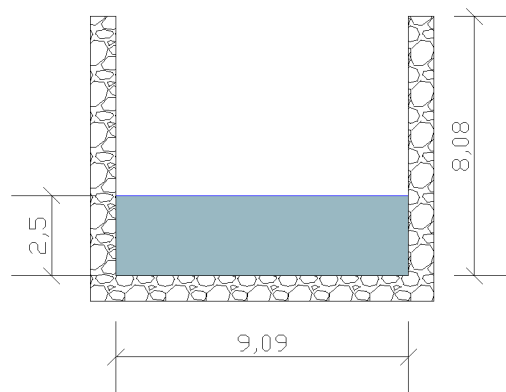
Numa zona onde há um ligeiro constrangimento da secção. A montante de uma ponte.

### Geometria

Croquis da secção antes do evento de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Margens definidas por muros de betão. Leito da ribeira com sedimentos desde areias até calhaus. Estrada alcatroada na margem direita.

#### Elementos relevantes nas redondezas:

Stand de automóveis na margem esquerda.

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

- Superfície livre subiu até uma cota aproximadamente de 2,5m.
- Não houve deposição de sedimentos no leito da Ribeira;

Quadro A.1.10: Possíveis valores no auge do evento na secção 10

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	v [m/s]
73,42	2,50	0,00	0,00	22,73	0,04	202,45	8,91



Figura A.1.10: SJ\_10

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_11

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 1845

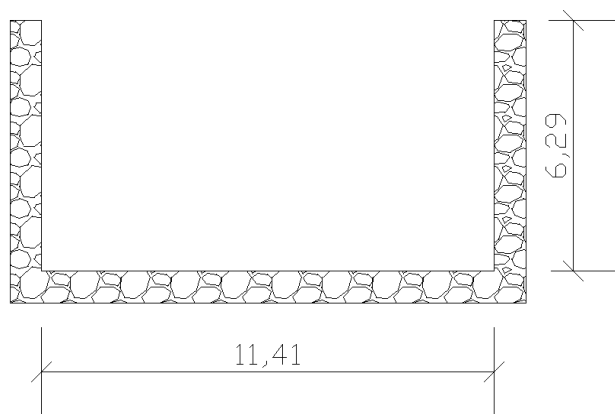
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 19500 15000 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

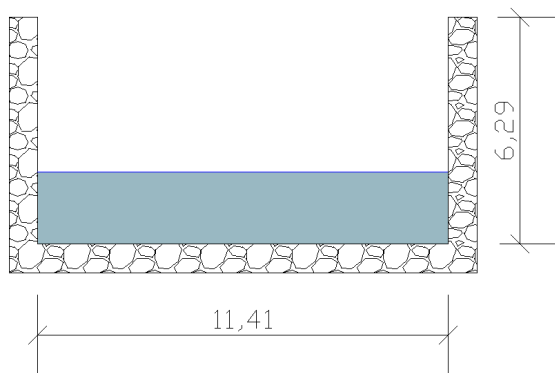
Secção de geometria rectangular situada no curva pouco pronunciada.

### Geometria

Croquis da secção antes do evento de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Margem delimitadas por muros de betão. No leito, todo o tipo de balastros. Estrada alcatroada na margem direita.

#### Elementos relevantes nas redondezas:

Nada a registar.

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

- Superfície livre subiu até uma cota aproximadamente de 2m.
- Não houve deposição de sedimentos no leito da Ribeira;

Dados estimados:

Quadro A.1.11: Possíveis valores no auge do evento na secção 11

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
71,82	2,00	0,00	0,00	22,83	0,06	297,96	13,05



Figura A.1.11: SJ\_11

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_12

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 2007

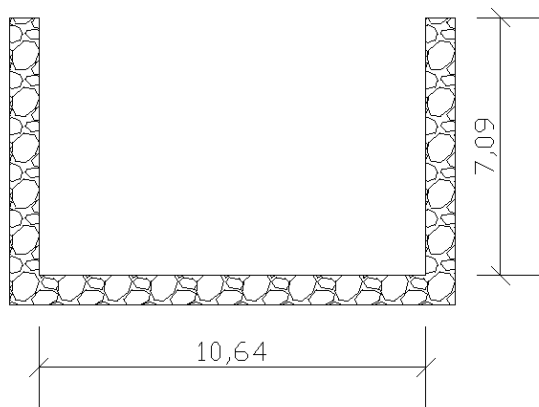
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 19350 15150 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

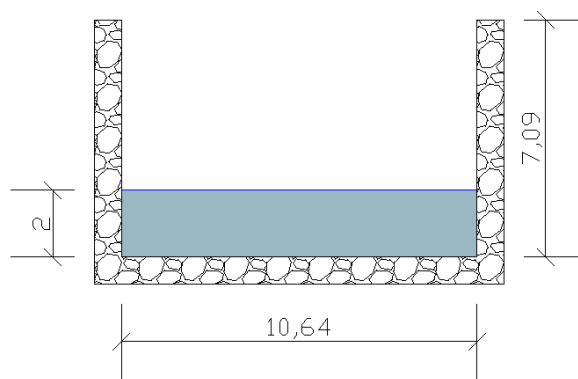
Secção de geometria rectangular. Junto à ponte pedonal de acesso à Universidade da Madeira.

### Geometria

Croquis da secção antes do evento de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Margem delimitadas por muros de betão. No leito, todo o tipo de balastros. Estrada alcatroada na margem direita.

#### Elementos relevantes nas redondezas:

Nada a registar.

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

- Superfície livre subiu até uma cota aproximadamente de 2m. Ondas periódicas de fluxo ultrapassaram largamente essa cota.
- Não houve deposição de sedimentos no leito da Ribeira;

Dados estimados:

Quadro A.1.12: Possíveis valores no auge do evento na secção 12

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
75,47	2,00	0,00	0,00	21,28	0,06	274,81	12,91



Figura A.1.12: SJ\_12

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_13

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 2233

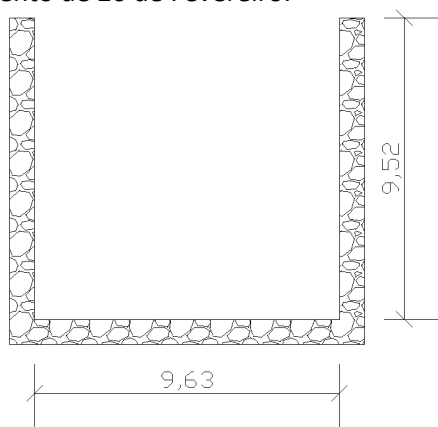
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 19200 15275 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

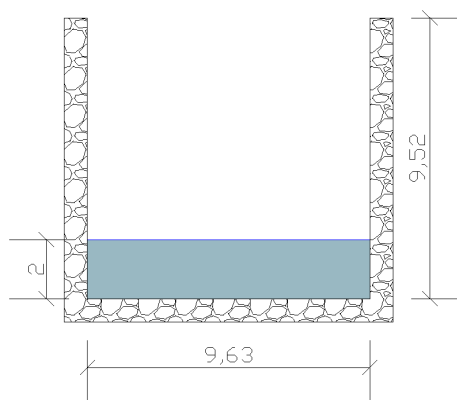
Secção de geometria rectangular. Junto a uma ponte.

### Geometria

Croquis da secção antes do evento de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Margens da Ribeira delimitadas por muros de betão. Leito composto por sedimentos finos, essencialmente areia.

### Elementos relevantes nas redondezas:

Nada a registar.

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

- Superfície livre subiu até uma cota aproximadamente de 2m. Ondas periódicas de fluxo ultrapassaram largamente essa cota.
- Não houve deposição de sedimentos no leito da Ribeira;

Dados estimados:

Quadro A.1.13: Possíveis valores no auge do evento na secção 13

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
91,64	2,00	0,00	0,00	19,25	0,09	277,12	14,40



Figura A.1.13: SJ\_13

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_14

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 2415

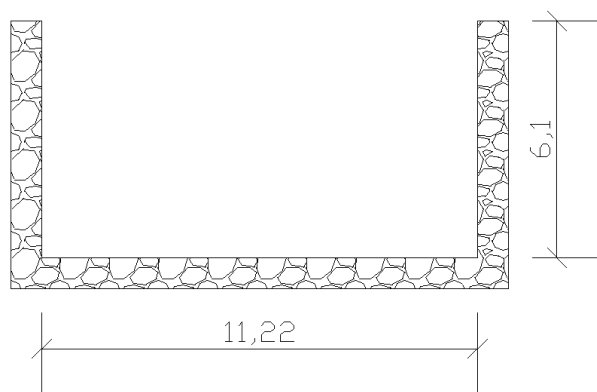
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 19100 15400 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

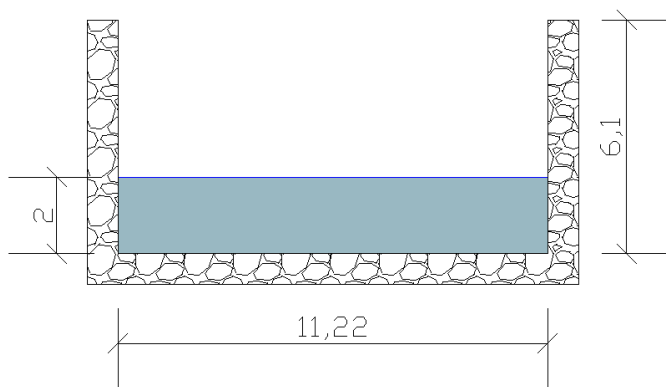
Secção de geometria rectangular. A montante de um rotunda que está sobre a ribeira.

### Geometria

Croquis da secção antes de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção após a manhã de 20 de Fevereiro.



Muros de betão delimitam as margens da Ribeira. Leito com sedimentos de todo o tipo mas essencialmente areia e calhau. Estrada alcatroada em ambas as margens.

### Elementos relevantes nas redondezas:

Nada a registar.

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

- Superfície livre subiu até uma cota aproximadamente de 2m. Ondas periódicas de fluxo ultrapassaram largamente essa cota.
- Não houve deposição de sedimentos no leito da Ribeira;

Dados estimados:

Quadro A.1.14: Possíveis valores no auge do evento na secção 14

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
68,37	2,00	0,00	0,00	22,43	0,15	472,02	21,04



Figura A.1.14: SJ\_14

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_15

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 2795

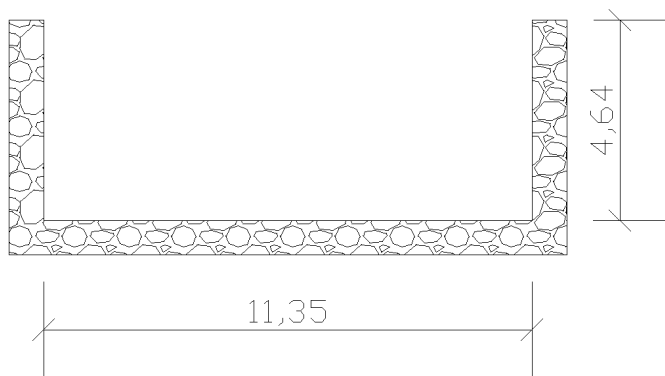
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 18775 15525 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

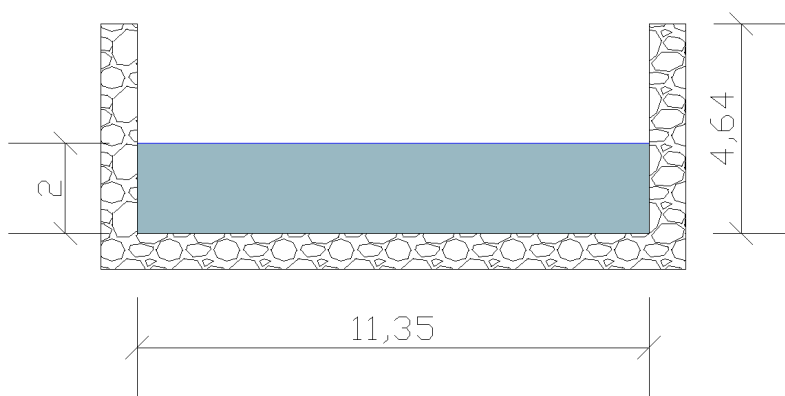
Secção de geometria rectangular. Por debaixo de um viaduto da via rápida.

### Geometria

Croquis da secção antes de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Muros de betão delimitam as margens da Ribeira. No leito encontram-se sedimentos tais como areia e balastros. Estrada alcatroada em ambas as margens.

## Elementos relevantes nas redondezas:

Via Rápida (Cota 200).

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

- Superfície livre subiu até uma cota aproximadamente de 3m. Ondas periódicas de fluxo ultrapassaram largamente essa cota.
- Não houve deposição de sedimentos no leito da Ribeira;

Dados estimados:

Quadro A.1.15: Possíveis valores no auge do evento na secção 15

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
52,72	2,00	0,00	0,00	22,71	0,04	249,26	10,97



Figura A.1.15: SJ\_15

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_16

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 3143

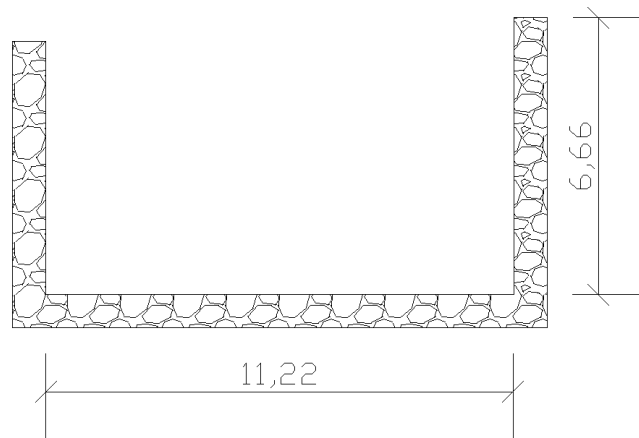
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 18600 15675 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

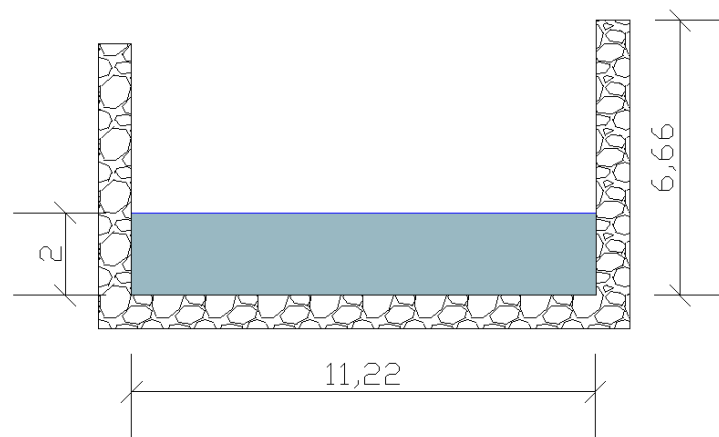
Secção de geometria rectangular. Junto a uma ponte.

### Geometria

Croquis da secção antes de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Muros de betão delimitam as margens da Ribeira. Leito com sedimentos de todo o tipo.

### Elementos relevantes nas redondezas:

Algumas habitações da margem esquerda.

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

Dados estimados:

Quadro A.1.16: Possíveis valores no auge do evento na secção 16

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
74,90	2,00	0,00	0,00	22,50	0,05	289,66	12,87



Figura A.1.16: SJ\_16

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_17

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 3373

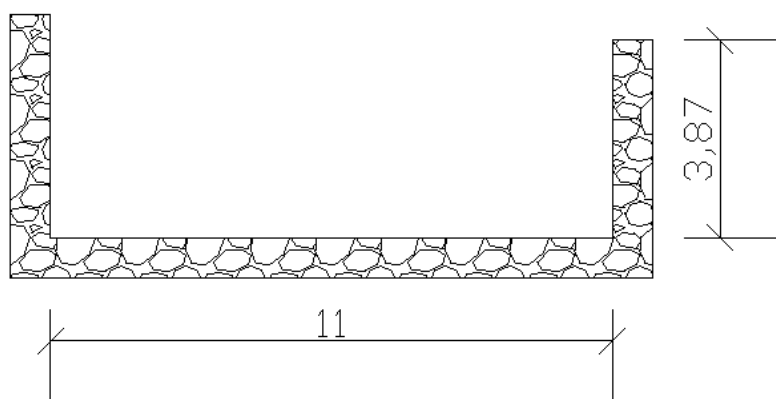
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 18425 15875 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

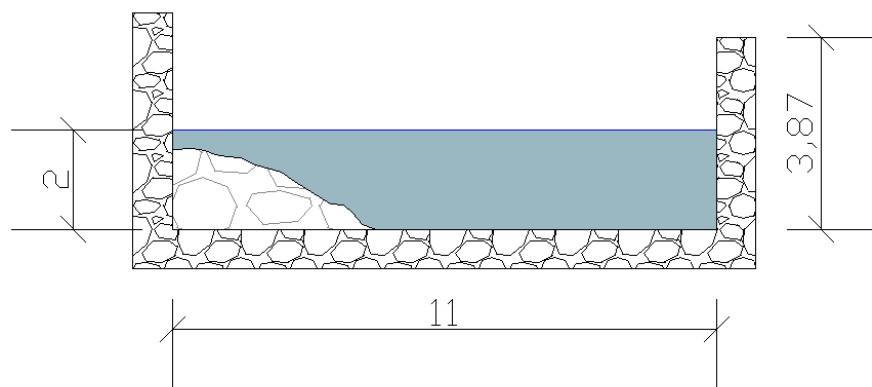
Secção de geometria rectangular. Secção numa curva acentuada na canalização da Ribeira.

### Geometria

Croquis da secção antes de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Muros de betão delimitam as margens da Ribeira. No leito encontram-se sedimentos tais como areia e balastros.

### Elementos relevantes nas redondezas:

Nada a registar.

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

- A superfície livre da Ribeira corria normalmente a uma cota aproximadamente de 2m. Quando surgiam ondas esta cota ultrapassou largamente as margens da Ribeira, havendo algum transbordo.
- Depositou-se algum material sólido na parte interior da curva até uma cota aproxima de 1,5m.

Dados estimados:

Quadro A.1.17: Possíveis valores no auge do evento na secção 17

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
48,02	2,00	0,00	0,00	22,00	0,09	327,22	14,88



Figura A.1.17: SJ\_17

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_18

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 3702

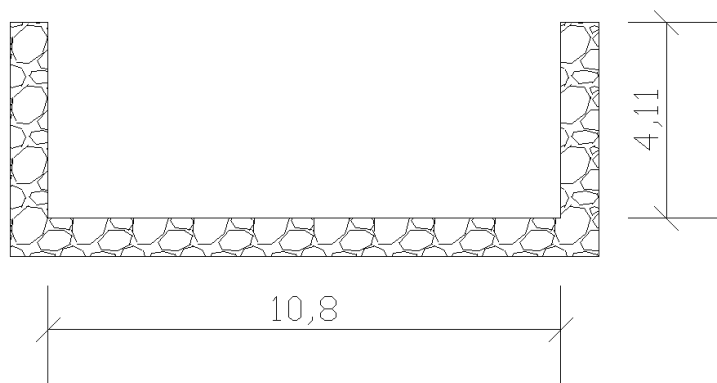
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 18400 16225 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

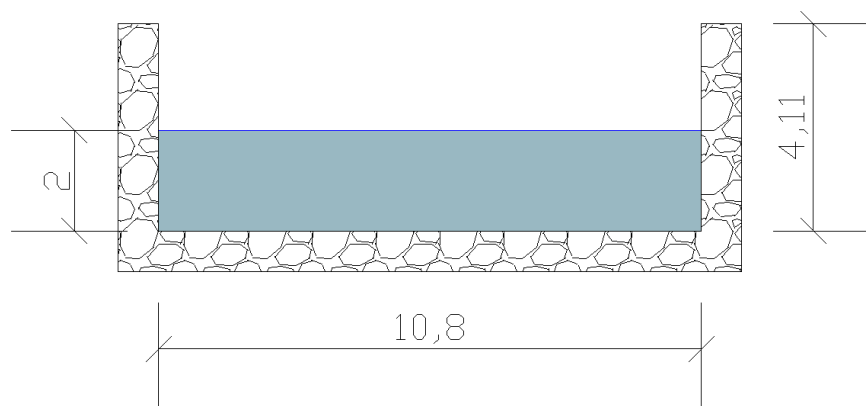
Secção de geometria rectangular. Junto a uma ponte pedonal.

### Geometria

Croquis da secção antes de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Muros de betão delimitam as margens da Ribeira. Leito com sedimentos tais como calhaus e blocos. Pequenos arbustos no leito.

### Elementos relevantes nas redondezas:

Nada a registar.

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

- Superfície livre de escoamento subiu até uma cota aproximadamente de 2m.
- Não houve deposição de sedimentos no leito da Ribeira;

Dados estimados:

Quadro A.1.18: Possíveis valores no auge do evento na secção 18

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
44,43	2,00	0,00	0,00	21,61	0,11	388,06	17,96



Figura A.1.18: SJ\_18

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_19

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 4198

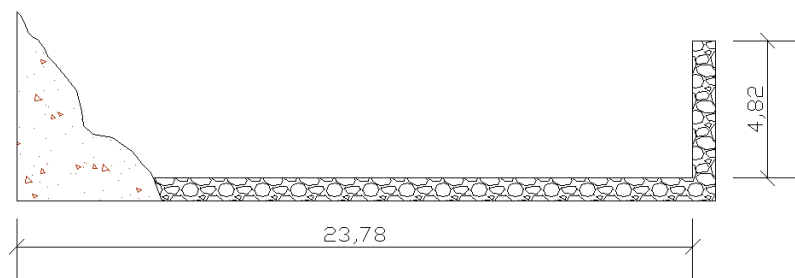
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 18600 16625 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

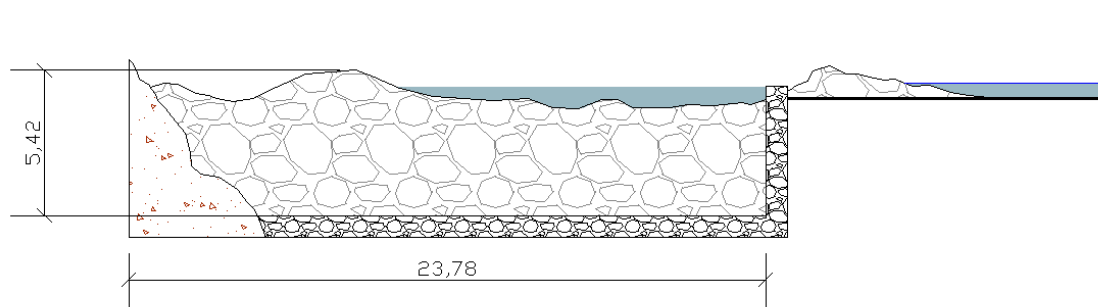
Secção canalizada apenas na margem direita. A esquerda é uma margem formada pela erosão. Situada numa zona de pouca inclinação onde houve um assoreamento significativo.

### Geometria

Croquis da secção antes de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Margem direita definida por muros de betão. A margem esquerda com maciços rochosos num nível inferior e depósito de vertente. O leito maioritariamente composto por maciço rochoso mas também está presente sedimentos como areias e calhaus. Na vertente da margem esquerda encontram-se arbustos e algumas árvores de pequeno porte. Na margem direita existe uma estrada alcatroada.

### Elementos relevantes nas redondezas:

Encontram-se nas redondezas alguns armazéns e oficinas.

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

- A cota da superfície livre de escoamento chegou a valores superiores a 5m;
- Depositou-se material sólido até uma cota de aproximadamente o 5,5m;

Dados estimados:

Quadro A.1.19: Possíveis valores no auge do evento na secção 19

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
114,55	0,50	4,80	114,12	11,89	0,05	57,89	4,87



Figura A.1.19: SJ\_19

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_20

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 4463

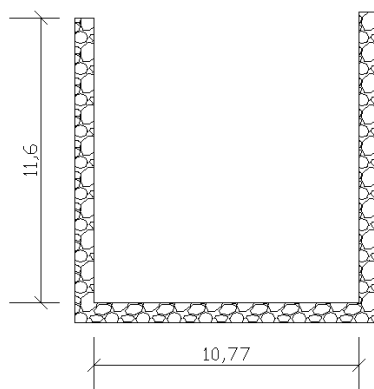
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 18525 16800 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

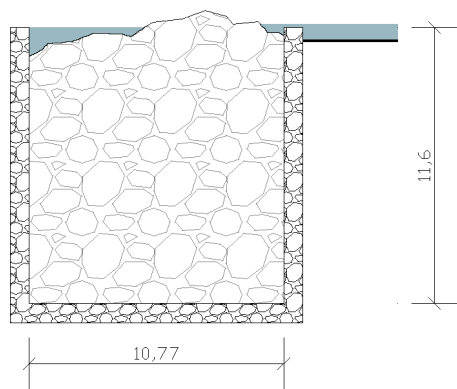
Secção de geometria rectangular. Junto à ponte de acesso ao estádio do C.F. Andorinha. Zona de grande assoreamento.

### Geometria

Croquis da secção antes de 20 de Fevereiro.



Croquis da secção durante o evento de 20 de Fevereiro.



Secção delimitada nas suas margens por muros de betão. Leito com seixo e calhau essencialmente. Estrada alcatroada na margem direita.

#### Elementos relevantes nas redondezas:

Estádio do Clube Futebol Andorinha na margem esquerda.

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

- A superfície livre da Ribeira ultrapassou as margens e algum caudal líquido seguiu pela estrada.
- A secção ficou completamente obstruída por material sólido, logo atingiu uma cota equivalente à altura dos muros, cerca de 11,5m.

Dados estimados:

Quadro A.1.20: Possíveis valores no auge do evento na secção 20

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (l) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
127,29	0,80	11,50	135,94	9,46	0,05	56,07	5,93



Figura A.1.20: SJ\_20

## Anexo 1:

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

---

#### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_21

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 5204

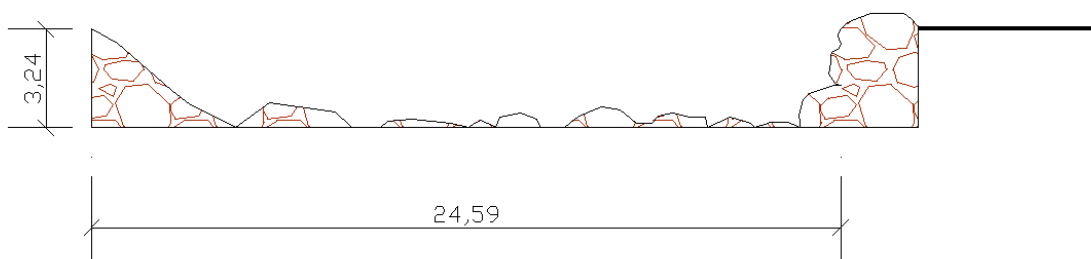
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 18600 17450 (Sistema UTM)

#### Descrição sumária:

Secção não canalizada, definida à direita por pedregulhos empilhados de forma organizada. À esquerda encontra-se uma margem natural, formada pela erosão natural.

#### Geometria

Croquis da secção transversal após 20 de Fevereiro.



Depósito de vertente na margem esquerda, arbustos e árvores de pequeno e médio porte. Na margem direita encontram-se pedras roladas de grandes dimensões. No leito, todo o tipo de sedimentos tais como areias, areão, seixo, calhau e blocos. Uma estrada alcatroada.

#### Elementos relevantes nas redondezas:

Nada a registar.

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

- Superfície livre de escoamento subiu até uma cota aproximadamente de 1,5m (valor estimado através das marcas nas margens).
- Não houve deposição de sedimentos no leito da Ribeira.

Quadro A.1.21: Possíveis valores no auge do evento na secção 21

Área Secção [m <sup>2</sup> ]	hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
79,57	1,50	0,00	0,00	36,88	0,12	810,11	21,96



Figura A.1.21: SJ\_21

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_22

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 5765

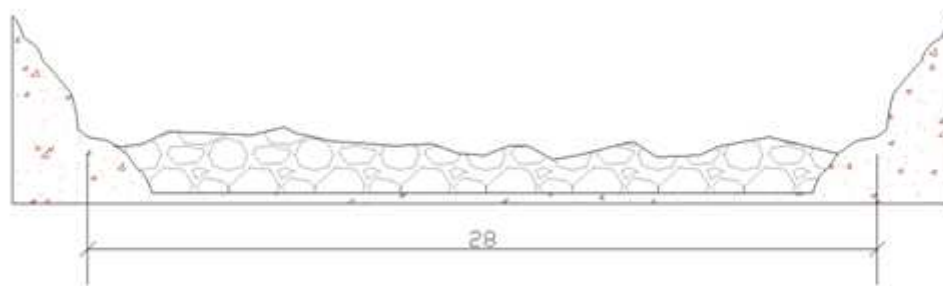
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 18445 18115 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

Secção definida por margens naturais.

### Geometria

Croquis da Secção após o evento de 20 de Fevereiro.



Depósito de vertente nas margens, arbustos e árvores de pequeno e médio porte. No leito, todo o tipo de sedimentos tais como areias, areão, seixo, calhau e blocos. Uma estrada alcatroada na margem direita.

### Elementos relevantes nas redondezas:

Nada a registar.

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

- Superfície livre de escoamento subiu até uma cota aproximadamente de 1,5m (valor estimado através das marcas nas margens).
- Não houve deposição de sedimentos no leito da Ribeira.

Quadro A.1.22: Possíveis valores no auge do evento na secção 22

hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
1,50	0,00	0,00	42,00	0,14	682,02	16,24



Figura A.1.22: SJ\_22

## Anexo 1: Ficha de caracterização de uma secção transversal de um curso de água

---

### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_23

Curso de água: Principal

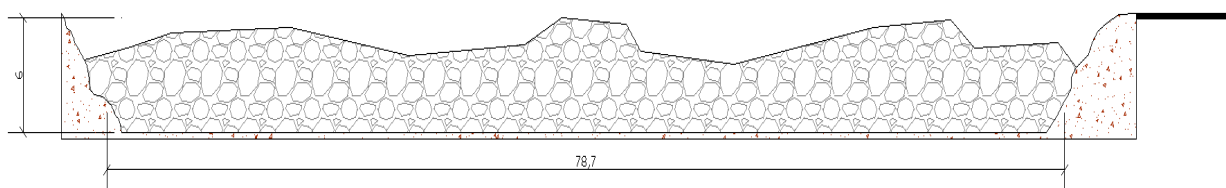
Distância à foz (m): 6034,9

Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 18465 18370 (Sistema UTM)

### Descrição sumária:

Secção definida por margens naturais. Junto à barragem de retenção de sólido para posterior extracção e transformação para usos na construção civil.

### Geometria



Depósito de vertente nas margens, arbustos e árvores de pequeno e médio porte. No leito, todo o tipo de sedimentos tais como areias, areão, seixo, calhau e blocos, mas essencialmente calhau e bloco. Uma estrada alcatroada na margem direita.

### Elementos relevantes nas redondezas:

Junto a uma barragem de retenção de sedimentos sólidos.

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

- Superfície livre de escoamento subiu até uma cota superior a 7m (valor estimado através das marcas nas margens).
- Houve uma grande deposição de sedimentos no leito da Ribeira até cerca de 6m de altura.

Quadro A.1.23: Possíveis valores no auge do evento na secção 23

hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
1,50	6,00	472,20	118,05	0,16	1156,08	9,79



Figura A.1.23: SJ\_23

## Anexo 1:

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

---

#### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Designação: SJ\_24

Curso de água: Principal

Distância à foz (m): 6495,3

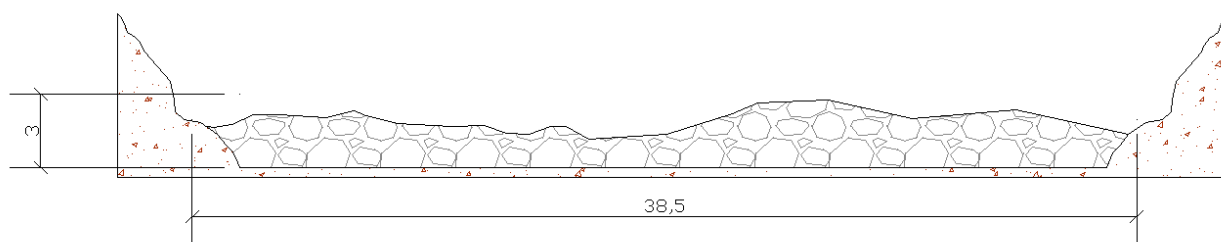
Coordenada militar do ponto médio: 28 S CB 18625 18890 (Sistema UTM)

#### Descrição sumária:

Secção definida por margens naturais.

#### Geometria

Croquis da Secção após o evento de 20 de Fevereiro.



Depósito de vertente nas margens, arbustos e árvores de médio e grande porte. No leito, calhau e bloco.

#### Elementos relevantes nas redondezas:

Nada a registar.

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

- Superfície livre de escoamento subiu até uma cota aproximadamente de 5m (valor estimado através das marcas nas margens).
- Houve deposição de sedimentos no leito da Ribeira até uma cota superior aos 3m;

Quadro A.1.24: Possíveis valores no auge do evento na secção 24

hw [m]	hs [m]	As [m <sup>2</sup> ]	Aw [m <sup>2</sup> ]	Inclinação (I) [m/m]	Q (caudal) [m <sup>3</sup> /s]	V [m/s]
1,50	3,50	134,75	57,75	0,18	1012,37	17,53



Figura A.1.24: SJ\_24

ANEXO 3 – Ficha de caracterização de uma zona de depósito de  
material sólido



## Anexo 2:

### Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

---

#### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Localização: Funchal (Avenida Calouste Gulbenkian, Rua Dr. Brito Câmara e Rua da Ponte de São Lazaro).



Figura A.2.1: Área de deposição de material sólido na Avenida Calouste Gulbenkian, Rua Dr. Brito Câmara e Rua da Ponte de São Lazaro

Os detritos encontrados são de dimensão considerável. Areão, seixo, calhau (predominantemente) mas também é visível areia.

#### Estimativa do volume:

Foi estimada uma área onde os sedimentos se depositaram. Através de fotos estimou-se uma altura média. Do produto destes resulta então o volume.

Quadro A.2.1: Volume de material depositado na Avenida Calouste Gulbenkian, Rua Dr. Brito Câmara e Rua da Ponte de São Lazaro

	Área [m <sup>2</sup> ]	Altura Média [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]
Avenida Calouste Gulbenkian	1350	0,3	405

### Granulometria:

Os detritos encontrados são de dimensão considerável. Areão, seixo, calhau (predominantemente) mas também é visível areia.

- 40% Areia
- 40% Areão, Seixo e Calhau
- 20% Bloco

## Anexo 2:

### Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

---

#### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Localização: Funchal (Avenida Arriaga).



Figura A.2.2:Área de deposição na Avenida Arriaga

#### Estimativa do volume:

Foi estimada uma área onde os sedimentos se depositaram. Através de fotos estimou-se uma altura média. Do produto destes resulta então o volume.

Quadro A.2.2: Volume de material depositado na Avenida Arriaga

	Área [m <sup>2</sup> ]	Altura Média [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]
Avenida Arriaga	1920	0,1	192

#### Granulometria:

Essencialmente sedimentos finos. Argilas, siltes e areias.

- 60% Argila e Silte
- 30% Areia
- 10% Areão, Seixo e Calhau

## Anexo 2:

### Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

#### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Localização: Funchal (Avenida do Mar).



Figura A.2.3: Área de deposição de sólidos na Avenida do Mar

#### Estimativa do volume:

Foi estimada uma área onde os sedimentos se depositaram. Através de fotos estimou-se uma altura média. Do produto destes resulta então o volume.

Quadro A.2.3. Volume de material depositado na Avenida do Mar

	Área [m <sup>2</sup> ]	Altura Média [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]
Avenida do Mar	1400	0,1	140

#### Granulometria:

Maioritariamente areia sendo que na parte de baixo da camada de detritos sólidos ali depositados também havia argilas.

- 60% Areia e Silte
- 30% Areão e Seixo
- 10% Argila

## Anexo 2:

### Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

#### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Localização: Funchal (Desde a Avenida Calouste Gulbenkian até a Foz).

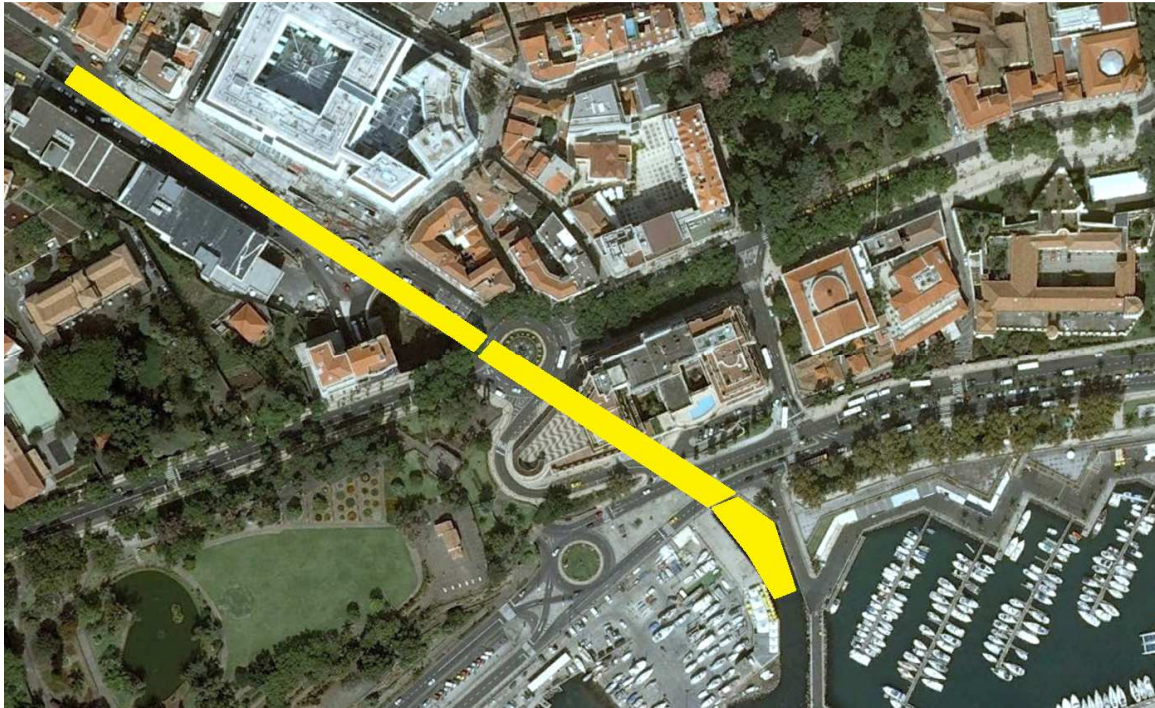


Figura A.2.4: Zona de deposição no leito da Ribeira na Zona Baixa do Funchal

#### Estimativa do volume:

Foi estimada uma área de secção média e multiplicado pelo comprimento do percurso onde houve assoreamento. Obteve-se um valor total de 5237,55 m<sup>3</sup> de material sólido.

Quadro A.2.4: Volume de material depositado no leito da Ribeira na Zona Baixa do Funchal

Troço	Volume Possível [m <sup>3</sup> ]	Volume de Sólidos depositados [m <sup>3</sup> ]
S1-S2	14658,4	13742,25
S2-S3	6923,93	6719,08
S3-S4	10117,79	7680,66
S4-S5	3932,04	1171,8
S5-S6	30435,29	441

### **Granulometria:**

Sedimentos de grandes dimensões. Maioritariamente bloco mas também é visível areão e calhau.

- 80% Bloco
- 20% Areão, Seixo e Calhau

## Anexo 2:

### Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

---

#### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Localização: Funchal (Marina).



Figura A.2.5: Zona de deposição de material sólido na Marina do Funchal

#### Estimativa do volume:

Foi estimada uma área onde os sedimentos se depositaram. Através de fotos estimou-se uma altura média. Do produto destes resulta então o volume.

Quadro A.2.5: Volume de material depositado na Marina do Funchal

	Área [m <sup>2</sup> ]	Altura Média [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]
Marina	2980	0,5	1490

#### Granulometria:

Principalmente finos. Areia mas também algum calhau.

- 70% Areia
- 30% Areão, Seixo e Calhau

## Anexo 2:

### Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

#### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Localização: Funchal (Rotunda Dr. Francisco Sá Carneiro).



Figura A.2.6: Área de deposição na Rotunda Dr. Francisco Sá Carneiro

#### Estimativa do volume:

Foi estimada uma área onde os sedimentos se depositaram. Através de fotos estimou-se uma altura média. Do produto destes resulta então o volume.

Quadro A.2.6: Volume de material depositado na Marina do Funchal na Rotunda Dr. Francisco Sá Carneiro

	Área [m <sup>2</sup> ]	Altura Média [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]
Rotunda Dr. Francisco Sá Carneiro	2500	0,4	1000

#### Granulometria:

A rotunda Dr. Francisco Sá Carneiro foi onde mais sedimentos se depositaram. Os detritos encontrados são de dimensão considerável. Areão, seixo, calhau (predominantemente) mas também é visível areia.

- 60% Calhau
- 40% Areia, Areão e Seixo

## Anexo 2:

### Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

---

#### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Localização: Funchal (Caminho da Ribeira Grande, Santo António).



Figura A.2.7: Área de deposição de sólido no Caminho da Ribeira Grande em Santo António

#### Estimativa do volume:

Foi estimada uma área onde os sedimentos se depositaram. Através de fotos estimou-se uma altura média. Do produto destes resulta então o volume.

Quadro A.2.7: Volume de material depositado no Caminho da Ribeira Grande em Santo António

	Área [m <sup>2</sup> ]	Altura Média [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]
Caminho da Ribeira Grande	6608	0,5	3304

#### Granulometria:

Areia, areão e principalmente calhau. Também alguns sedimentos da classe de bloco.

- 20% Bloco
- 60% Areão, Seixo e Calhau
- 20% Areia

## Anexo 2:

### Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

---

#### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Localização: Funchal (Estádio do Andorinha, Santo António).



Figura A.2.8: Área de deposição de sólido no leito da Ribeira em Santo António

#### Estimativa do volume:

Foi estimada uma área de secção média e multiplicado pelo comprimento do percurso onde houve assoreamento.

Quadro A.2.8: Volume de material depositado no leito da Ribeira em Santo António

Troço	Área Média [m <sup>2</sup> ]	Volume de Sólidos depositados [m <sup>3</sup> ]
S19-S20	138,6998	38439,23
S20-S21	127,4714	17271,99

#### Granulometria:

Sedimentos de grandes dimensões. Maioritariamente bloco.

- 60% Bloco
- 30% Areão, Seixo e Calhau
- 10% Areia

## Anexo 2:

### Ficha de caracterização de uma zona de depósito de material sólido

---

#### Identificação:

Bacia hidrográfica: Ribeira de São João

Localização: Funchal (Pedreira, Santo António).



Figura A.2.9: Área de deposição de material sólido no leito da Ribeira a montante da barragem de retenção

#### Estimativa do volume:

Foi estimada uma área de secção média e multiplicado pelo comprimento do percurso onde houve assoreamento.

Quadro A.2.9: Volume de material depositado no leito da Ribeira a montante da barragem de retenção

Troço	Volume de Sólidos depositados [m <sup>3</sup> ]
S23-S24	128152,34

#### Granulometria:

Areão, calhau e principalmente bloco.

- 90% Bloco
- 10% Areão, Seixo e Calhau