

INTRODUÇÃO

1- Enquadramento do tema

A problemática das inundações em meio urbano, tem estado patente nas preocupações dos governantes nacionais e europeus através de recomendações e na produção de peças legislativas¹, mas tem sido difícil a sua aplicação, em especial na RAM. (Ventura, Roxo, Agrela, e Esteves, Inundações em Meio Urbano).

Infelizmente são os acontecimentos catastróficos, como as inundações de 20 de Fevereiro de 2010 na Ilha da Madeira, que difundem a discussão pública em torno das formas de reação e de prevenção dos riscos de inundação. A comunicação social, em especial a imprensa, tem-na refletido de forma crescente ao longo dos anos, sempre que ocorrem tais eventos. As causas apontadas para a ocorrência de inundações catastróficas são múltiplas, incidindo, em especial, na ocupação desregulada do território, através de expressões como: “construção desregulada”, “desflorestação”, “desordenamento”, “derrocadas”, “erros urbanísticos”, “impermeabilização”, “interesse privados” entre outros (Ventura, Roxo, Agrela, e Esteves, 2010).

Mas as inundações catastróficas na Ilha da Madeira não são recentes. O Elucidário Madeirense refere que “...Mouquet que esteve aqui em 1601, diz, embora não precise datas, que as águas que descem as montanhas algumas vezes destroem pontes e casas em toda a ilha”. Embora em Ribeiro (1985) se aponte Século XVIII como a data à qual remontam tais inundações, o facto é que, periodicamente, chuvas excecionais arrastam uma carga sólida abundante o que faz aumentar a capacidade destrutiva da água em movimento provocando inúmeros danos por toda a ilha. São as aluviões.²

Em meio natural o escoamento superficial varia de acordo com os fatores climáticos (precipitação, evaporação e transpiração, humidade do ar) e fisiográficos

¹ Em Ventura, Roxo, Agrela, & Esteves,(2010) pode ler-se que a legislação portuguesa sobre reação a inundações existe desde a década de setenta. No PNPT é recomendada que a gestão preventiva do risco seja de inclusão obrigatória nos instrumentos de planeamento e gestão territorial. Também a Resolução da Assembleia da República nº 15/2008 recomenda a transcrição para a Legislação Nacional da diretiva nº 2007/60/CE, do Parlamento Europeu.

² Quintal (1999) - “...fortes caudais capazes de arrastar volumosos detritos sólidos.”

(características da rede e bacia hidrográficas³), (Quintela, 1996, citando Chow, 1964). É da associação entre estes fatores, que, segundo o mesmo autor, resultam as variações no escoamento. Então na Ilha da Madeira, a pequena dimensão das bacias hidrográficas, aliada ao declive acentuado das vertentes, potenciam a perigosidade dos episódios de precipitação intensa, levando muitas vezes a inundações catastróficas. (Ramos, 2005).

Retém-se, ainda, de Silva e Meneses (1984) e de Quintal (1999), ao enumerarem os episódios de aluvião e respetivos danos, que os mesmos têm vindo a aumentar a partir da segunda metade do Séc. XX, como faz evidenciar Ventura, Roxo, Agrela e Esteves (2010). Este aumento poderá somente refletir a proximidade e o aumento da capacidade de registo de tais ocorrências. Mas é certo que o adensar da edificação, não só junto à foz mas também ao longo da bacia hidrográfica, assim como o aumentar do número e intensidade de ocorrências de situações de precipitação intensa⁴ tem se refletido num aumento dos caudais e em situações de inundações.

Então, embora a malha urbana ocupe, no geral, parte reduzida das bacias hidrográficas as alterações que impõem são suficientemente intensas para modificar algumas das características hidrológicas do território. Segundo Drew (1983), o comportamento das linhas de água existentes dentro da área edificada poderá ser profundamente alterado não só devido à impermeabilização de parte da bacia mas também pela natureza do sistema de drenagem artificial instalado, muitos vezes insuficiente e/ou inadequado, em cidades que contam com uma densificação significativa. Como também são minimizados os processos de retardamento do escoamento devido à infiltração, relacionado com a redução de espaços verdes, o escoamento superficial aumenta fazendo movimentar materiais das vertentes. Esta movimentação de água e de carga sólida em direção ao leito, leva a que situações de cheia natural se transformem rapidamente em inundações que tomam muitas vezes dimensões catastróficas.

³ “ se o solo é impermeável o contorno da bacia é definido topograficamente pelas linhas de fecho (ou cumeada) que separam bacias hidrográficas adjacentes. Se o solo é permeável, a bacia hidrográfica real pode diferir da bacia hidrográfica definida topograficamente, devido à influência do escoamento subterrâneo. (...) esta diferença é considerável em formações vulcânicas.” (Quintela 1996: 3.13)

⁴ Refira-se que depois da última e catastrófica inundações no Funchal a 20 de fevereiro de 2010, e segundo informação do LREC, já se registaram mais quatro eventos de precipitação intensa a 21/10/2010, a 20/12/2010, a 25/1/2011 e a 25/11/2012. [informação obtida em entrevista a junho de 2012].

2- Objetivos e estrutura do trabalho

Em 20 de fevereiro de 2010 a conjugação dos fatores atrás mencionados ocasionou um escoamento de ponta total, nas três ribeiras que atravessam a cidade, de cerca de 500 a 600m³/s⁵. Ao aumento do caudal líquido acresce uma elevada percentagem de matriz sólida que, segundo Pereira, M.J. (2011), foi estimada em cerca de 145 000m³, volume que diz respeito unicamente a sedimentos produzidos pela erosão hídrica neste evento. Estas características provocaram, em alguns troços dos cursos de água, a obstrução temporária dos canais a partir de onde o escoamento passou a ser feito em plena malha urbana. A rapidez de evolução do fenómeno, surpreendeu toda uma população em circulação na baixa do Funchal que, na quase totalidade, ficou sem saber como se proteger do avanço rápido das águas.

Perante tal dificuldade colocaram-se-nos as seguintes questões:

- Que fatores desencadeiam as inundações urbanas rápidas?
- Poderá a população ser informada das áreas da cidade mais vulneráveis a inundações?
- Para onde deverá a população se deslocar, de modo a poder garantir a sua integridade física quando, em trânsito na baixa do Funchal, é surpreendida por este tipo de inundações?
- Que medidas poderão ser adotadas de modo a evitar, ou minimizar, os efeitos deste tipo de inundações?

Uma vez que o estudo da vulnerabilidade de uma população e de um território permite encontrar pistas de atuação, antes (planeando) durante (atuando) e depois (mitigando) da ocorrência de um fenómeno perigoso, como são as inundações urbanas rápidas, entendemos que a sua análise seria pertinente na resolução das questões aqui colocadas.

⁵ Informação obtida em entrevista a técnico do LREC.

Definimos então os seguintes objetivos:

Objetivos Gerais:

- identificar áreas de maior vulnerabilidade a inundações na baixa da cidade do Funchal;
- propor percursos até áreas de relativa segurança para a população em trânsito na baixa do Funchal.

Objetivos Específicos:

- identificar os fatores que tornam a baixa do Funchal suscetível a inundações rápidas;
- identificar os sectores de maior vulnerabilidade a inundações na baixa do Funchal;
- propor “abrigos” para a população em trânsito;
- -propor rotas de relativa segurança para a população em trânsito;
- propor algumas medidas mitigadoras de cariz não estrutural.

A dissertação é composta pela introdução onde são definidos os objetivos e a metodologia utilizados e por 4 capítulos. No capítulo 1 são definidos alguns conceitos relativos a inundações e os seus fatores condicionantes. Os conceitos, adotados neste trabalho, de risco, perigo, vulnerabilidade também constam do capítulo 1. No capítulo 2 é feito um enquadramento da área em estudo no contexto regional. Começa por uma apresentação genérica da ilha da Madeira desde a sua origem às suas características atuais: geológicas, morfológicas, climáticas, hidrológicas, de vegetação e solos. Ainda neste capítulo apresenta-se uma breve resenha histórica da cidade do Funchal e as diversas intervenções sofridas ao longo do tempo que condicionaram a estrutura atual da cidade. A análise do caso das inundações ocorridas a 20 de fevereiro de 2010, está patente no capítulo 3, onde são descritos os fatores desencadeantes e agravantes das inundações na baixa da cidade do Funchal. No capítulo 4, é feita uma avaliação à vulnerabilidade da cidade do Funchal a inundações rápidas e onde são equacionadas algumas propostas de atuação como são os potenciais abrigos para a população em trânsito e rotas de evacuação rápida. Em anexo, encontram-se figuras e quadros, incluindo um mapa de topónimos citados no texto e quadros de dados usados na execução do presente trabalho.

3- Metodologia

A revisão da literatura sobre vulnerabilidade a inundações, foi a nossa primeira tarefa e teve por objetivo poder identificar e definir, de entre as diferentes abordagens, aquela que melhor se adequaria ao nosso estudo. Foi também o ponto de partida para a caracterização da ilha da Madeira e da evolução da sua capital, o Funchal.

A caracterização dos principais fatores que causam e condicionam vulnerabilidade a inundações foi importante na medida em que deu a conhecer a área de estudo e possibilitou um melhor reconhecimento dos diferentes indicadores usados na análise à vulnerabilidade a inundações urbanas na baixa do Funchal. Uma análise à ocorrência da inundação de 20 de fevereiro de 2010, foi o nosso alicerce para a identificação da sua vulnerabilidade.

A metodologia empregue na identificação de sectores vulneráveis a inundações foi inspirada no FVI⁶ definida pela UNESCO-IHE (Anexo 5)⁷. Aqui é apresentado um vasto conjunto de variáveis agrupadas para o cálculo do índice de vulnerabilidade de entre as quais selecionamos aquelas que, à nossa escala de análise, nos foi possibilitada a cedência de dados. A algumas das variáveis consideradas importantes na nossa análise não nos foi dado acesso, quer porque não são usualmente sujeitas a levantamento⁸, quer por se encontrarem no domínio da confidencialidade.

Considerámos a subsecção estatística dos Censos de 2011 como unidade territorial privilegiada. Porque os contornos geográficos destas áreas mudaram nos diferentes censos da população (1991, 2001 e 2011), optámos por usar unicamente a definida nos Censos 2011, pelo INE. Neste trabalho a principal ferramenta foi a interpretação dos diferentes elementos cartográficos representativos das componentes

⁶ Do inglês *Flood Vulnerability Index* .

⁷ Disponível em: <http://unescoihfvi.free.fr/vulnerability.php> [acedido em março de 2012]

⁸ O exemplo mais marcante são os valores de caudal cuja ausência de registo já há muitos anos, vem sendo referenciado como um dos problemas na elaboração de estudos que visam analisar as condições de seguranças das diferentes bacias hidrográficas da ilha da Madeira. Têm sido, em sua substituição, usados os valores de precipitação que através de cálculos vários simulam esta variável.

da vulnerabilidade. Ensaíamos igualmente a cartografia do índice de vulnerabilidade utilizando as variáveis analisadas.

Depois de identificados os sectores mais vulneráveis nas diferentes parcelas da equação de vulnerabilidade considerado pelo UNESCO-IHE, assim como algumas fragilidades no Plano de Emergência Municipal de Proteção Civil, simulámos um conjunto de potenciais percursos e abrigos na baixa da cidade a usar pela população em trânsito na baixa do Funchal. Esta população, à partida, sem abrigo e com diminuta possibilidade de ser informada em pouco tempo da ocorrência de inundações é o nosso principal alvo de análise.

Capítulo I – A vulnerabilidade a inundações

1- As Inundações

1.1- Alguns conceitos

Cheias e inundações são termos muitas vezes usados como sinónimos mas que abarcam situações um pouco diferentes. “Todas as cheias provocam inundações, mas nem todas as inundações são devidas às cheias”(Ramos, 2005:70).

Quanto à sua génese podem ser classificadas de acordo com o fenómeno que as desencadeou. Dos fatores inventariados por Ramos (2009) sem dúvida, as precipitações concentradas e intensas, aliadas a movimentos de vertente (deslizamentos e desabamento) e agravadas por um substrato geológico pouco permeável são aqueles que, na área em estudo, mais contribuem para a génese das cheias.

Quando em solos já saturados, se observam picos de precipitação intensa, o escoamento aumenta fazendo incrementando repentinamente o caudal e a velocidade de progressão das águas.

São as cheias rápidas ou *flash floods* que, em poucas horas, fazem com que os cursos de água se transformem em autênticas correntes com velocidades surpreendentes. Ocorrem quando a taxa de infiltração é baixa e chove intensamente durante períodos de tempo curtos. Este tipo de cheias tem tempos de resposta muito curtos (podem ser apenas de algumas horas ou menos). Como ocorrem sem tempo de aviso, as cheias rápidas, dificultando os alertas, são as mais de maior risco para a população.

Ramos (2005), refere que em bacias com regime irregular, os leitos de cheia são muitas vezes ocupados pela população pois o hiato que medeia acontecimentos desta natureza, pode ser de alguns anos e a população tende a “esquecer” estes episódios. As áreas artificializadas, como são os meios urbanos, tendem a potenciar os efeitos destas cheias, e pelas características descritas, enquadrámos as cheias ocorridas no Funchal nesta categoria.

Ainda, de acordo com a mesma autora, a estes fatores desencadeantes aliam-se outros que agravam a situação de cheia como são o estreitamento dos vales e os

materiais transportados Se o incremento do caudal provoca um aumento natural da capacidade de desgaste dos cursos de água, através do sapamento lateral e aprofundamento do leito, o aumento da carga sólida transportada, acelera e intensifica o processo. Por outro lado, esta carga sólida, (lama, blocos, troncos, entre outros), que chega ao canal em geral por via de desabamentos e/ou deslizamentos nas suas vertentes, ao ocupar o canal fluvial, pode também funcionar como obstáculo intensificando o transbordo. Acresce então o potencial de inundação. No caso Funchal refira-se que a diminuição do declive do perfil longitudinal das ribeiras no sector terminal, em meio urbano, é responsável pelo atulhamento dos leitos passando o escoamento da água e materiais por ela arrastados a fazer-se dentro da malha urbana.

1.2. Fatores condicionantes

A geometria, em especial a área e a forma das bacias hidrográficas, juntamente com a precipitação são os fatores chave condicionantes das cheias em relação à sua magnitude, à velocidade de propagação da onda de cheia, à velocidade de sedimentação assim como à duração do evento. Segundo Ramos (2009) a área é importante pois quanto maior for maior será o potencial de captação de águas logo maior será o caudal. Contudo, a forma desempenha um papel crucial pois quanto mais alongada for uma bacia menor probabilidade tem de, em toda a sua extensão, ser atingida por uma chuvada intensa e prolongada, ao contrário do que acontece nas circulares. Por seu turno a rede de drenagem, o número de cursos de água que a formam, a sua hierarquia, a inclinação e sinuosidade têm implicações na ocorrência e magnitude das cheias.

As características de relevo, como a posição relativa das montanhas e a altitude, influenciam a precipitação e o declive interfere na velocidade de escoamento. A velocidade do escoamento, por seu turno acelera o “stress” físico das estruturas dos edifícios. Este aumenta consideravelmente quando às águas rápidas se juntam sedimentos ou “debris”.

Por seu turno a natureza do solo e do subsolo, através do seu grau de permeabilidade interferem na densidade e hierarquização da rede de drenagem. A

cobertura vegetal das bacias irá ter um efeito semelhante ao solo e subsolo uma vez que condicionam a rapidez do escoamento, variando a sua influência de acordo com o tipo de coberturas vegetal.

A ocupação do solo pela urbanização aumenta, a magnitude e frequência das cheias. De acordo com Hollis (1975) citado por Smith (2009) a criação de superfícies altamente impermeáveis, pode aumentar cerca de dez vezes a sua magnitude; hidraulicamente, através dos coletores de águas quer na superfície quer subterrâneos, a água chega de modo rápido ao canal, reduzindo o tempo de concentração; o curso de água natural encontra-se, em geral, constrangido pelas pontes e construções nas suas margens, reduzindo assim a capacidade de vazão, aumentando a frequência de caudais de cheia. Devido ao aumento do escoamento há uma sobrecarga dos coletores de águas que colapsam e podem ser a causa de algumas inundações.

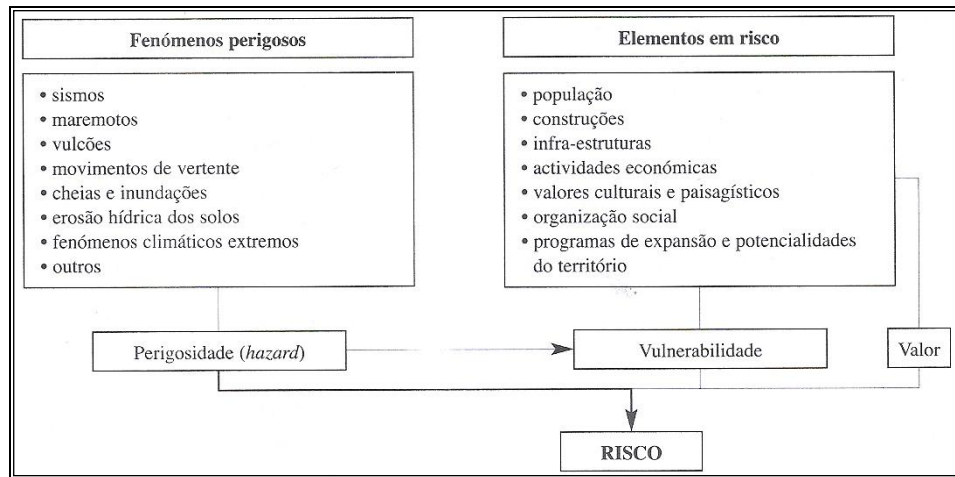
2. Vulnerabilidade a inundações

2.1. O conceito de risco

O risco, enquanto associado a desastres, pode ser definido como as perdas potenciais associadas à ocorrência de fenómenos físicos de diversos tipos, intensidades e magnitudes, os quais afetam as populações expostas e vulneráveis, as suas habitações assim como os seus mecanismos de suporte e infraestruturas” (Cardona, *et al.* 2011).

Deste modo, o risco é o produto do perigo, intrínseco à natureza do fenómeno, e da vulnerabilidade, extrínseca. Poderá existir, em muitas áreas perigo de ocorrerem inundações mas só haverá risco se, simultaneamente, estiver alguém, alguma comunidade, ou alguma infraestrutura exposta.

Em Zêzere (2005/2006), encontramos o modelo conceptual do Risco, adaptado de Panizza (1990) e que deriva do estabelecido na convenção internacional organizada pela *United Nations Disaster Relief Co-ordinator* (UNDRO: 1979), (Figura 1).



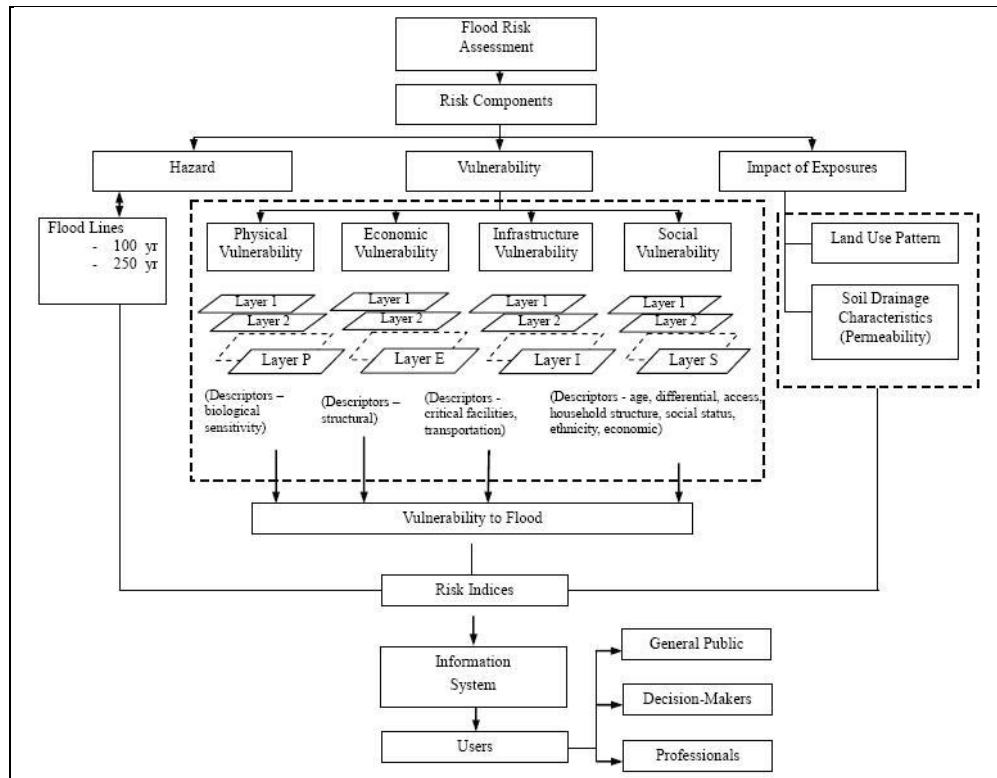
Fonte: Zêzere (2005/6: 61)

Figura 1 - Modelo Conceitual do Risco.

Aqui entende-se a Perigosidade (*hazard*) como a “...probabilidade de ocorrência de um fenómeno com uma determinada magnitude (a que está associado um potencial de destruição...) “ e a “...Vulnerabilidade, correspondente ao grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos vulneráveis [portadores de um determinado valor] e Risco como “a possibilidade de ocorrência, e a respetiva quantificação em termos de custos, de consequências gravosas, económicas ou mesmo para a segurança das pessoas, em resultado do desencadeamento de um fenómeno natural ou induzido pela atividade antrópica.” (Zêzere, 2005/2006 : 60).

Para Karmarkar, et al, (2010), é na decomposição destes conceitos que se torna passível de cartografar o “risco” associado aos lugares. Esta cartografia, poderá ajudar os responsáveis a dispor dum conjunto útil de elementos na tomada de decisões antes, na planificação, durante, nas operações de socorro, ou após, na mitigação de eventos perigosos (Figura 2).

Quanto ao conceito de perigo (*hazard*) consideramos no presente trabalho a definição do Gabinete de Coordenação dos Assuntos Humanitários, da Organização das Nações Unidas quando refere que existe uma situação de perigo sempre que haja “uma interrupção grave do funcionamento de uma sociedade, causando generalizadas perdas humanas, materiais ou ambientais que excedam a capacidade da sociedade afetada poder lidar utilizando os seus próprios meios” (UNISDR, 2009: 23).



Fonte: KarmaKar, *et al.*, 2010: 132

Figura 2– Fluxograma do sistema de informação referente a inundações

2.2. A vulnerabilidade

Vulnerabilidade é um conceito derivado das ciências sociais e foi introduzido nos anos setenta, na análise dos riscos ambientais. Embora existam diferentes abordagens, a análise da vulnerabilidade está, na sua maioria, enraizada no modelo de Cutter de vulnerabilidade das localidades aos riscos ambientais, (Cutter *et al.*, 2003), onde está patente a interpenetração de elementos biofísicos e sociais (Figura 3). Segundo a maioria destes estudos a vulnerabilidade biofísica relaciona-se com as condições hidrogeológicas e a vulnerabilidade social dependerá das características socioeconómicas, geralmente medida por indicadores.

Cutter, *et al.*, (2003) definem vulnerabilidade a eventos perigosos como o potencial de perda e, para o determinar, propõem a utilização de um índice que agrega cerca de 85 variáveis. Estas variáveis derivam de um conjunto de características que vão desde a idade, género, *status* económico, imigrantes, “sem-abrigo” até às características dos edifícios (tipo de construção e infraestruturas).

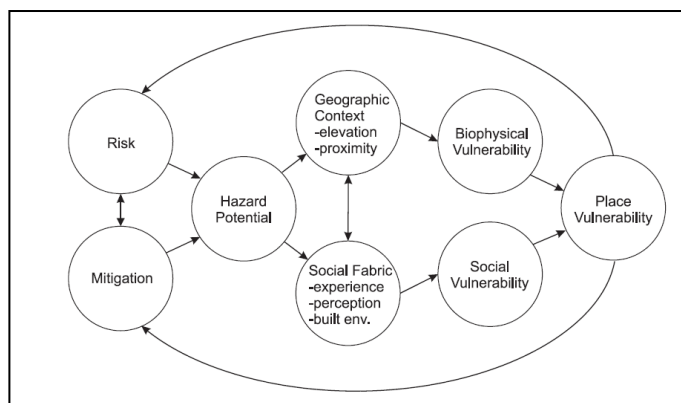


Figura 3 – Modelo de Vulnerabilidade. Modificado de Cutter (1999)

Para o *Institute for Water Education*, (UNESCO-IHE), a vulnerabilidade a inundações é tida como a extensão do dano, que pode ser prevista em certas condições de exposição, suscetibilidade e resiliência. Esta possível previsibilidade dos fenómenos de inundações a partir da identificação de áreas com alta vulnerabilidade torna a sua análise “uma ferramenta poderosa para a política e tomadores de decisão de modo a poder priorizar os investimentos e torna o processo de decisão mais transparente”(UNESCO-IHE) . Assim, apresentam uma equação para o cálculo da vulnerabilidade:

$$\text{Vulnerabilidade} = \text{Exposição} + \text{Suscetibilidade} - \text{Resiliência}$$

Exposição

Pode ser entendida como o conjunto de valores (pessoas, bens, construções) presentes no local, ou estar na área de influência da inundações. (UNDP/BCPR, 2003).

Os indicadores para determinar esta componente deverão cobrir quer, a exposição dos diferentes elementos quer as características da inundações.

As inundações urbanas, em especial, dependem muito da topografia e do processo de circulação da água dentro da malha urbana: o traçado das ruas em relação à direção do fluxo. Informações como duração, velocidade, extensão da inundações, altura das águas em circulação e tipo de sedimentação indicam a severidade da inundações assim como a sua distribuição espacial.

Suscetibilidade

A suscetibilidade diz respeito ao grau de danos que os elementos dentro do sistema (pessoas e bens) têm probabilidade de sofrer em períodos de inundação. Relaciona a preparação do sistema para eventos perigosos e a sua capacidade de absorção dos danos de modo a recuperar o seu pleno funcionamento. Assim, a preparação das pessoas poderá ser medida pelo grau de escolaridade e idade (por exemplo) enquanto que para a capacidade de recuperação podemos relacionar com a capacidade de absorção do evento.

A capacidade de absorção pode ser medida pelo número de edifícios preparados para resistirem a inundações (especificações técnicas de construção) assim como pelo número de pessoas com seguro a perdas por inundação. O número de pessoas em alerta prontas para atuar (bombeiros e proteção civil) poderá também ser utilizado como indicador dentro desta categoria.

Resiliência

A resiliência pode ser expressa como a habilidade de um sistema ou sociedade para se adaptar a qualquer mudança através da resistência, ou da sua modificação de modo a atingir um nível aceitável de funcionalidade.

Será então a capacidade de um sistema suportar uma perturbação, como são as inundações, mantendo níveis de funcionamento eficientes nas suas componentes social, económica, ambiental e física.

Os indicadores de resiliência passam pelas capacidades de resistência (meios existentes para enfrentar o problema) e de recuperação (meios existente de forma a retomar o equilíbrio e de absorver os impactos a longo prazo).

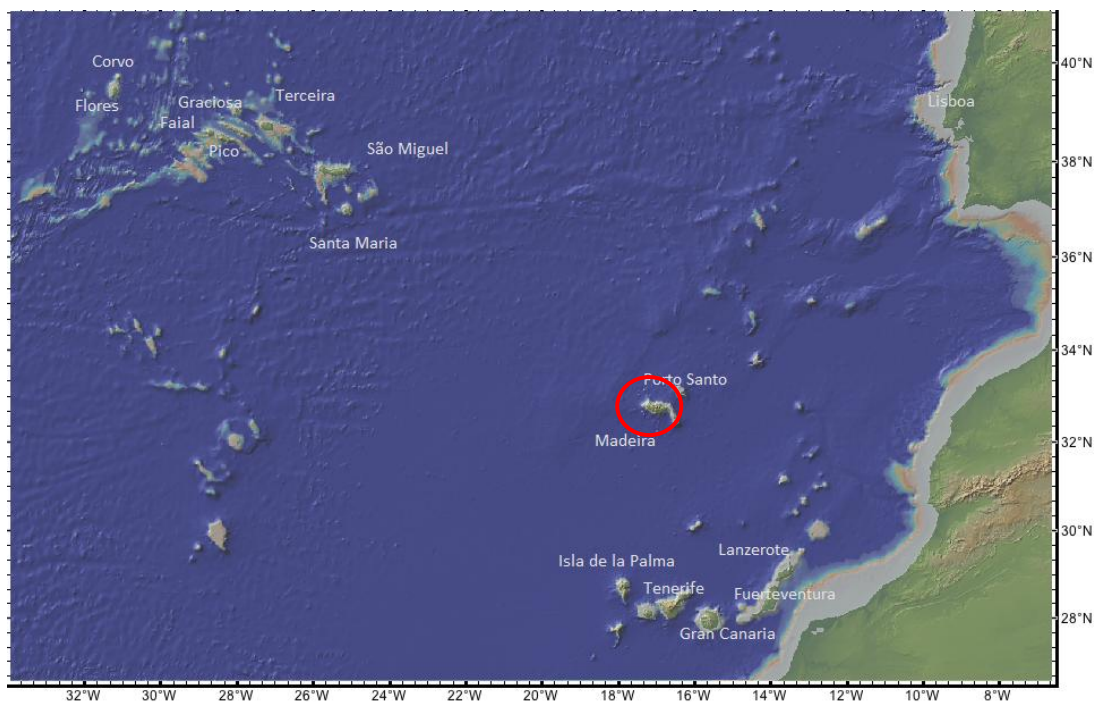
Passam, assim, pela análise das infraestruturas e a capacidade de fornecerem à população as suas necessidades básicas como água, energia, alimentação e capacidade de resposta de hospitais, abrigos de emergência e autoridades institucionais. Após o evento, a capacidade de recuperação será medida pelo impacte das inundações nas componentes física, económica, social e ambiental: seguros, estratégias e volume de investimentos.

Capítulo II – A Área em Estudo

1- A ilha da Madeira

1.1-Localização e origem

Localizada entre os paralelos $32^{\circ}37'58''\text{N}$ e $32^{\circ}52'14''\text{N}$ e os meridianos $17^{\circ}15'57''\text{W}$ e $16^{\circ}39'20''$ a Ilha da Madeira é a maior ilha do arquipélago com $758,54\text{km}^9$, a ilha do Porto Santo (entre os paralelos $33^{\circ}07'40''\text{N}$ e $32^{\circ}59'46''$ e os meridianos $16^{\circ}24'38''\text{W}$ a $16^{\circ}16'38''\text{W}$) conta com $42,48\text{km}^2$, que conjuntamente com as ilhas Desertas e Selvagens perfazem uma área total de $801,02\text{km}^2$.



Fonte: I-COOL¹⁰

Figura 4 - Enquadramento geográfico do Arquipélago da Madeira.

Datando do Miocénico a ilha da Madeira, de origem vulcânica, é constituída essencialmente por rochas eruptivas, por materiais piroclásticos e por de formações sedimentares de pequena extensão.

⁹ Em: Instituto Geográfico Português – Carta Administrativa de Portugal, (I.G.P: – C.A.O.P:), versão 6, 2007, e Direção Regional de Geografia e Cadastro (D.R.G.C.) – Carta dos Limites Administrativos da R.A.M. de 2006.

¹⁰ I-COOL – International Coalition of Ocean Observing Laboratories in <http://www.i-cool.org/wp-content/uploads/2012/02/Bathymetryazorescanaries.png> [Acedido em janeiro de 2012]

Todo o arquipélago, localizada em plena placa africana, foi edificado a partir da planície abissal da Madeira. Do ponto de vista morfológico, “a ilha da Madeira situa-se no extremo sudoeste de um alinhamento de relevos submarinos que se estendem desde esta ilha até à montanha submersa de Tore, mais ou menos à latitude da Nazaré.” (Ferreira, 2005). Estes relevos constituem a chamada crista Madeira-Tore e apresentam uma orientação geral de NNE-SSW com cerca de 1000 km de comprimento e com uma altitude aproximada de 3500m.

As ilhas constituem dois conjuntos morfo-estruturais distintos: o grupo Madeira, Porto Santo e Desertas, com maior proximidade geográfica e situado em plena placa africana, havendo uma separação entre Madeira e Desertas pela isóbata dos 200 metros enquanto a separar do Porto Santo existem um conjunto de isóbatas que vão até aos 2500m; e as ilhas Selvagens que se localizam próximo da margem atlântica definida pela transição entre o domínio atlântico e continental africano, sendo considerado por alguns autores como independente do ponto de vista geológico, do grupo anterior.

Estas ilhas são interpretadas como tendo origem numa *pluma* de longa duração, originada a partir do manto. Rodrigues (2005) citando Geldmacher *et al* (2000) defende a ideia que o *hot spot* que deu origem à Madeira é uma delicada pluma mantélica com pulsações, correspondendo cada complexo vulcânico a um determinado pulsar. Assim as ilhas da Madeira e Porto Santo são o produto da edificação de aparelhos vulcânicos que se foram formando no fundo do oceano Atlântico, no sector oeste da placa africana (Figura 5).

Geldmacher *et al* (2006) defende que a história geológica do arquipélago está associada à expansão do Atlântico que se iniciou há cerca de 200 Ma¹¹. A esta expansão, ainda a decorrer, se deve o facto de a ilha se encontrar afastada do *Rift* o que se reflete na baixa sismicidade e risco vulcânico.

¹¹ Ma- *mega annum*, ou milhões de anos

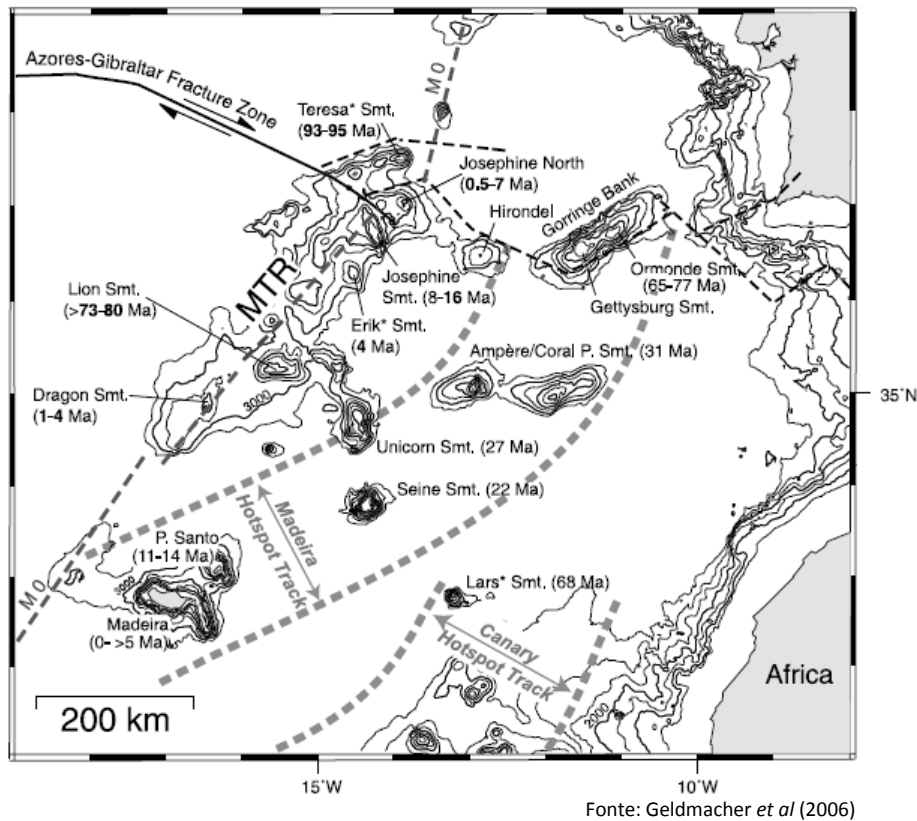


Figura 5- Batimétricas Madeira-Tore Rise, alinhamentos montanhosos Madeira - Canárias e o rasto do *hot spot* (tracejado cinza).

Segundo Ferreira (2005) o *hot spot* responsável pelo vulcanismo que deu origem ao arquipélago encontra-se, atualmente, a sul da Madeira fazendo com que o mesmo não esteja ativo na parte emergida da ilha.

1.2- Características geológicas e geomorfológicas

As rochas eruptivas, largamente dominantes na ilha, são quase exclusivamente rochas basálticas (basaltos, haviitos, gabros e ocasionalmente rochas mais ácidas tipo traquítico). Relacionadas com vulcanismo efusivo, apresentam-se sob a forma de bancadas com diferentes espessuras e inclinações e sob a forma de filões que atravessam todas as camadas em toda a ilha. Os piroclastos, materiais resultantes de vulcanismo explosivo, encontram-se de uma forma geral pouco consolidados, sendo por isso facilmente erodíveis. Estes são constituídos por materiais finos (em geral tufos e cineritos), aparelhos vulcânicos, cones de escórias e materiais piroclásticos grosseiros (blocos, bombas, brechas e aglomerados).

Baseada num conjunto de trabalhos desenvolvidos ao longo de décadas, Prada (2000), apresenta um modelo de evolução vulcano-estratigráfica da ilha da Madeira composto por sete unidades geológicas principais:

-O *Complexo Antigo* (CA) inclui as rochas mais antigas da parte emersa da ilha é constituído por escoadas, cones e piroclastos de todas as dimensões, bem consolidados, atravessados por filões e falhas por onde circula a água atualmente muito dissecados pela erosão. Pode ser observado nos vales das ribeiras a norte da ilha (São Vicente, Faial), no Porto da Cruz e Ponta de São Lourenço. Vários estudos citados por Mata (1996) apontam para que o CA se tenha desenvolvido entre > 5,2 Ma e 24,1 Ma. A idade mais antiga é de 24,1 Ma em escoadas no farol da Ponta de São Lourenço (Alves e Forjaz, 1991, citado por Prada, 2000);

- O *Depósito Conglomerado Brechóide* (CB) é constituído maioritariamente por clastos de dimensões variadas (desde poucos milímetros até 2 metros). Esta formação sedimentar resulta de depósitos de enxurradas que mais próximo da fonte (Maciço Central) é constituído por material mais grosseiro e anguloso. Mais afastado das zonas centrais aumenta a quantidade de matriz fina e de cimento. Apresentam-se muitas vezes cortados por filões, o que os distingue dos depósitos de vertente mais antigos. Afloram na maior parte dos vales profundos desde os 1100m até ao nível do mar e têm idades compreendidas entre 4,5 Ma e 4,07 Ma;
- O *Complexo Vulcânico Principal* (CP), ocupa a maior parte da ilha distinguindo-se duas séries (série superior e série inferior) correspondentes a duas fases eruptivas cujas rochas são responsáveis pelas maiores altitudes atuais da ilha. Com idades compreendidas entre 4,07Ma e 1,71Ma caracterizam-se pela alternância entre escoadas lávicas e materiais piroclásticos, cortados por uma densa rede de filões e diques. Na cabeceira da Ribeira de Santa Luzia aflora o complexo inferior, caracterizado por uma maior inclinação das escoadas. Foi uma atividade vulcânica, essencialmente efusiva, que originou os espessos mantos que se inclinam-se suavemente para a periferia;
- O *Complexo Vulcânico São Roque/Paul*, formado após o encaixe das grandes ribeiras, engloba idades desde 1,5Ma a 0,38Ma. As escoadas de lavas ocupam todo o planalto

assim como verteram para norte pelos vales das ribeiras já anteriormente encaixadas.

- Os *Episódios Vulcânicos Recentes*, correspondem às últimas erupções vulcânicas da ilha, ocorridas entre 120000 a 6000 anos atrás. Tem maior expressão no Funchal, Paúl da Serra e Porto Moniz.
- Os *Depósitos Sedimentares Recentes* são constituídos por todos os episódios sedimentares: depósitos de vertente, enxurradas recentes, fajãs, quebradas, areias de praia e dunas fósseis assim como terraços e aluviões.
- Os *Calcários Marinhos dos Lamaceiros*, aflorando na margem direita da ribeira de São Vicente, a uma altitude de 400m apresentam idades entre 5,2Ma e 4,5 Ma. São, segundo Ferreira (2005), o testemunho do levantamento da ilha durante o Plistocénico e o Quaternário.

Do ponto de vista geomorfológico pode dividir-se a ilha, de oeste para este, em três áreas distintas: Paúl da Serra, Maciço Vulcânico Central e Ponta de São Lourenço (Figura 6).

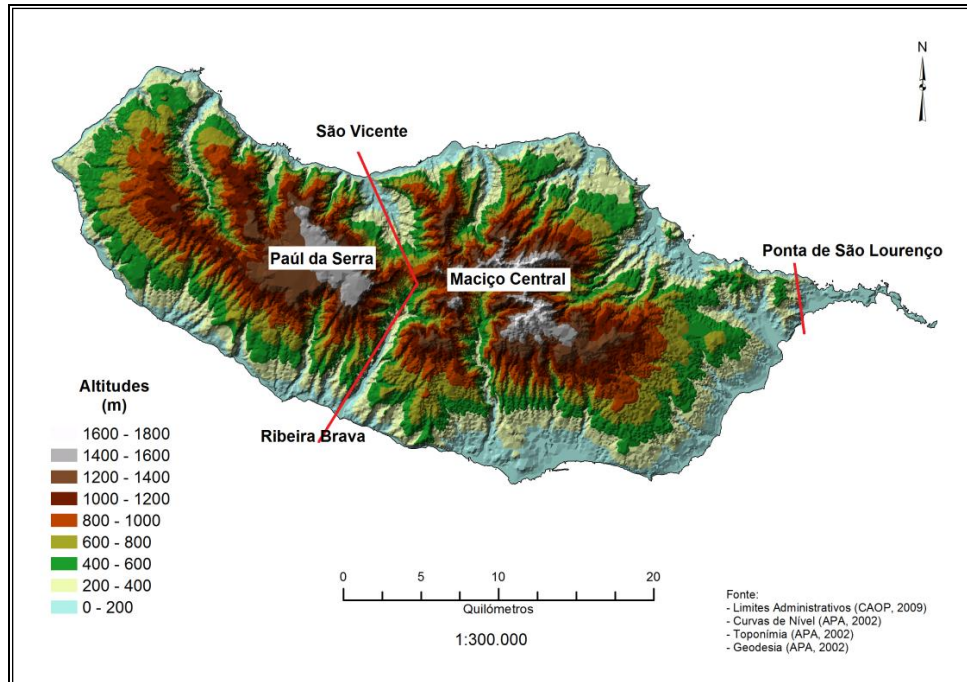


Figura 6 - Hipsometria da ilha da Madeira: grandes conjuntos geomorfológicos.

O alinhamento norte/sul dos vales da Ribeira Brava, na vertente sul, e de São Vicente, vertente norte, separam a estrutura morfológica do Paul da Serra do Maciço Vulcânico Central.

Com cerca de 25km², entre 1400 e 1500 m de altitude, a estrutura do Paúl da Serra, deve a sua formação ao espesso empilhamento de derrames lávicos horizontais o que conferiu a sua forma aplanada. O vulcanismo fissural (ocorre preferencialmente ao longo de fraturas) deu origem posteriormente a pequenos cones. Durante o Würm, há cerca de 18000 anos¹², esteve sujeita aos efeitos do regime glaciário o que conferiu o seu aspeto planáltico, cujas evidências são, segundo Ferreira, (1981), as manifestações periglaciárias de altitude, onde as formas e os materiais indicam uma origem crionival. Esta superfície continua para WNW até uma altitude de 1200m onde é separada pelo vale da Ribeira da Janela e inclina para SW tal como as escoadas lávicas do complexo basáltico do Paúl da Serra.

No Maciço Vulcânico Central estão localizadas as maiores altitudes da ilha representadas pelos Picos: Ruivo (1862m), Areeiro (1818m), Cidrão (1798m), Galo(1784m), Cedro(1759m), Coelho(1741m), Casado(1725m), Gato(1741m) e Escalvado(1698m). Do ponto de vista geológico dominam os materiais piroclásticos de natureza diversa, grandes blocos, escórias, bombas, lapili, atravessados por uma densa rede filoniana. A nível geomorfológico é de destacar as duas depressões tendencialmente circulares, Curral das Freiras e Serra d'Água, resultado da erosão diferencial (materiais piroclásticos / materiais lávicos). O Curral das Freiras, localizado na parte central da ilha, instalado em materiais predominantemente piroclásticos, constitui uma ampla bacia de receção da Ribeira dos Socorridos, que no seu troço inferior, talha formações predominantemente lávicas, apresentando deste modo um vale estreito e profundo.

De um modo geral podemos afirmar que estes dois conjuntos de relevo de grandes altitudes que, embora não conservando as estruturas vulcânicas originais, são dominados por altitudes elevadas e “por uma impressionante dissecação da drenagem e arribas imponentes” (Ferreira, 2006: 11)

¹² Idade considerada no Máximo da Última Glaciação em Ferreira (2002):11.

A Ponta de São Lourenço, pequeno e irregular prolongamento para leste da ilha, embora talhada em formações do Maciço Vulcânico Central, contrasta com a anterior pela sua não só pela forma como também pela menor altitude média. A sua inflexão para SE na extremidade reflete o contorno submarino do relevo que continua até às Desertas, de onde dista cerca de 19,5km. Segundo Carvalho e Brandão (1991) a baixa pluviosidade desta área torna possível a ocorrência de fenómenos de encouraçamento calcário.

De um modo geral podemos afirmar que a constituição geológica da ilha da Madeira é dominada pela alternância de rochas vulcânicas e piroclásticas, atravessadas por inúmeras fendas, fraturas e falhas que as tornam muito permeáveis. As intercalações argilosas, resultantes da alteração de alguns materiais, suporte às águas de infiltração, contribuem não só para a riqueza desta ilha em águas de nascente mas também, conjugadas com os fortes declives, para a instabilidade das camadas geomorfológicas.

Ao ocorrer, por toda a ilha uma alternância entre materiais em bancadas basálticas de várias espessuras, mais resistentes à erosão, e níveis constituídos por materiais piroclásticos, menos resistentes leva-nos a afirmar que a erosão diferencial é a responsável pela maioria das formas de relevo atuais da ilha.

1.3- Características Climáticas e Hidrográficas

Descrito por muitos autores como temperado, o clima da Madeira apresenta um regime anual quer de temperatura quer de humidade, semelhante em toda a ilha: verões quentes e secos e outono/inverno com os máximos de precipitação e os mínimos de temperatura.

De acordo com o IPMA no verão as temperaturas médias oscilam entre 17°C no pico do Areeiro e 26°C no litoral da ilha enquanto que no inverno os valores nos picos mais altos são inferiores a 8°C enquanto que no litoral são superiores, em média a 16°C.

Condicionado pela sua localização geográfica o clima da Madeira é, segundo Ferreira, D. (2005), resultado de intervenção de fatores locais e gerais importantes como são as massas de relevo que determinam a variação da temperatura com a altitude assim como

a exposição das vertentes à radiação e a existência de uma direção dominante do vento que, por sua vez é, à escala regional, determinada pela sua localização em relação aos centros barométricos importantes nesta secção do atlântico (anticiclone dos Açores)

A correlação entre a diminuição da temperatura e o aumento da altitude é bem visível na no mapa da figura 7. Junto ao mar, a menores altitudes predominam as temperaturas mais altas e acima desta altitude e até cerca dos 1200m a temperatura média desce até cerca dos 12°C. É a área da formação das nuvens. Acima desta altitude a temperatura média desce a níveis inferiores a 9°C: é o domínio dos picos mais altos

A imposição do relevo faz-se sentir igualmente no estabelecimento de regimes térmicos diferenciados entre a vertente *norte*, a barlavento, e a vertente *sul*, a sotavento.

Na vertente *norte* e com uma temperatura média na classe dos 15º/18ºC é de destacar:

- Santana e Ponta Delgada que envoltas em ar marítimo durante todo o ano apresentam temperaturas médias anuais regularizadas pela presença do oceano;
- os vales das ribeiras de São Vicente e Faial que ao facilitarem a penetração da massa de ar marítima até quase ao interior da ilha elevam a temperatura média.

Na vertente *sul* a área correspondendo à temperatura mais elevada circunda todo o litoral alargando-se mais a *este* (de Funchal a Machico) e sempre que a costa apresenta menor rigor de altitude.

O papel do relevo é, uma vez mais evidenciado ao longo do vale da ribeira dos Socorridos e da Ribeira Brava cujo entalhe confere não só uma menor altitude como também uma maior temperatura média.

Por seu turno as características da distribuição da precipitação na Madeira são reflexo, não só das condições da circulação atmosférica regional como das condições locais (Figura 8). Os ventos mais frequentes, de *norte* e *nordeste*, escoam ao longo da margem oriental dos Anticiclone dos Açores durante todo o ano com um mínimo no inverno e um máximo no verão.

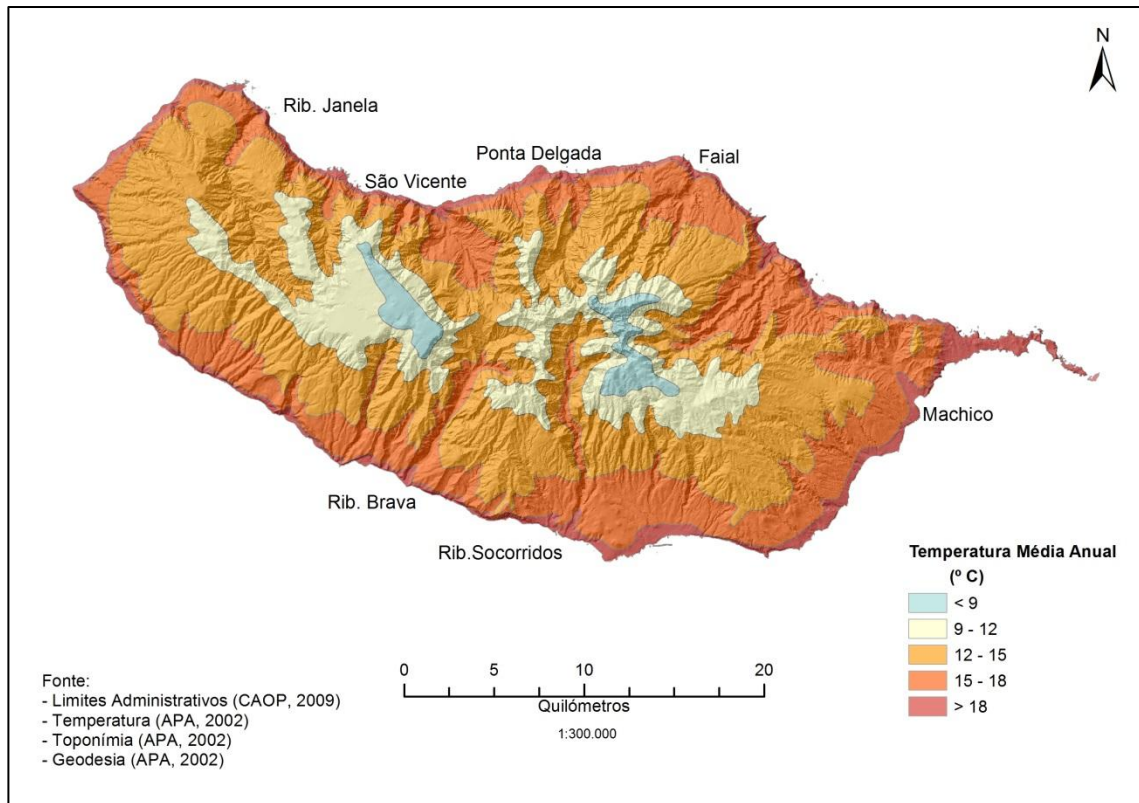


Figura 7 - Repartição espacial da Temperatura Média Anual

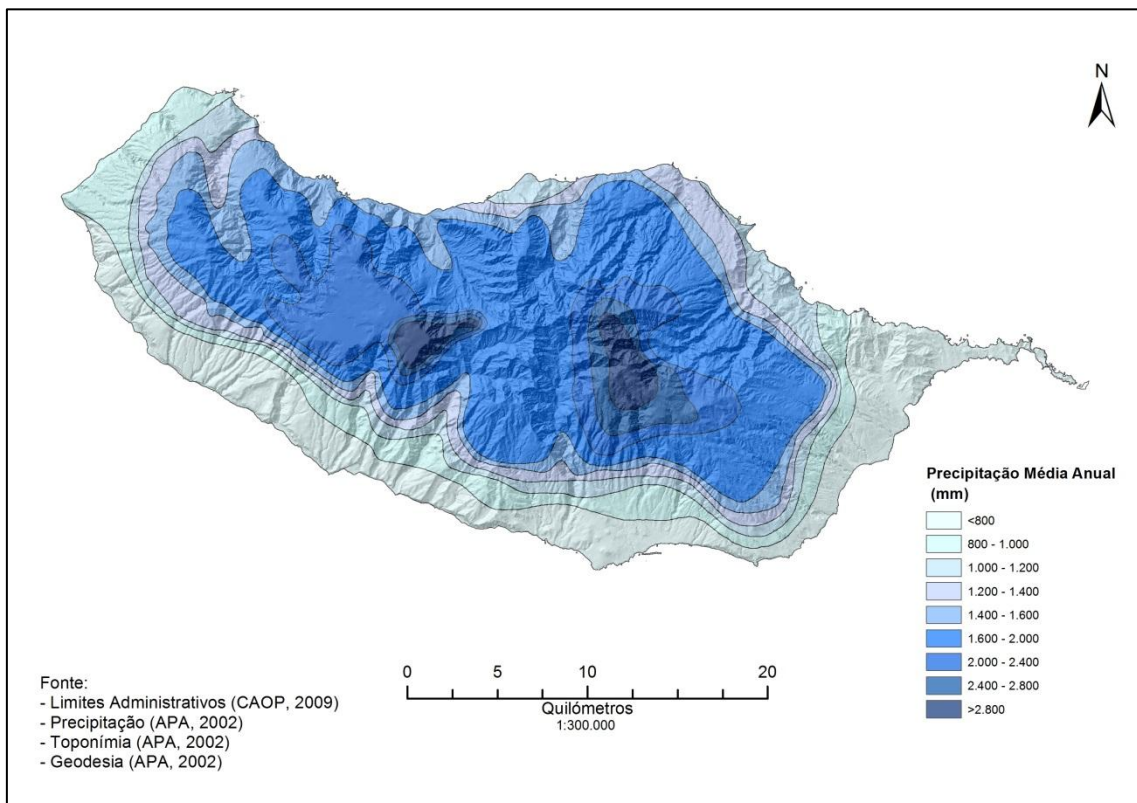


Figura 8 - Distribuição da Precipitação Média Anual

A esta circulação regional, sobrepõem-se as influências locais como mostrou Ferreira (1984) ao registar que, para o mês de Julho no Funchal, os ventos dominantes são de *sudoeste* numa época do ano em que as direções *norte* e *nordeste* dominam regionalmente. Atribui esta situação não só ao desvio ciclónico dos ventos gerais, mas também às brisas do mar, particularmente importantes durante o verão na vertente *sul*. Só no Porto Santo, com relevo pouco vigoroso, prevalece um regime de ventos que reflete o registado regionalmente no oceano.

A distribuição da precipitação na ilha reflete igualmente a influência do regime de ventos e do relevo. As áreas de maior precipitação situam-se acima dos 1000 metros de altitude com valores médios anuais superiores a 2400 mm. As precipitações médias inferiores a 800mm estão confinadas à região costeira *sul*.

Ferreira, D. (2005) faz realçar que Ponta Delgada, na vertente norte situada à mesma altitude que o Funchal, na vertente sul, recebe duas vezes mais chuva. Segundo a mesma autora, para além do relevo, são as “perturbações de origem polar, com uma trajetória predominantemente do norte e do noroeste e marcando-se à superfície por frentes frias, as que dão origem a chuva mais abundantes e, com maior frequência, nas vertentes viradas a norte do que nas vertentes voltadas a sul. Pelo contrário, as depressões estacionárias, relacionadas com gotas de ar frio em altitude¹³, parecem capazes de dar chuvas abundantes em toda a ilha” (Ferreira, 2005:237).

As gotas de ar frio que atingem a região são, no geral, muito ativas e com fortes movimentos ascendentes de ar e formação de nuvens de desenvolvimento vertical (Ventura, 1987, :40). Medina (1976), citado por Ventura (1987), refere que depois de se isolarem as gotas de ar frio tendem a dissipar-se quando, os ventos que rodeiam a gota são simétricos convertendo-a num vórtice ciclónico que absorve o ar quente das margens e mistura-o com o seu próprio ar, mais frio, homogeneizando-o. Quando há subsidência do ar ou a ausência de novas advecções de ar frio contribuem para a sua rápida dissipação.

¹³ “(...) foram consideradas gotas frias as colunas ciclónicas normalmente em circulação de bloqueio, resultantes da advecção de ar frio polar ou ártico (...) as gotas frias originam ciclones com estrutura térmica simétrica com circulação mais acentuada em altitude (..) as depressões associadas à frente polar são mais marcadas à superfície e de estrutura térmica completamente assimétrica, (Ventura,1987:39 e 40)

Pelo contrário a sua manutenção (quando não há subsidência) pode provocar precipitações intensas, frequentemente concentradas no tempo. A posição da região, no flanco *leste* da gota de ar frio está, segundo o mesmo autor, associada à ascendência do ar. São, também, elementos importantes no desencadear de precipitações intensas a existência de forte humidade do ar na baixa troposfera e fortes gradientes verticais de temperatura.

Nos picos mais elevados da Madeira, foram observadas as maiores concentrações diárias de precipitação de todo o país, sendo se assinalar que a probabilidade de tais ocorrências é de cinco vezes em cem anos para valores de 300mm, e no litoral sul esses valores descem para 100-150mm

Para Ramos (2005) a precipitação (1200hm³ anuais) é o único *input* de água na Ilha da Madeira. Deste, cerca de 42% evapora-se restando 700hm³/ano, dos quais 500 hm³ alimentam o escoamento superficial¹⁴. Este escoamento deriva quer diretamente da precipitação quer indiretamente através das inúmeras nascentes.

As nascentes são, segundo Paradela (1980), originadas através de níveis de aquíferos suspensos (altos ou superiores) permitidos pelas características geomorfológicas onde a alternância entre material permeável e impermeável como é o caso dos materiais piroclásticos sujeitos a um longo processo de alteração, permite a infiltração e retenção da água a níveis de altitude elevados.

O modelo hidrogeológico elaborado por Prada (2000) reafirma que as principais áreas de recarga estão localizadas nas zonas mais elevadas da ilha onde a precipitação é mais elevada e onde a natureza porosa das formações geológicas favorece a infiltração e circulação subterrânea. Segundo a autora, a recarga flui na vertical até encontrar estratos pouco permeáveis, a diferente níveis originando aquíferos suspensos que podem funcionar como nascentes (os de pequena extensão) ou aquíferos (mais extensos e espessos). A zona saturada, formada pelo aquífero vulcânico generalizado, estende-se por toda a ilha dando origem a aquíferos compartimentados quando localmente é interrompido por filões subverticais.

¹⁴ PRAM (2003) precisa que o volume anual médio do escoamento superficial potencial total é da ordem de 582 hm³, (582 × 106 m³).

Deste modo podemos afirmar que, apesar da reduzida área da ilha e dos cursos de água serem curtos, a sua alimentação é assegurada, em geral, todo o ano sendo o caudal maior no inverno. Há um conjunto de nascentes de maior caudal que é também aproveitado, há longos anos, pelo conjunto de levadas¹⁵ que percorre toda a ilha e que se destina a beneficiar empreendimentos agrícolas e elétricos. Paradela (1980) aponta que o caudal, captado pelas levadas, ascende ao total de 345 000 m³/d enquanto as nascentes, não incluídas nas levadas, somam cerca de 30 508 m³/d.

A rede de drenagem da ilha é radial, divergindo as ribeiras das zonas altas do interior para as baixas da periferia, em geral perpendicular à linha da costa (Figura 9). O papel estruturante das falhas por vezes atua como guia na orientação das linhas de água como é o caso da Ribeira da Janela (Carvalho e Brandão, 1991). Segundo estes autores, são também característicos, os perfis longitudinais com declives acentuados e a reduzida erosão lateral das vertentes.

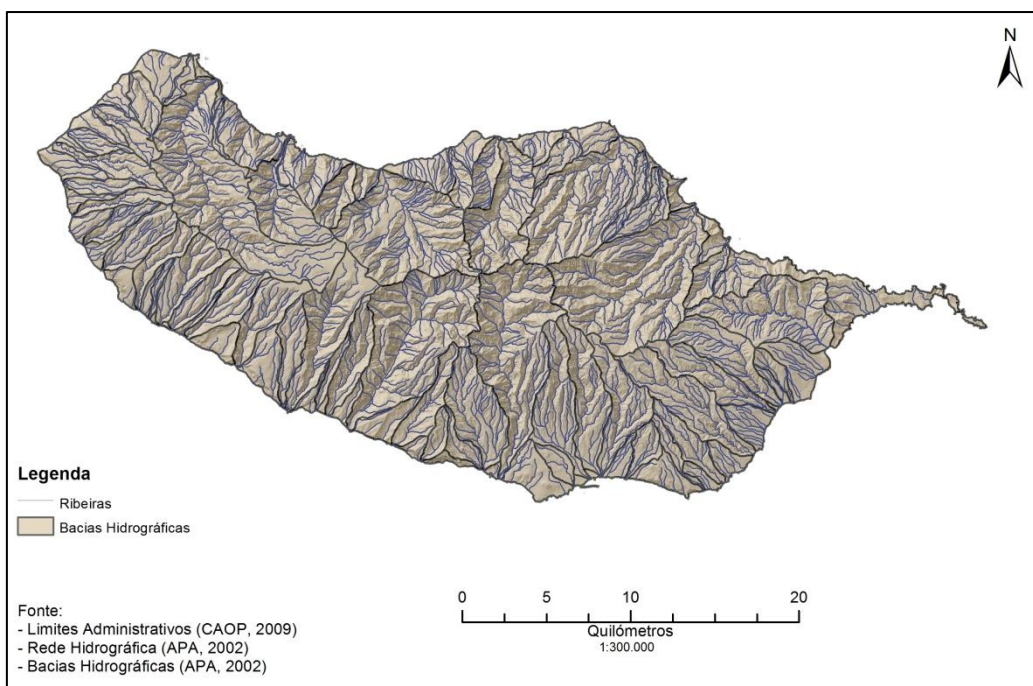


Figura 9 – Rede Hidrográfica da ilha da Madeira

¹⁵ “Chama o povo levadas aos aquedutos regionais de água de irrigação, porque assim as designou, em 1493, D. João II, em Carta Régia(...) As levadas são valas ou ductos descobertos, estreitos e extensos, abertos no solo e construídos de pedra e cal, chegando a atingir 1 metro de largura e a profundidade de 30 a 80 cm. (...) na generalidade partem dos pontos mais elevados e centrais da ilha, e encabeçam as mais caudalosas ribeiras(...) quase todas têm origem no Norte da ilha (...)” Em Pereira, E. (1989: 680-683)

Com uma alimentação mais intensa no inverno, mas com escoamento assegurado quase durante todo o ano, a rede de drenagem da ilha é radial, divergindo as ribeiras das zonas altas do interior para as baixas da periferia, em geral perpendicular à linha da costa. O papel estruturante das falhas por vezes atua como guia na orientação das linhas de água como é o caso da Ribeira da Janela (Carvalho e Brandão, 1991). Segundo estes autores, são também característicos os perfis longitudinais com declives acentuados e a reduzida erosão lateral das vertentes.

A grande altitude média (650m) associada à abundância de formações piroclásticas e à elevada pluviosidade, confere à água uma forte capacidade modeladora do relevo que se traduz por um conjunto de vales profundamente encaixados.

Os perfis transversais variam de acordo com a resistência dos materiais à erosão: as formações piroclásticas ou lávicas profundamente alteradas são facilmente erodidas e o entalhe das linhas de água apresenta menor declive, enquanto que nos mantos não meteorizados, mais resistentes resultam em vales de perfil em U.

Devido aos grandes declives, pela instabilidade mecânica que conferem aos perfis de alteração, os materiais alterados são rapidamente evacuados (Romariz e Prates, 1996-citado por Mata, 1996) quer de forma lenta e impercetível quer de forma abrupta, em escorregamentos e desmoronamentos ou quebradas, para a base das vertentes e fundos dos vales.

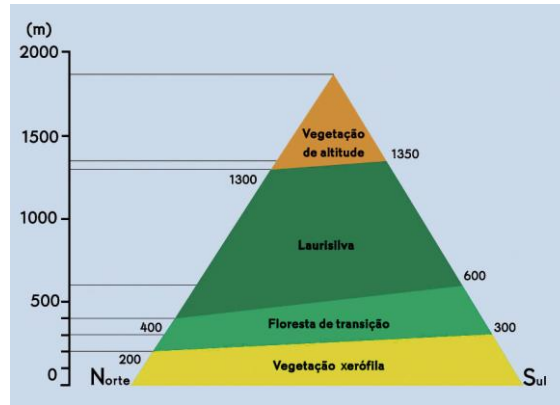
1.4- O coberto vegetal e os solos

A vegetação da ilha da Madeira encontra-se muito influenciada pela ação humana. Pouco extensas, as áreas de vegetação indígena encontram-se confinadas às áreas montanhosas e aos vales de maior declive onde o aproveitamento agrícola não foi possível e onde os sucessivos incêndios florestais estivais ainda não chegaram.

A disposição da vegetação indígena sugere uma estreita dependência das condições climáticas e da sua variabilidade em altitude. Os limites na distribuição dos diferentes andares de vegetação na encosta *norte*, mais fria e húmida, encontram-se a cotas inferiores aos da encosta *sul*, mais amena e seca. (Figura 10).

De um modo geral Quintal (2007) deteta quatro andares de vegetação indígena:

-desde o litoral até aos trezentos metros de altitude onde, pela sua temperatura média mais elevada e pelos níveis mais baixos de precipitação, predominaria uma formação xerófita, restando ainda vestígios desta formação nas escarpas e arribas mais difíceis de urbanizar.



Fonte: Quintal (2007)

Figura 10 – Andares fitoclimáticos

Destacam-se nesta formação vegetal como espécies de maior porte, predominantemente arbustiva e herbácea, o dragoeiro e o zambugeiro;

-entre as altitudes médias de 300 e 600 metros, onde a temperatura média começa a descer as espécies de maior porte surgem com maior frequência. Os barbusanos, as faias das ilhas, o marmulano, entre outras, sobreviveram como pequenos núcleos até aos nossos dias nas vertentes mais declivosas de algumas ribeiras como são as de Santa Luzia e João Gomes no Funchal;

-entre os 600 e os 1300/1350 metros, com maiores níveis de humidade e humidade relativa, desenvolve-se a floresta ombrófila onde não só as árvores atingem maior porte de onde destacamos as lauráceas (til, vinhático e loureiro) – é a Laurissilva. Esta comunidade, de grande variedade de espécies, sobrevive confinada às áreas mais declivosas e aos vales no interior da ilha podendo, em especial nas vertentes voltadas a norte, ocupar áreas com alguma extensão.

Classificada como Património Natural da Humanidade pela UNESCO, estes 20% da superfície da ilha (Neves, et al, 1996, citado por Quintal, 2007) está incluída no Parque Natural da Madeira desde 1982 (Figura 11).

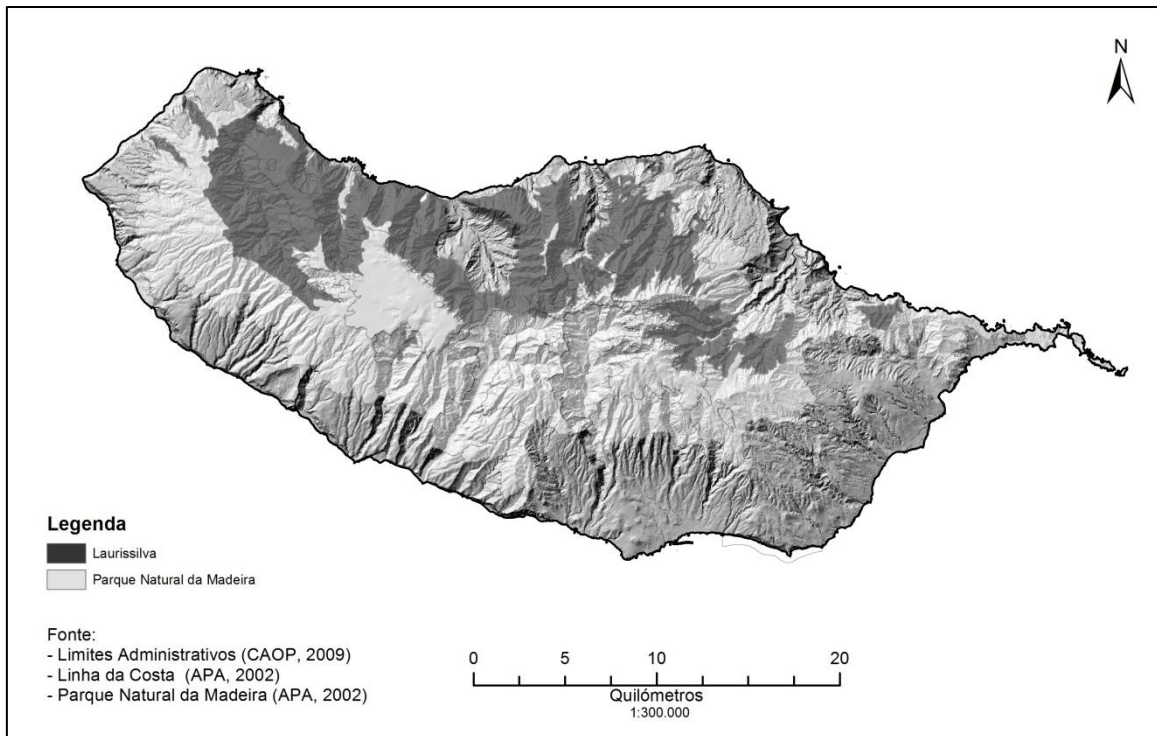


Figura 11 – Área de distribuição da Laurissilva.

A atividade e ocupações humana desordenada tem, não só reduzido a sua área alterado a sua composição original, tornando-a mais vulnerável.

- acima dos 1300/1350 metro de altitude, por vezes a partir dos 1000 metros ocorrem os prados naturais, normalmente correspondendo as áreas planálticas, nas “achadas”¹⁶ e encostas mais ou menos declivosas. São constituídos por um tapete de gramíneas rasteiras e outras herbáceas que cobrem de forma irregular o solo, por um estrato de fetos e por pequenos núcleos de arbustos e árvores de porte arbustivo. Tal como as restantes formações, esta encontra-se muito degradada pelo pastoreio e pelos incêndios.

Ao longo dos anos, pela necessidade de aumentar a área de cultivo, foi-se ocupando primeiro as áreas mais aplanadas, muito escassas, e em seguida as áreas de maior altitude e maior declive. Nestes últimos a manutenção do solo agrícola fez-se à custa da armação artificial de socalcos, os “poios”¹⁷, que encosta acima alteraram a

¹⁶ Achada – termo arcaico que significa pequena chã ou planície, geralmente situada entre dois terrenos acidentados. Pequenos ressaltos nas vertentes.

¹⁷ Poios – ou socalcos minúsculas parcelas de cultivo, em terrenos declivosos, geralmente com paredes de pedra emparelhada, formando autênticos degraus nas vertentes.

evolução e composição dos solos. Nestas parcelas irregulares, é praticada uma policultura intensiva onde as árvores de fruto, quer de origem tropical quer temperada, que raramente constituem pomares, associam-se às hortícolas.

As espécies silvícolas também alteraram a fisionomia da paisagem natural da ilha. As espécies florestais dominantes, em especial nas encostas sul da ilha, são agora as espécies exóticas (pinheiros, eucaliptos, acácias...) que predominam acima dos 200 metros de altitude.

Segundo a Carta de Solos da Ilha da Madeira (1992), estas práticas alteraram profundamente, a espessura, sucessão de horizontes e estrutura dos solos da ilha e até mesmo a formaram solos totalmente artificiais pela deslocação de terras.alterando-lhe, inclusive, o seu comportamento físico e químico.

Segundo o PRAM¹⁸ os solos que maior área ocupa na Ilha da Madeira são os *Andossols* , em cerca de 42% da área total, enquanto que as escarpas, dominantes na zona central da ilha, ocupam 37,7%. No Funchal (Figura 12) estes solos ocupam, as áreas de maior altitude e até aos 700 metros, dominam os *Cambisols*. De referir que no Funchal estão mais representados o conjunto classificado como *Cambisols* saturados, apresentando uma textura plástica e pegajosa, nos níveis inferiores. *Os Vertisols*, fazem-se representar por uma pequena mancha, abaixo dos 200 metros de altitude, na zona oeste do Funchal até junto ao mar. Solos com 30%, ou mais, de argila, são muito suscetíveis à erosão.

¹⁸ PRAM – Plano Regional da Água da Madeira

2. O concelho do Funchal

2.1. A expansão da cidade

O Funchal foi elevado à categoria de cidade a 21 de Agosto de 1508, em função do vasto bispado criado por D. Manuel I, aquando dos descobrimentos e tornou-se, rapidamente, num centro cosmopolita. Com o aumento dos territórios portugueses o Funchal tornara-se paragem quase obrigatória, nas rotas do Atlântico sul, dos comerciantes e armadas europeias.

Logo após a descoberta da ilha dada as boas condições locais para a prática da agricultura e ao abrigo da sua baía, formou-se uma pequena povoação que cedo passou a ser mencionado por *vila*, na documentação enviada pelo reino. A consolidação ocorre ainda durante o século XV, e “o povoado cresce arrumado à volta da Igreja de Nossa Senhora do Calhau”, (Abreu e Gaspar, 2007:19), e as estruturas e instituições económicas, culturais, jurídicas e administrativas, foram surgindo aos poucos nesta pequena área. Já no final do século XV o “duque¹⁹ D. Manuel, senhor das ilhas, ofereceu terrenos, o “Campo do Duque”, para a construção da praça, Câmara, paço dos tabeliães (...) promoveu também os meios para a edificação da igreja catedral da vila do Funchal. Com cerca de 5000 habitantes é uma das vilas mais importantes do reino”, (Abreu e Gaspar, 2007:19).

Aos poucos os principais arruamentos da cidade vão surgindo, condicionados pela topografia, pela disponibilidade de terrenos e pela necessidade de circulação fácil de mercadorias. No final do século XV, estão já delineada a estrutura da cidade: um eixo paralelo à linha da costa formado pelo conjunto Rua de Santa Maria, Rua dos Mercadores e Rua de Santa Catarina e alguns dos edifícios estruturantes como são as igrejas e capelas, a cadeia e o “campo do Duque”. A partir deste eixo principal surge, perpendicularmente, outro eixo também ele estruturante: a rua Direita (Figura 12).

¹⁹ À data D. Manuel era Duque de Beja.

Para o interior, as principais linhas de água constituíram-se como eixos de penetração onde se instalaram pequenas unidades industriais ligadas à moagem de cereais²⁰ e à produção de açúcar, e serviram de guia ao traçado de arruamentos.

Desde cedo se desenharam dois núcleos na malha urbana do Funchal. O núcleo primitivo, localizado a *este* da ribeira de Santa Maria do Calhau (atual ribeira de João Gomes), estendia-se até ao “calhau”²¹ e tinha como centro a Igreja de Nossa Senhora do Calhau. Aqui viviam os artesãos e o “povo miúdo”.

O segundo núcleo, a *oeste* da foz da ribeira de Santa Luzia, criado no “Campo do Duque”, área plana e baixa, onde se estabeleceu a parte administrativa e religiosa cidade. Esta área que atualmente se estende entre a catedral, a alfândega e a fortaleza de São Lourenço, ocupa uma posição central. É a parte privilegiada da cidade onde gravitava (tal como ainda hoje) grande parte da vida económica e social da cidade. Outros arruamentos foram se construindo e derivavam da necessidade de deslocações rápidas entre a área comercial e industrial e o Varadouro dos Batéis, local de embarque e desembarque de mercadorias. Assim, foram surgindo e se consolidando arruamentos que ainda hoje fazem parte da malha urbana (Figura 12).

Em finais do século XVI, segundo Ribeiro (1985), a cidade contava já com cerca de 10 000 habitantes e cerca de uma dezena de engenhos de açúcar- era a cidade do açúcar.

Em 1530 Giulio Landi, citado por Aragão (1981: 82 e 83) descreve o Funchal como uma “ ... cidade ao longo da praia (...) É a sua largura menos de metade do seu comprimento. Está voltada para sul e para levante” Deduzimos então que o Funchal apesar de ter duplicado a sua população pouco cresceu para o interior tendo, antes, se espraiado em todo o comprimento da sua baía, adensado as construções e multiplicando, com isso, os arruamentos (Figura 13).

²⁰ Sobrevive ainda, na toponímia local, o sítio dos Moinhos, na margem esquerda da ribeira de Santa Luzia, neste momento plenamente absorvido na malha urbana do Funchal.

²¹ Calhau – designação popular da praia de calhaus rolados.



Fonte: Arquivo Regional da Madeira

Figura 12– Planta do Funchal 1430-1485, reconstituição de Ant3nio Arag3o



Fonte: Arquivo Regional da Madeira

Figura 13 - Planta do Funchal 1485-1600, reconstituição de Ant3nio Arag3o

Com o decair do comércio do açúcar, o vinho passa a comandar as exportações, imprimindo alterações significativas não só na fisionomia da paisagem como na fisionomia da cidade. Este novo surto económico trouxe à cidade, entre os séculos XVII e XVIII, esta foi a época dos corsários e a insegurança fez com que as fortificações e muralhas da cidade, construídas na época anterior, tivessem uma renovação com a edificação de novas fortalezas. Foi, também, a época de algumas calamidades como incêndios e aluviões²² que atingiram a cidade e que, pontualmente a modificaram. XVIII, uma remodelação arquitetónica²³. Os edifícios públicos multiplicam-se dos quais salientamos o Paço Episcopal, o Colégio dos Jesuítas e a Igreja do Colégio.

No final do Século XVIII o Funchal era, sem dúvida maior mas a sua estrutura quincentista manteve-se: o centro da cidade continuava a ser o núcleo da Sé e os edifícios públicos nas suas proximidades. Nos arredores, em áreas de maior altitude, multiplicaram-se as quintas madeirenses²⁴ propriedade de comerciantes mais abastados. Dadas as suas características as quintas mantiveram, na coroa à volta deste núcleo urbano, o aspeto rural da paisagem.

Já o Século XIX ficou marcado pela ocupação inglesa, e pela redução da exportação vinícola o que, em termos económicos, conduziu a ilha a um período de

²² “18 de Novembro de 1724 (...) padeceu a ilha da Madeira uma tormenta e dilúvio (...) também a cidade do Funchal experimentou grande dano e muitas ruínas, assim nas suas muralhas como na povoação, com a enchente da Ribeira do Pinheiro (Santa Luzia) que a divide. (...)”

18 de Novembro de 1765. Em virtude das grandes chuvas, cresceram muito neste dia as ribeiras que atravessam o Funchal, sendo destruída a ponte da Praça e sofrendo bastante outras pontes da cidade” (Silva e Menezes, 1985, p 54).

²³“Os mercadores do Funchal transformaram as pequenas casas térreas em habitações sobradadas, servidas por amplas caves onde se guardavam as pipas(...) Edifícios com fachadas rendilhadas em cantaria negra com varandas de ferro forjado a servir inúmeras janelas, onde não falta a torre avista-navios” (Vasconcelos, 2008, p 25)

²⁴Este termo designa um tipo específico de propriedade. “(...)rústica e urbana, de maior ou menor extensão, murada em todo o seu perímetro ou ao menos numa parte considerável dele, contendo sempre uma boa casa de habitação, rodeada de jardins e passeios sombreados com maciços de árvores. Dá-lhe acesso uma porta gradeada de ferro, de certo aparato arquitectónico, comunicando com um passeio, que directamente conduz à residência. Muitas quintas abrangem terrenos cultivados de vinha e cana-de-açúcar, hortas, pomares e arvoredos. Algumas delas possuem construções destinadas a diversos serviços agrícolas, estábulos e habitações dos caseiros, tendo as mais antigas, além da casa nobre de moradia, uma capela adjunta, outrora para uso privativo dos seus proprietários” (Silva e Menezes, 1985: 301)

forte carência. A emigração parece ter sido a saída para muitos madeirenses: Brasil, Hawai e Demerara²⁵ são os principais destinos, onde o saber e experiência do agricultor madeirense foi apreciada, em especial, no cultivo da cana sacarina.

Resultado da crise vinícola foi também a venda de muitos terrenos e “Quintas” que os empresários ingleses transformaram em hotéis tirando partido da nova vaga económica da ilha: o turismo. O clima ameno atraía os turistas, que de início visitavam a ilha com finalidades terapêuticas, em especial para o tratamento da doença mais temida na época, a tuberculose. Nesta fase, em termos urbanísticos, podemos dizer que poucas alterações estruturais tiveram lugar. O núcleo da Sé Catedral reafirmou-se como centro e a cidade estendeu-se um pouco para oeste, ultrapassando a ribeira de São João (Figura 14).



Fonte: Arquivo Regional da Madeira

Figura 14– Planta do Funchal 1894, reconstituição de António Aragão

O início do século XIX foi marcado pela maior aluvião de que há memória²⁶ no Funchal. Após estas inundações procedeu-se à construção das muralhas hidráulicas ao

²⁵ Demerara é a designação atribuída pelos holandeses a parte do território da atual República da Guiana, na América Central. No início do séc. XIX, o território de Demerara, foi unificado aos de Essequibo e Berbice formando a antiga Guiana Inglesa.

²⁶ 9 de Outubro de 1803. Foi neste dia tristemente memorável que uma grande inundação assolou os campos da Madeira e destruiu uma parte considerável da cidade, causando não somente danos materiais mas também a perda da vida de algumas centenas de pessoas (...).A Ribeira de João Gomes, com a abundância e violência das águas, rebentou em três diversos pontos, formando outras tantas impetuosas correntes que causaram os maiores estragos e vitimaram algumas dezenas de pessoas. Ruas inteiras e inúmeras casas de habitação e outros prédios foram arrastados para o mar, incluindo a igreja paroquial,

seu encanamento das ribeiras no seu sector urbano, obras a cargo do brigadeiro Oudinot.²⁷

Foram construídas muralhas de proteção e contenção das ribeiras e, a ladeá-las, a cotas superiores às ruas primitivas, surgem novos arruamentos: as ruas 5 de Outubro (rua do Príncipe) e 31 de Janeiro (rua da Princesa) junto à ribeira de Santa Luzia que remeteram as ruas dos Tanoeiros, da Praia e Largo dos Varadouros e parte da rua da Alfândega, a uma cota inferior. As ruas Visconde do Anadia e ruas Brigadeiro Oudinot /rua dos Profetas nas margens da ribeira de João Gomes. Estas elevam a uma cota entre 2, 5 a 4,5 metros superior às ruas mais antigas de Santa Maria e Latino Coelho e a rua Visconde do Anadia que se posiciona a cotas que chegam aso 5 metros acima das ruas dos Tanoeiros, rua Direita²⁸ e Largo do Pelourinho. (Figura 15).

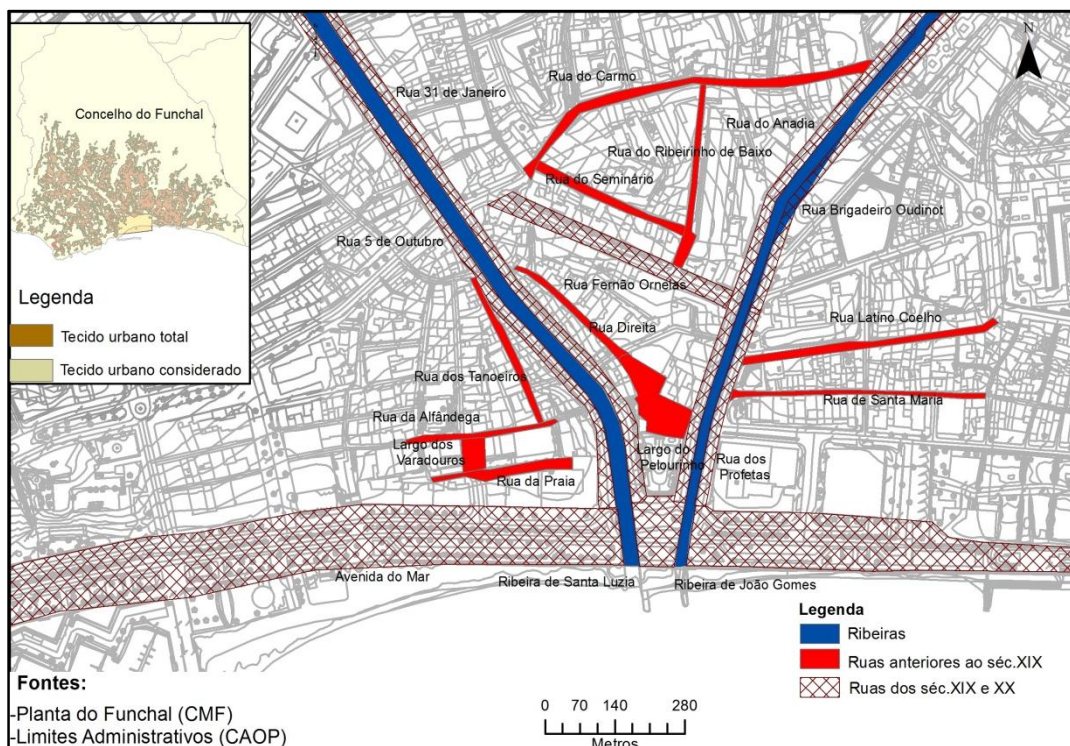


Figura 15- Identificação e localização das ruas antigas relativamente às construídas no início do séc. XX

conhecida pelo nome de Nossa Senhora do Calhau e que ficava na margem esquerda da ribeira (...) calcula-se que só no bairro de Santa Maria Maior tivessem perecido cêrca de 200 pessoas.” (Silva e Menezes, 1985: 55).

²⁷ Reinaldo Oudinot aponta como alternativa

²⁸ Foi uma das ruas mais extensas do Funchal. Ligava o Largo do Pelourinho “estendendo-se pela margem esquerda da Ribeira de Santa Luzia até às proximidades do Torreão [atual Parque de Santa Luzia]” e, até ao século XVI era a maior da cidade. (Silva e Menezes, 1985:365).

No início do século XX no Funchal “(...) prevaleciam as características de burgo medieval, determinadas pela espontaneidade do seu desenvolvimento urbanístico e pelas diretrizes lançadas à época do seu povoamento (...) com ruas estreitas e tortuosas, de péssima pavimentação, sem águas potáveis, sem esgotos, repleta de imensos e infectos estábulos” (Vasconcelos, 2008:30).

A necessidade de renovação urbana levou a que em 1913 o arquiteto Ventura Terra apresentasse o “Plano de Melhoramentos” para o Funchal o qual era fundamentado numa melhor disposição da rede viária, com a construção de novas, mais amplas e melhor planeadas vias de comunicação. Foram construídas as avenidas a oeste da cidade, como é a avenida Manuel de Arriaga²⁹. Este projeto ambicioso, foi abandonado e retomado, parcialmente, nos anos trinta e quarenta por Fernão de Ornelas então presidente da Câmara Municipal.

Fernão de Ornelas preside a um vasto conjunto de melhoramentos na cidade: construção de edifícios públicos como escolas, o liceu, bairros económicos e parques e incentiva a instalação da luz elétrica, entre outros. Mas, é na abertura de alguns arruamentos (Figura 15) que acaba por transformar a malha urbana e com isso condicionar o escoamento de águas pluviais e fluviais, no casco antigo da cidade, tais como:

- a abertura da rua de Fernão de Ornelas, que ao cortar a rua Direita e posicionar-se a cotas superiores às ruas do Carmo e Ribeirinho de Baixo³⁰ as transformam em áreas de acumulação de águas;

- a abertura da avenida do Mar, paralela às antigas ruas do Mercadores e da Praia que irá levar à cobertura e estreitamento das secções terminais das ribeiras de João Gomes e Santa Luzia: Por ter sido projetada a cotas superiores às das ruas da Alfândega e da Praia e ao Largo dos Varadouros irá condicionar o escoamento destas antigas artérias;

²⁹Projetou, igualmente, outras avenidas e praças, assim como a cobertura em cimento da Ribeira de Santa Luzia onde se estenderia uma avenida com 30 metros de largo. As ruas marginais (atuais ruas 5 de Outubro e 31 de Janeiro), funcionariam como passeios da dita avenida, o que nunca passou do projeto.

³⁰ Rua do Ribeirinho deve a sua toponímia ao ribeiro do Vale, que vem da rua da Pena, atravessa a rua João de Deus, travessa do Rego e rua do Carmo, hoje totalmente, canalizado, nesta secção urbana.

A juntar a estas condicionantes, entre os anos 60 e os anos 80, (Figura 18) o acréscimo de população, devido ao do êxodo rural, transformou a fisionomia do Funchal. A chegada de novos habitantes devido à oferta de emprego, resultante de nova vaga de obras públicas, levou a uma expansão e a cidade cresce muito para além do apertado núcleo junto ao mar. Esta expansão faz-se em quase todas as direções invadindo, de forma contínua, as vertentes do anfiteatro alargando e adensando a mancha urbana em direção às zonas altas da cidade. De 1957 para 1971, a expansão dos limites urbanos é bem visível (Figura 17).

Nas décadas seguintes o salpicar desordenado das habitações, quer subindo as encostas quer ocupando os leitos de cheia dos cursos de água, cria dificuldades acrescidas na construção de infraestruturas básicas. A falta de acessibilidade e a precaridade de muitas destas construções em áreas de forte declive, criam situações de grande fragilidade. Em 1972, é aprovado o primeiro Plano Diretor da Cidade do Funchal, do arquiteto Rafael Botelho,³¹ que evidencia uma aposta na expansão da cidade para *oeste*. Uma cidade bem organizada, com eixos bem definidos, e limitando a expansão da cidade com introdução de condicionantes à ocupação das zonas agrícolas e florestais nas áreas de maior altitude. Foi também pioneiro num levantamento criterioso das zonas verdes e respetivas medidas regulamentares e num inventário do património, apresentando medidas de salvaguarda do património cultural. Nos anos 70 e 80 a cidade cresceu, sobretudo para *oeste*.

Ao retomar a liderança de uma equipa técnica da CMF, no início dos anos 80, “(...) dizem os técnicos que na altura trabalharam com ele, que o Mestre elegeu quatro assuntos prioritários (...): as Zonas Altas; o Centro urbano e o Tráfego; os Núcleos Históricos e a Frente Mar (...)” (Matos, 2012). Com mudanças na presidência, a CMF rescinde contrato com o arquiteto e os seus estudos foram esquecidos. As consequências da falta de planeamento não se fizeram esperar: a cidade estende-se, em altitude alargando se, sem uma organização territorial e sem linhas mestras de ocupação visíveis (Figura 17).

³¹ Rafael Botelho promoveu um conjunto de debates públicos e palestras, no âmbito deste Plano, publicados em 1969, com o título de “Colóquios de Urbanismo.

Em 1997 foi aprovado o novo Plano Diretor que apresentava como eixo estratégico a criação de novas centralidades no Funchal. Contudo a concretização em planos de Pormenor e de Urbanização surgiram tardios e com pouca expressão. O PDM foi suspenso e neste momento em 2013 encontrava-se em revisão.

Entretanto a cidade continuou a aumentar quer em mancha quer em densidade e os problemas identificados por Rafael Botelho persistem e intensificam-se. A evolução da população do Funchal mostra a tendência de crescimento já anteriormente identificada. Até 1960 são as freguesias correspondentes aos núcleos urbanos do centro antigo as que apresentam um maior aumento: Santa Maria Maior e Sé. Após 1960 e até os anos 80, são as freguesias localizadas na periferia das anteriores a registarem um maior crescimento: São Pedro e São Roque, (Figura 16).

Após 1981, são as freguesias localizadas a oeste, aquelas que apresentam um valor crescente de população: Santo António, São Martinho e São Roque. Estas últimas, englobam igualmente parte da coroa de maiores altitudes (Figura 17). A ocupação das vertentes e dos leitos são uma constante (Anexo 9).

Mas o centro do Funchal, em especial a freguesia da Sé, após alguns anos a perder população inverteu esta tendência na última década. Pensamos que este facto está relacionado com a renovação urbana que entretanto se veio a proceder no centro da cidade e que corresponde, grosso modo, a esta freguesia e onde a renovação converteu alguns prédios unifamiliares em prédios plurifamiliares.

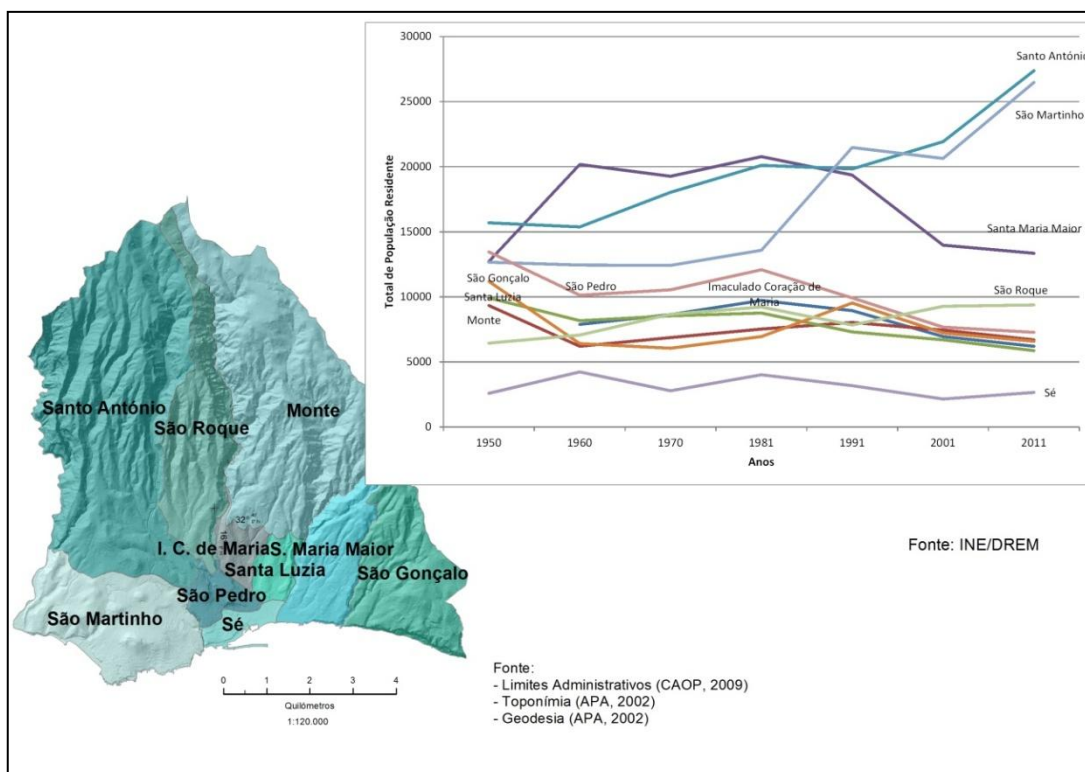


Figura 16 – Evolução da população residente no concelho do Funchal entre 1950 e 2011.

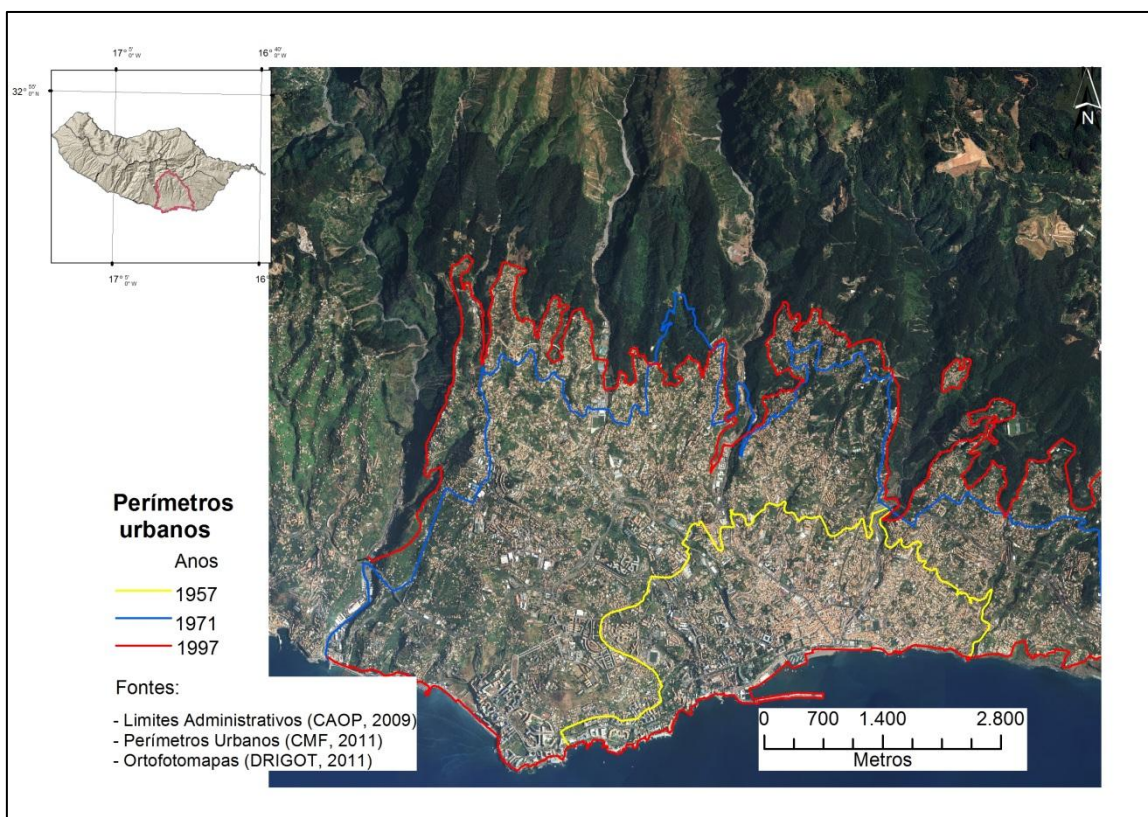


Figura 17 – Perímetros urbanos do Funchal em 1957, 1971 e 1997.

Podemos então concluir que a parte da cidade mais antiga e, simultaneamente mais fustigada pelas inundações urbanas, após um período de relativo abandono e envelhecimento da sua população está novamente a recuperar um pouco em número de habitantes e em renovação dos seus edifícios. As áreas mais recentes, de prédios de construção moderna encontram-se, em especial a oeste da cidade, nas áreas onde não foram registados, até à data, quaisquer aluviões.

Capítulo III – As inundações na cidade do Funchal: o caso de 20 de fevereiro de 2010

1 – Episódios de aluvião no passado

Nas diversas descrições feitas ao longo do tempo, do decorrer dos acontecimentos durante uma aluvião, é nota frequente a manifestação de surpresa perante a rapidez com que os acontecimentos se desenrolam e os seus efeitos, muitas vezes fatais. Encontramos inúmeros relatos, em especial nos periódicos locais, dos últimos aluviões mas, foi através das descrições do Elucidário Madeirense, e das referências de Quintal (1999) que foi elaborada uma pequena síntese das aluviões, anteriores a 2010, que atingiram a cidade do Funchal. A nossa principal preocupação nesta recolha foi averiguar a frequência com que as mesmas áreas, dentro do tecido urbano, têm sido atingidas em cada episódio, a sequência dos acontecimentos que as desencadeiam e as principais perdas daí decorrentes.

Nas primeiras descrições das aluviões (Figura 18) são as áreas na margem direita da ribeira de João Gomes e na margem esquerda da ribeira de Santa Luzia as mais afetadas. As enormes chuvas que precedem o aumento do caudal são referidas em quase todos os relatos. De salientar que, antes do século XIX, apesar das ribeiras já apresentarem muros de proteção os mesmos deveriam ter baixa altura e sem segurança³² e as diversas ruas estariam a um desnível menor em relação ao leito das ribeiras, logo mais acessíveis ao fluxo transbordado.

A maior aluvião da Madeira ocorreu a 10 de Outubro de 1803. Os acontecimentos, foram descritos da seguinte forma: “(...) teve lugar um pavoroso cataclysmo que começou por descarregar, desde a manhã da véspera, sobre toda a ilha e especialmente sobre as faldas em que assenta o Funchal, grossos cordões d’água sem interrupção. (...) a trovoada fuzilava e ribombava como estrepito de canhões; e o vento, um vento rijo e impetuoso, sibilava pelas gretas das portas das casas dos moradores do bairro inundado, que já se achavam presos nas suas habitações (...) os leitos

³² - “(...) em 1756 foi chamado à CMF o capitão de engenheiros Domingos Rodrigues Martins afim de organizar o orçamento das obras de reedificação das muralhas das ribeiras (...)”. Em Silva e Menezes, (1985): 411.

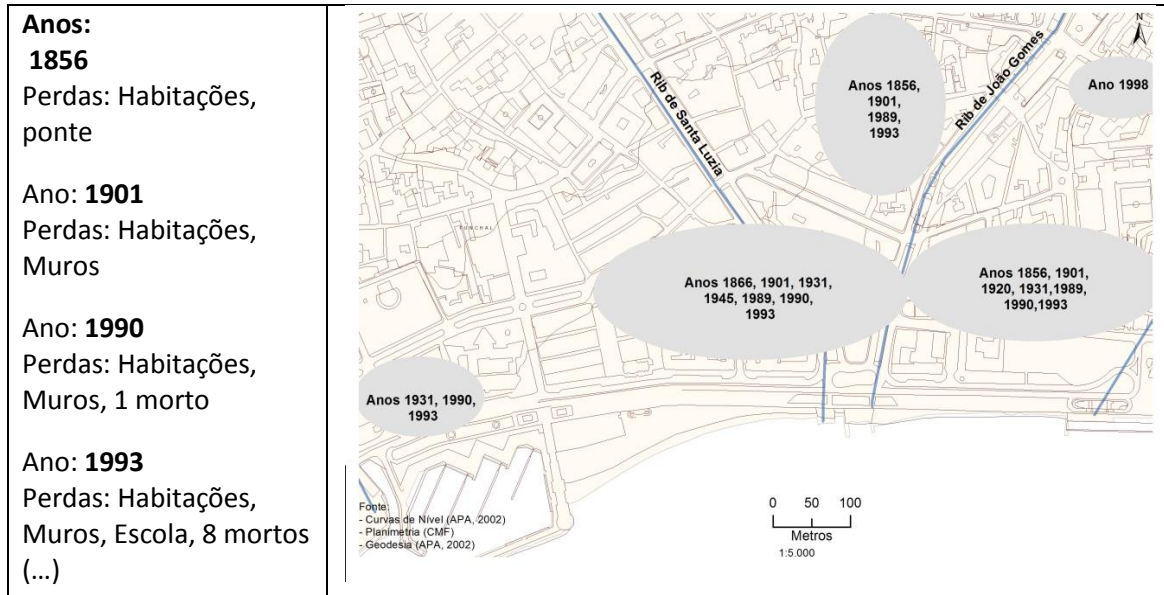
quintuplicaram de largura com a aluvião e as casarias tinham derruido ” (Corrêa, 1927:38).

| | |
|--|--|
| <p>Anos:</p> <p>1611 Perdas: Igreja...</p> <p>1724 Perdas: Habitações, Muralhas, Ruas...</p> <p>1765 Perdas: Ponte, 1 morto...</p> | |
| <p>Ano 1803</p> <p>Perdas: -Igreja, edifícios, 5 pontes de alvenaria, muralhas de pedra nas três ribeiras, ruas inteiras e cerca de 1000 mortos.</p> | |
| <p>Ano 1815</p> <p>Perdas: -Igreja, edifícios, 5 pontes de alvenaria, muralhas de pedra nas três ribeiras, ruas inteiras e cerca de 1000 mortos.</p> | |

Fontes: Diário de Notícias da Madeira e Jornal da Madeira, Silva e Menezes (1985) e Quintal (1999)

Figura 18– Localização das áreas inundadas em A - 1611, 1724, 1765; B-183; C- 1815

Em 1815 a aluvião foi descrita como tendo sido de menor magnitude do que a de 1803, e não terá provocado tantas perdas devido à reconstrução das muralhas das ribeiras, efetuada entretanto. Das descrições das aluviões seguintes (Figura 19), as áreas inundadas são, sensivelmente as mesmas, contudo as ruas atingidas são em maior número.



Fonte: Diário de Notícias da Madeira e Jornal da Madeira, Silva e Menezes (1985) e Quintal (1999)

Figura 19 – Localização das áreas abrangidas pelas inundações dos anos 1856, 1901, 1990 e 1993.

As descrições revelam consistência nas características deste fenómeno que se repetem evento após evento: a concentração de precipitações elevadas e a resposta quase imediata do caudal das ribeiras. Mais que o valor total, é a grande concentração das chuvas num período curto a principal responsável pelos enormes caudais associados a consequências mais graves (Quintal, 1999). Este autor demonstra que, por vezes, basta uma pequena diferença de concentração para as consequências serem agravadas. Por exemplo, em 1989 a precipitação máxima foi de 34,4 l/m² (em 60 minutos) e os efeitos foram muito ténues enquanto que em 1990 foi de 38 l/m² (em 40 minutos) e as consequências foram muito mais graves.

Mas, foi a aluvião de 1993 (Figura 20) que mais próximo esteve ao grau de destruição registado em 2010. Assim descreve o periódico *Tribuna da Madeira*: “Chuvas torrenciais ocorridas durante a noite provocaram o deslizamento de terras e as ribeiras, estranguladas por habitações e entupidas por entulho, não conseguiram reter as águas em fúria dentro das suas margens. O caudal de águas lamacentas arrastou para a morte

oito pessoas, uma das quais na ribeira dos Socorridos, em Câmara de Lobos, e provocou danos materiais de milhões de contos. Cerca de 100 habitações foram destruídas e largas centenas de funchalenses ficaram desalojados. As escolas tiveram que encerrar e 220 automóveis foram destruídos.”³³

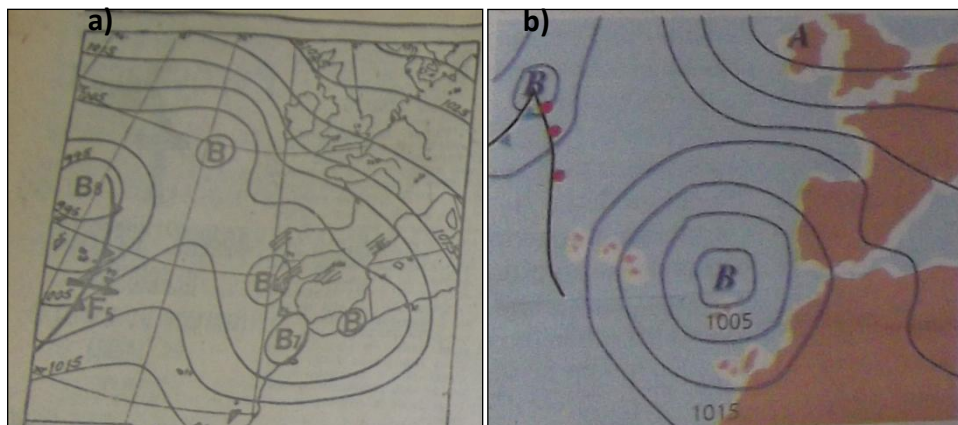


Fonte: Diário de Notícias da Madeira (30/10/1993)

Figura 20 - A aluvião de 1993 na imprensa escrita.

As cartas de superfície publicadas na imprensa diária (Figura 21), em 1979 mostram a posição da Madeira num vale depressionário com associação a um sistema frontal, responsável pela precipitação registada. Em 1993, um extenso corpo depressionário centrado na ilha da Madeira estaria na origem de tão abundante precipitação.

³³ Disponível em : <http://www.meteopt.com/forum/eventos-meteorologicos/recordar-o-temporal-de-29-out-1993-madeira-1442.html> [Acedido em setembro de 2012]



Fonte: Diário de Notícias, 24 de Janeiro de 1979 (a) e 30 de Outubro de 1993 (b)

Figura 21– Cartas de superfície publicadas no Diário de Notícias da Madeira.

As descrições dos estados de tempo observados em outras datas são consistentes com as ocorridas em 1993, o que nos leva a concluir que na origem das aluviões estarão as depressões muito cavadas (associadas ou não a sistemas frontais) que ao estacionem na região, pelo menos alguns dias, geram valores extremos de precipitação. Na zona subtropical do Atlântico oriental conjugam-se fatores dinâmicos e geográficos favoráveis que, segundo D. B. Ferreira (1985) citada por Rebelo (2003), seriam: a presença de ar quente e húmido nas baixas camadas e os conjuntos montanhosos.

As consequências, embora variando no grau de severidade, resultam quase sempre em inundações da baixa da cidade, acompanhadas de destruição de infraestruturas (edifícios, ruas, pontes, muros) e na perda de vidas humanas.

Os espaços recorrentemente inundados são, a secção terminal das bacias hidrográficas das três ribeiras (São João, Santa Luzia e João Gomes) os correspondentes a artérias como a Rua das Fontes, da Praia, dos Tanoeiros, do Anadia, de Santa Maria e do Hospital Velho e a avenida do Mar, em quase toda a sua extensão.

Da análise retrospectiva anterior podemos inferir algumas características comuns:

- As inundações são recorrentes nas mesmas áreas: o núcleo mais antigo da cidade, para este da Ribeira de João Gomes, na área onde as bacias das duas ribeiras, de

João Gomes e Santa Luzia se estreitam junto à foz, assim como a oeste desta última ribeira.

- Iniciam-se sempre com chuvas intensas resultando em caudais abundantes e o transbordo das margens. Estas águas carregadas de carga sólida e com grande velocidade inundam e destroem ruas, passeios, praças, edifícios e arrastam materiais de diversa volumetria e peso assim como pessoas que, muitas vezes, acabam por perecer;
- As chuvas, que estão na sua génese, têm origem em núcleos depressionários associados, ou não, a superfícies frontais. Junta-se-lhes, por vezes, o efeito das vagas que, segundo relato do Diário de Notícias de 24 de janeiro de 1979, chegaram a atingir 7 a 8 metros de altura e que, na secção terminal das ribeiras, dificultam a evacuação das águas potenciando as inundações;
- As áreas mais fustigadas, evento após evento, são reconstruídas e “apagada da memória coletiva” até novo aluvião, que tem assolado pelo menos uma vez por década a ilha da Madeira, e que, na maioria dos casos, atinge a cidade do Funchal.

2 – Fatores desencadeantes da aluvião de 20 de fevereiro

AS inundações rápidas resultam, geralmente, de uma conjugação de vários fatores naturais (características geográficas, climáticas e hidrogeológicas) e de ocupação do solo. Segundo Rebelo (2003), a importância de conhecer estes fatores, analisando situações ocorridas no passado, é um passo fundamental para poder reduzir a vulnerabilidade.

2.1 - A precipitação

O ciclo anual das temperaturas e precipitações na Madeira (Capítulo II) é o decorrente da sua posição geográfica e das imposições locais do relevo. O Funchal, pela sua localização a sotavento é influenciado pelo efeito de *Foehn*: mais seco que as estações meteorológicas da vertente norte, de altitude equivalente, apresenta igualmente uma temperatura média mais elevada.

Contudo, é o aumento rápido de altitude nas vertentes sobranceiras ao núcleo urbano que proporciona variações de temperatura e precipitação que estão refletidas

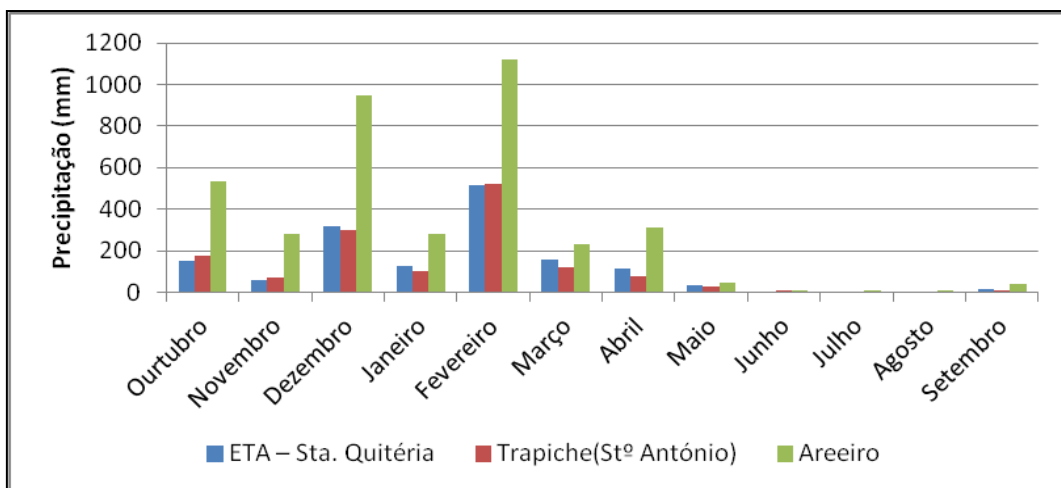
nos dados das estações meteorológicas de Santa Quitéria (327 metros de altitude), Trapiche (506 metros de altitude) e Areeiro (1603 metros de altitude).

A precipitação total mensal no ano hidrológico de 2009/2010 nestas três estações meteorológicas (Figura 22) foi mais abundante nos meses de outubro a março, com máximos em dezembro e fevereiro. Foi a estação udométrica do Areeiro a que, em todos os meses, registou quase o dobro da precipitação, das duas estações localizadas a cotas inferiores (Trapiche e Santa Quitéria). Na estação do Areeiro, para o mês de dezembro, o total de precipitação foi um pouco inferior ao do mês de fevereiro.

No início do ano hidrológico 2009/2010, (Figura 23), a diferença entre Areeiro e Sta. Quitéria não é significativa e só a partir de dezembro as duas estações apresentam um registo diferenciado. Em janeiro a acumulação era já considerável no Areeiro (2088,4mm), e Sta. Quitéria registou somente 670,6 mm. Num único mês, fevereiro, as duas estações udométricas acumularam o valor quase equivalente à soma de todos os meses anteriores (3168,2mm no Areeiro e 1171,1mm, em Sta Quitéria).O mês de abril volta a registar uma pequena subida, nas duas estações consideradas (3709,4mm e 1443,9mm), tendo estabilizado até setembro.

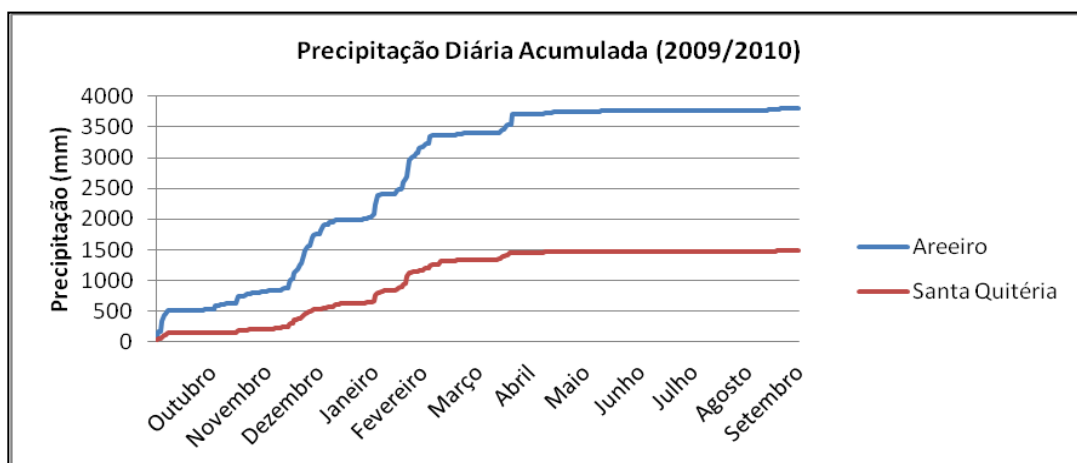
O mês de fevereiro foi, de facto, o corolário de um ano hidrológico excepcionalmente húmido, e a precipitação diária neste mês (Figura 24) revela igualmente uma ligeira diferenciação entre as três estações. A estação do Areeiro registou, quase sempre, os valores mais altos de precipitação (271mm no dia 2 de fevereiro e 387mm no dia 20 de fevereiro), logo seguida de Trapiche e Santa Quitéria. Durante todo o mês, o posto udométrico de Trapiche registou valores superiores a Santa Quitéria (de menor altitude).

Foram registados dois máximos de precipitação diária total em fevereiro: nos dias 2 e 3 e nos dias 19 e 20. Este último foi primeiro registado em Santa Quitéria (a oeste) e só no dia seguinte nas estações de Trapiche e do Areeiro. Refira-se ainda que após os dois máximos, a precipitação desce bruscamente atingindo os valores mínimos do mês.



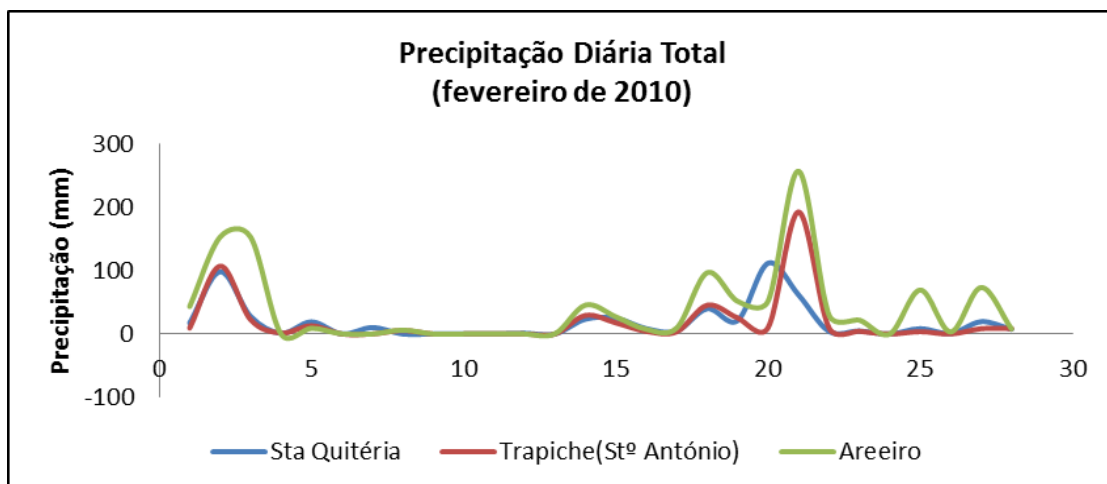
Fonte: IGA

Figura 22-Precipitação total mensal no ano hidrológico 2009/2010 nas estações udométricas de Sta Quitéria, Trapiche e Areeiro.



Fonte: IGA

Figura 23 - Precipitação diária acumulada para o ano hidrológico de 2009/2010.



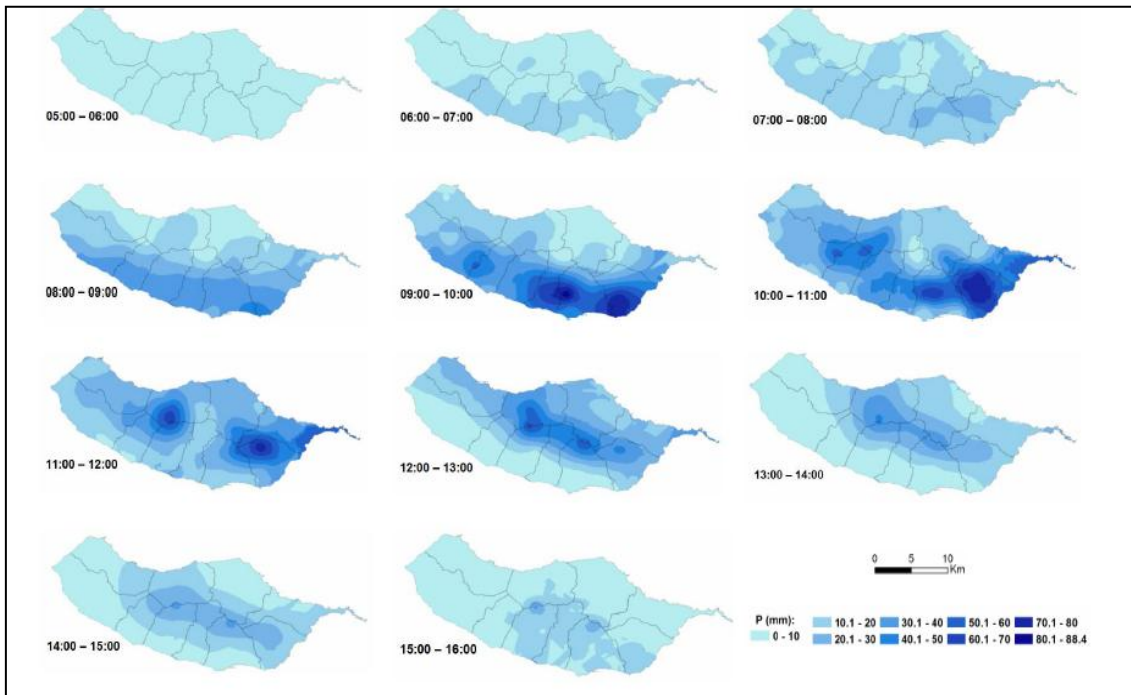
Fonte: IGA

Figura 24 – Precipitação diária total nas estações udométricas de Sta Quitéria, Trapiche e Areeiro.

Na evolução horária das manchas de precipitação horária (Figura 25), em toda a ilha da Madeira para o dia 20 de fevereiro de 2010 (Fragoso *et al*, 2012: 722), notamos que até às 9 horas a precipitação não era assinalável mantendo-se a níveis inferiores a 30 mm. Após as 9h a intensidade aumenta observando -se dois núcleos de forte precipitação (> 80 mm): a *oeste* do concelho do Funchal abrangendo o concelho de Câmara de Lobos e outro a *este*, entre o concelho do Funchal e o concelho Santa Cruz.

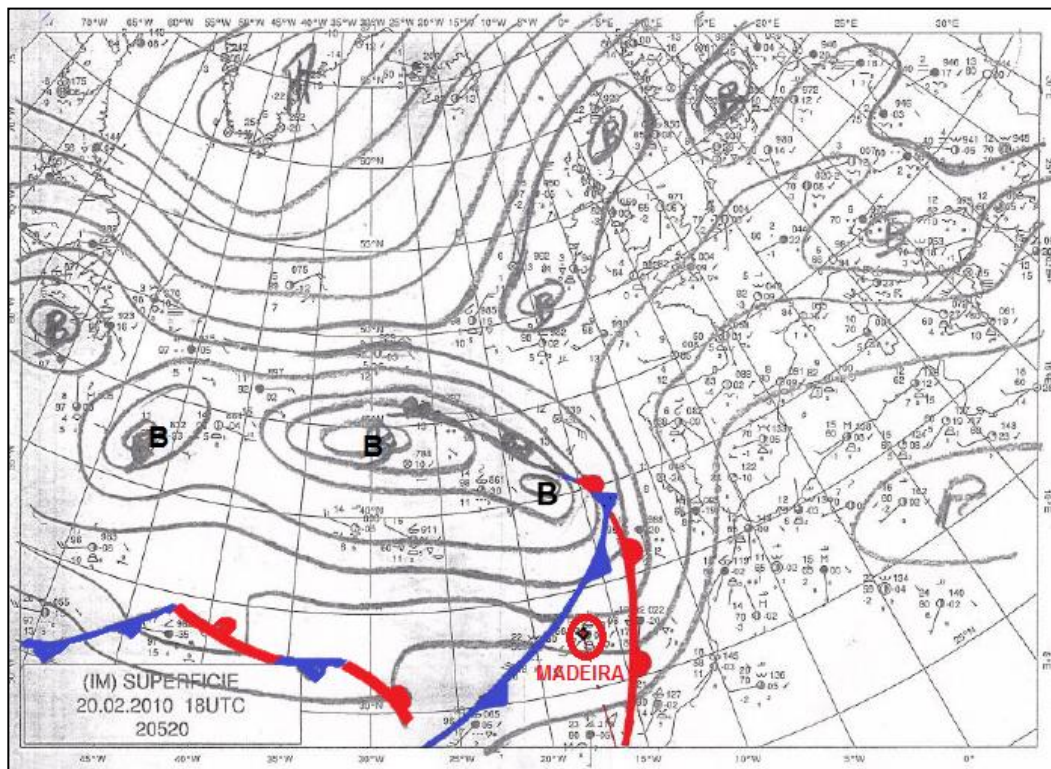
Estes dois núcleos encontravam-se ligados entre si por uma faixa de precipitação superior a 60mm que atravessava todo o concelho do Funchal que estava sob precipitação intensa. Entre as 10 e as 11h os núcleos concentram-se atingindo plenamente o concelho do Funchal, a *oeste* e o concelho de Santa Cruz, a *este*. A partir das 12h a intensidade diminui e os núcleos circunscreveram-se ao centro da ilha.

A situação sinótica de superfície às 18 horas (Figura 26), mostra a depressão barométrica centrada a norte, à latitude dos Açores, e a Madeira influenciada pelo sector quente da superfície frontal.



Fonte: Fragoso *et al* (2012, p: 722)

Figura 25- Precipitação horária na Madeira, 20 de Fevereiro de 2010, entre as 05:00h e as 16:00h.



Fonte: IPMA

Figura 26 – Carta sinótica de superfície de 20 de fevereiro de 2010, às 18h.

Segundo o Boletim do Instituto de Meteorologia (2010) o estado de tempo para a Madeira a 20 de fevereiro de 2010 foi “(...)condicionado predominantemente por depressões às quais por vezes estiveram associadas superfícies frontais, (...) o céu esteve em geral muito nublado e ocorreram períodos de chuva (...) particularmente forte a violenta (> 50 mm/h).”

Esta descrição do estado de tempo é muito semelhante àquelas descritas para eventos passados, ao que concluímos que, apesar de ser de maior magnitude, a aluvião de 2010 resulta de situações meteorológicas que assolam a ilha periodicamente.

2.2. Características das bacias hidrográficas

As características físicas que condicionam fortemente os fenómenos de cheias são, segundo (Ramos, 2009: 33), a geometria, o sistema de drenagem e o relevo das bacias hidrográficas. Assim procederemos à sua análise de modo a poder avaliar o como estas propriedades condicionam a dinâmica hidrológica e o seu papel nas inundações do centro da cidade do Funchal. Foram consideradas as ribeiras cujos transbordos têm tido como consequência inundações: a ribeira de São João, a oeste, as ribeiras de Santa Luzia, João Gomes e o ribeiro da Nora, a este.

Características geométricas

As bacias hidrográficas das ribeiras que atravessam o Funchal são pequenas, estreitas como na maioria da ilha da Madeira. De pequena área as três principais bacias hidrográficas (São João, Sta. Luzia e João Gomes) apresentam parâmetros geométricos igualmente semelhantes, (Tabela 1)³⁴.

Tabela 1– Características geométricas das bacias hidrográficas

| Dados obtidos | Bacias hidrográficas | | | |
|-------------------------------------|----------------------|-----------|----------|------|
| | S. João | St. Luzia | J. Gomes | Nora |
| Perímetro (km) | 24,9 | 23,8 | 23,1 | 7,5 |
| Área (km ²) | 14,7 | 14,2 | 12,8 | 1,7 |
| Comprimento do canal principal (km) | 11,5 | 11,4 | 10,3 | 3,1 |
| Largura máxima (km) | 2,8 | 2,2 | 2,6 | 1,3 |

A bacia da ribeira de São João é a que regista valores ligeiramente superiores em área (14,7 km²), perímetro (24,9 km) e largura (2,8 km) e a de João Gomes a que detém valores mais baixos (12,8 km², 23,1 km em área e perímetro) A ribeira de Santa Luzia é a mais estreita.

³⁴ Os dados base foram gerados pelo *software* ArcGis10 a partir dos valores de altitude divulgados pelo APA (2002).

A do ribeiro da Nora, apesar da sua diminuta dimensão (1,7 km² de área), tem causado algumas inundações, de magnitude inferior às anteriores ribeiras.

Forma das bacias hidrográficas

Segundo Lencastre e Franco (2010) as bacias mais compridas são as que se encontram menos sujeitas a cheias, uma vez que a probabilidade de cobertura de toda a bacia por chuvas fortes é menor do que a de uma bacia circular, o que segundo os dados anteriores seria a ribeira de Santa Luzia.

Neste sentido foram também calculados (Tabela 2) os indicadores de forma das bacias (coeficiente de compacidade e fator forma) de modo a poder quantificar a influência da forma no modo de resposta da bacia à ocorrência de precipitação.

Tabela 2 – Indicadores de forma

| Dados obtidos | Bacias hidrográficas | | | |
|--|--|--|--|--|
| | S. João | St. Luzia | J. Gomes | Nora |
| Coeficiente de compacidade ³⁵ | Kc= 0,28 $\frac{24,9}{\sqrt{14,7}} = 1,8$ | Kc= 0,28 $\frac{23,8}{\sqrt{14,2}} = 1,7$ | Kc= 0,28 $\frac{23,1}{\sqrt{12,8}} = 1,8$ | Kc= 0,28 $\frac{7,5}{\sqrt{1,7}} = 1,6$ |
| Fator de forma ³⁶ | $l = 1,3$ Kf = 0,11 | $l = 1,24$ Kf = 0,11 | $l = 1,24$ Kf = 0,12 | $l = 0,54$ Kf = 0,17 |

Dos resultados obtidos podemos concluir que, em relação ao:

- coeficiente de compacidade- as quatro bacias apresentam valores muito próximos: 1,8 em São João; 1,7 em João Gomes e Santa Luzia; 1,6 no ribeiro da Nora. Como todas as bacias registam valores superiores a 1,5 poderão ser consideradas, segundo este indicador, como bacias com pouca propensão a grandes cheias;

³⁵ O "coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius é a relação entre o perímetro da bacia, P, e a circunferência de um círculo de igual área, A, de raio r", logo $Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$. (Lencastre e Franco, 2010:30)

³⁶ O "fator de forma é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia" (Lencastre e Franco, 2010: 30). Obtém-se a largura média dividindo a área pelo comprimento do eixo. Logo, $l = \frac{A}{L}$.

- fator forma foi muito semelhante entre as três maiores ribeiras (0,11 e 0,12), enquanto que os resultados do ribeiro da Nora afastam-se, ligeiramente, com um valor de 0,17, correspondendo todas a bacias muito alongadas o que corrobora os resultados anteriores.

Quanto à geometria das bacias os indicadores revelam uma fraca propensão que estas bacias têm, isoladamente, para a ocorrência de cheias.

Sistema de drenagem

Relativamente ao grau de ramificação ou bifurcação das bacias em análise foram, numa primeira fase, ordenados os canais da rede de drenagem, utilizado o método de Strahler³⁷, (Figura 27) e usando o *software* ArcGis10.

As bacias hidrográficas das ribeiras de São João e Santa Luzia são as que apresentam maior ramificação chegando à ordem 7 na secção terminal das duas ribeiras. Na ribeira de João Gomes a ordem mais elevada é 6 e no ribeiro da Nora é 5. São bacias já com uma ramificação elevada.

A bacia da ribeira de São João é, desde a sua cabeceira, uma bacia complexa onde os canais atingem a ordem 5. Durante quase toda a extensão mantém esta ordem e só um pouco para jusante do curso médio, quando ao canal principal confluem duas ribeiras afluentes, uma a *oeste* e outra a *este*, o que eleva a sua ordem até ao 7 (Figura 27).

Naturalmente os canais de ordem 1 são os que detêm um comprimento total maior (Figura 28). Os canais de ordem 5 são também dos mais extensos do conjunto das quatro bacias.

³⁷ - Segundo Lencastre e Franco (2010), nesta classificação estão considerados todos os cursos de água (perenes, intermitentes ou efémeros) e são classificados de ordem 1, aqueles cursos que não tenham afluentes; de ordem 2 aqueles que resultem da união de dois cursos de ordem 1 e de ordem 3 aqueles que resultem da união de dois cursos de ordem 2, e assim sucessivamente.

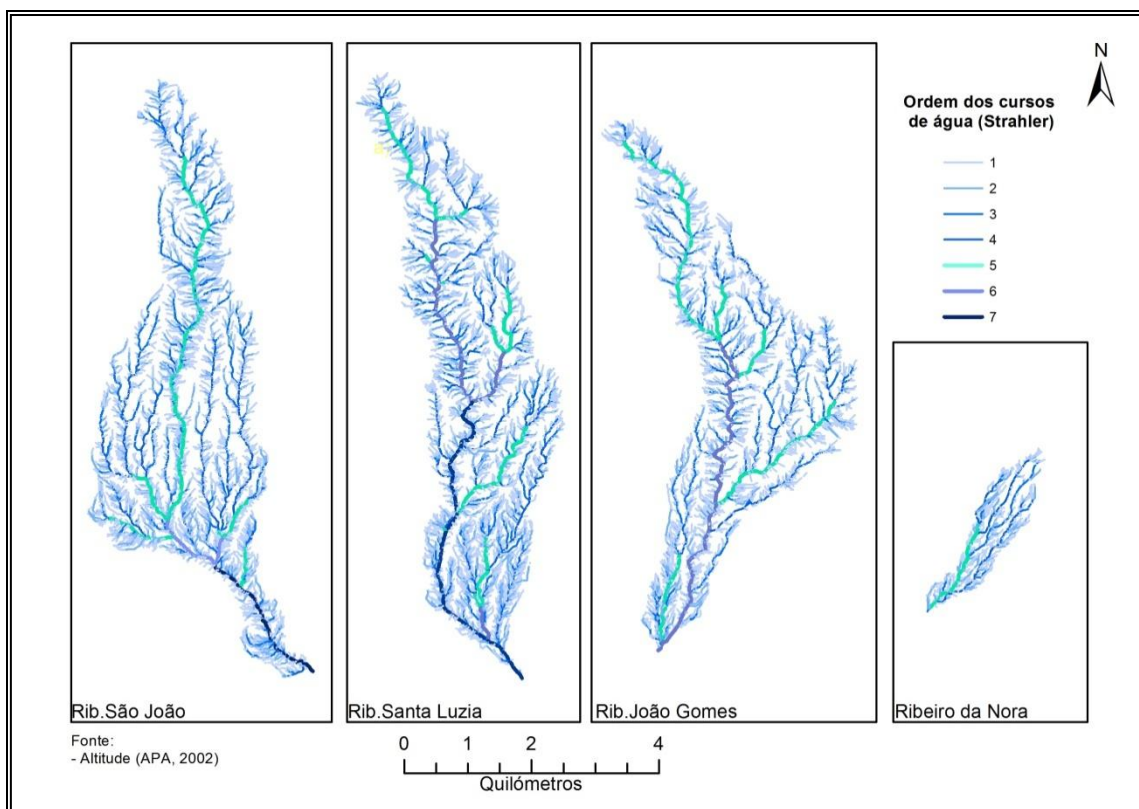


Figura 27– Ordem dos cursos de água em cada uma das redes hidrográficas.

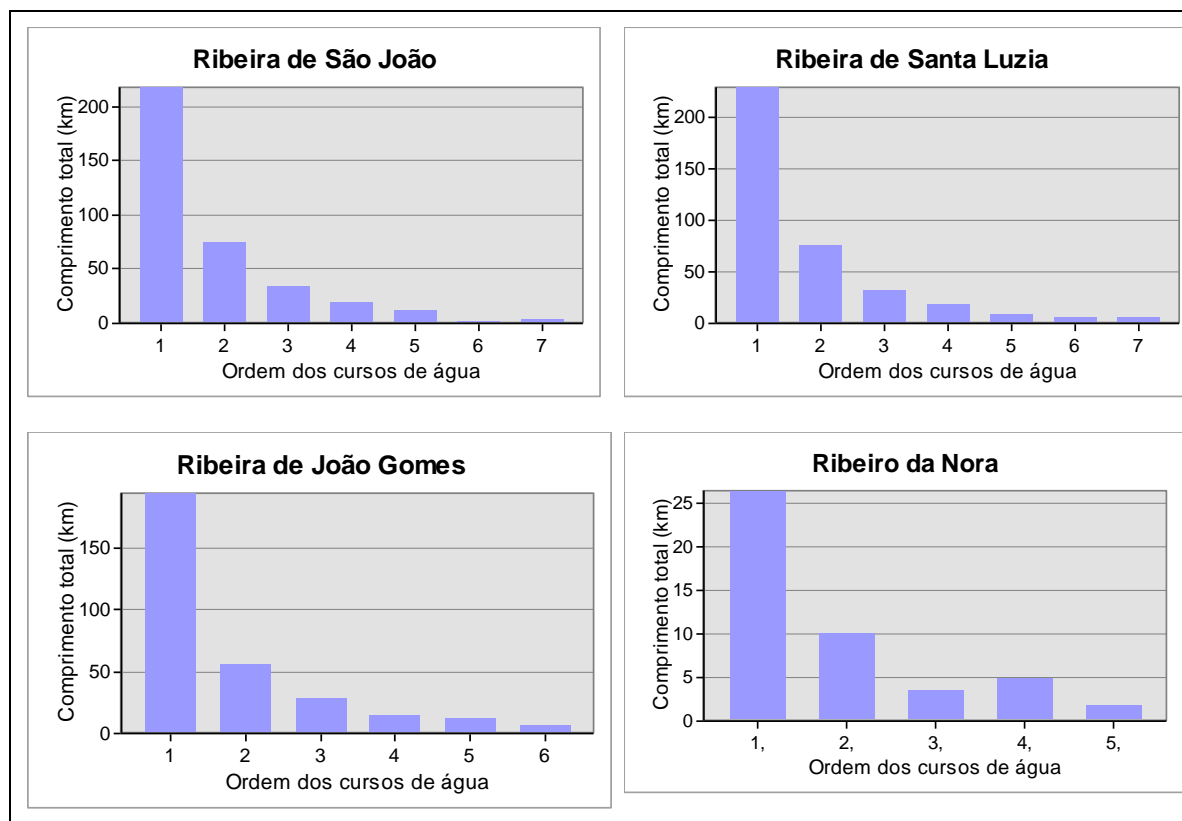


Figura 28– Comprimento total dos cursos de água, por ordem de hierarquia (método de Strahler) na rede de drenagem.

A bacia da ribeira de Santa Luzia atinge as ordens 6 e 7 um pouco mais para montante que a de São João, mostrando uma ramificação maior dos cursos de água para *este*. A bacia da ribeira de João Gomes apresenta, igualmente, uma maior ramificação para *este* contudo é, no conjunto, menos ramificada.

A totalidade do comprimento dos cursos de água, por ordem da hierarquia na rede (Figura 28), mostra que em todas existe, naturalmente, uma predominância dos cursos de água de ordem 1, decrescendo significativamente o total à medida que a ordem aumenta. É a ribeira de Santa Luzia a que apresenta maior valor, nos cursos de água de ordem superior (6 e 7).

Quanto à eficiência da drenagem destas bacias, expressa pela densidade de drenagem³⁸ (Tabela 3) todas elas se revelam bacias excepcionalmente bem drenadas.

Tabela 3 – Sistema de drenagem

| Dados obtidos | Bacias hidrográficas | | | |
|---|----------------------|-----------|----------|------|
| | S. João | St. Luzia | J. Gomes | Nora |
| Densidade de drenagem (km/km ²) | 24,7 | 26,23 | 24,1 | 27,6 |

A geometria destas bacias hidrográficas revela que, no geral, uma fraca tendência a cheias.

Características morfológicas

As três ribeiras apresentam altitude máxima e localização das cabeceiras muito próximas assim como o comprimento do curso de água principal. Revelam uma exposição aos ventos marítimos em toda a sua extensão e só a poucos metros da foz, em plena área urbana, é que a sua altitude média é inferior aos 200m.

Numa análise aos perfis longitudinais (Figura 29) dos cursos principais das quatro redes hidrográficas podemos verificar que:

³⁸ - Densidade de Drenagem exprime a relação entre o comprimento total dos cursos de água de uma bacia hidrográfica e a sua área total (Lencastre e Franco, 2010:23).

- três dos cursos (ribeiras de São João e Santa Luzia e ribeiro da Nora) apresentam um perfil longitudinal típico com a sua forma ligeiramente côncava e declives gradualmente maiores em direção à nascente e menores em direção à foz. São perfis que denotam um certo equilíbrio, apesar de estarem longe de atingir a concavidade de perfis de rios maduros. Sendo assim ainda existe propensão à resistência do leito ao escoamento, isto é, ainda existirá entalhe do talvegue;

- a ribeira de João Gomes apresenta se ligeiramente convexa, dos 2km da foz até à respetiva nascente. Esta forma, diferente das ribeiras anteriores, mostra uma maior propensão a um entalhe vigoroso do curso de água;

- a ribeira de Santa Luzia tem uma certa irregularidade do curso principal com um desnível de cerca de 200 metros, de forte declive, por volta de 8 km da nascente

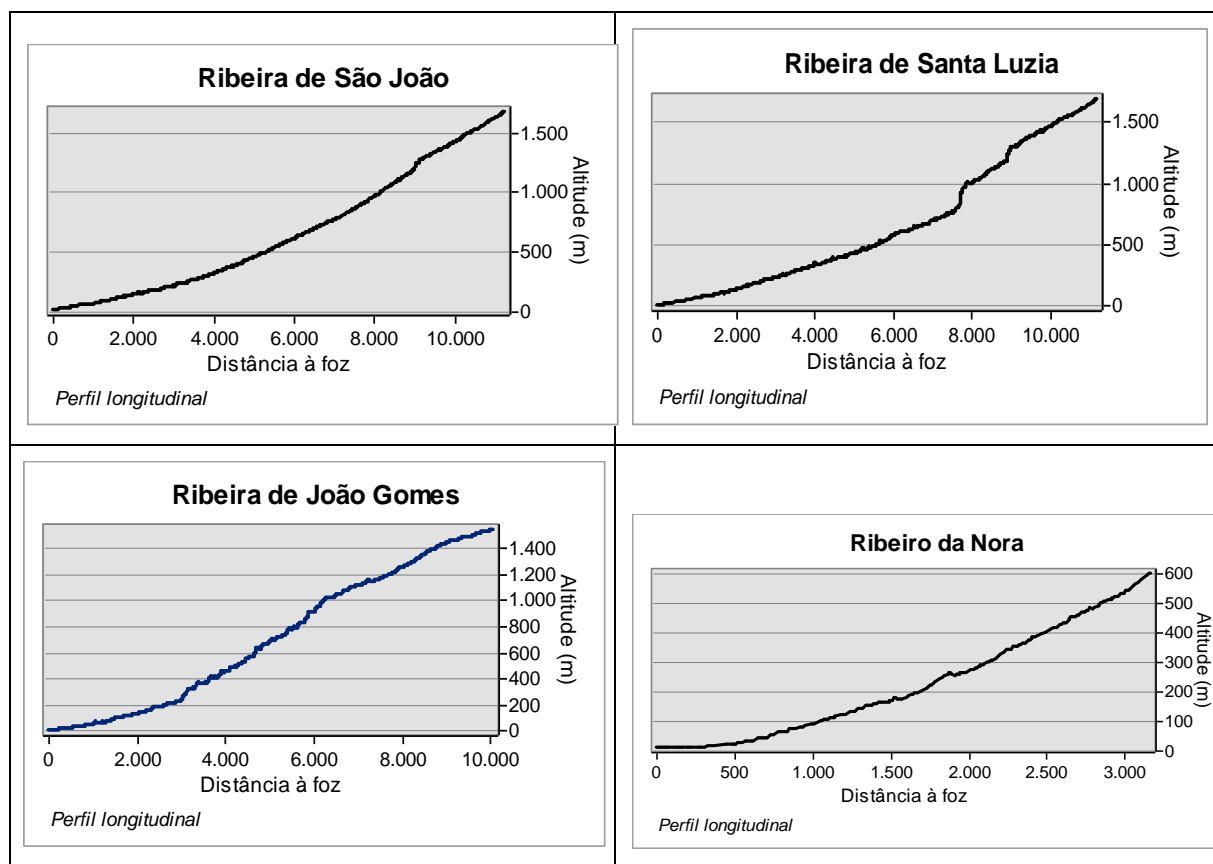


Figura 29– Perfis longitudinais das ribeiras de São João, Santa Luzia e João Gomes e ribeiro da Nora.

Os maiores declives (superiores a 30^o) encontram-se nas bacias hidrográficas das ribeiras de São João e Sta. Luzia e estão localizados, essencialmente, na área central das mesmas, ladeando os canais principais dos cursos de água. Pelo contrário na bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes são registados para jusante, a curta distância da foz (Figura 30).

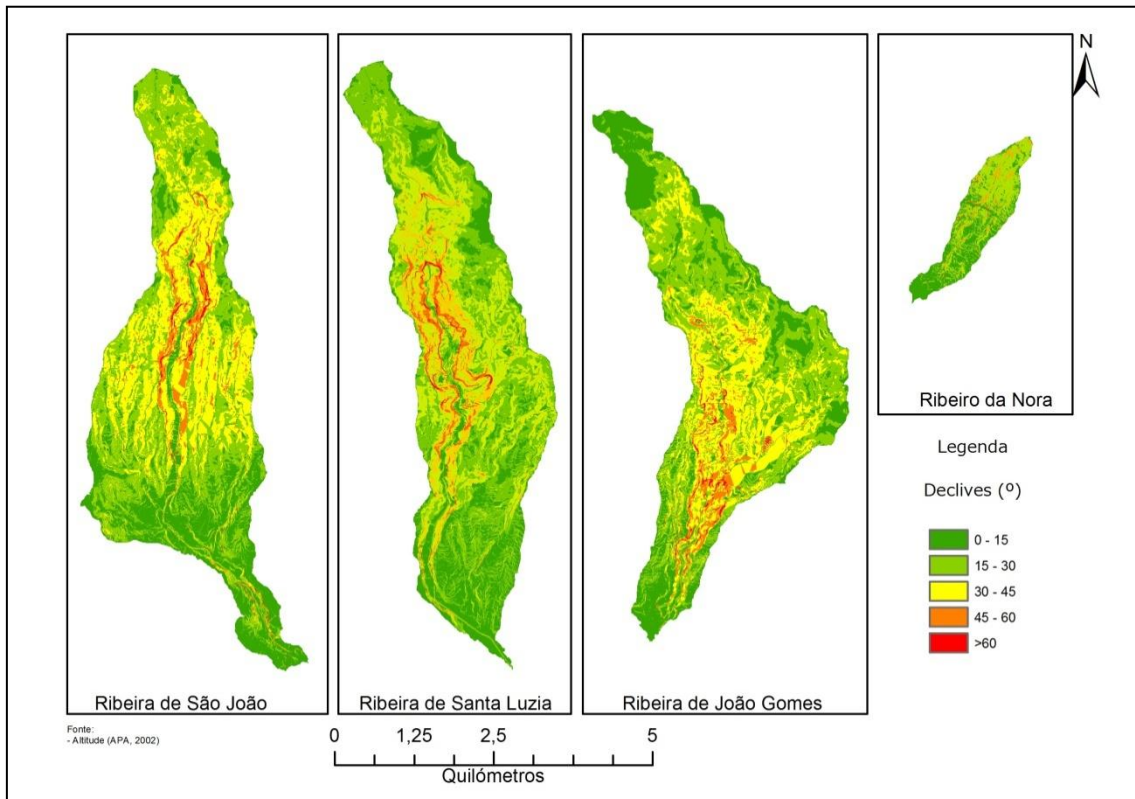


Figura 30 – Declive das bacias hidrográficas.

Contudo, em todas as bacias os declives superiores a 30^o ocupam uma área vasta o que implica uma velocidade do escoamento relativamente elevada.

Conjugando estes dados com o perfil longitudinal concluímos que é a ribeira de João Gomes aquela que apresenta em maior propensão para um escoamento de maior velocidade a jusante, isto é já em plena área urbana.

O conjunto das quatro bacias hidrográficas

As quatro bacias hidrográficas consideradas estão implantadas numa área morfológicamente semelhante, ocupando a parte côncava da vertente (Figura 31). Apesar de separadas por interflúvios relativamente elevados e escarpados, apresentam características geométricas muito semelhantes e, com a sua foz relativamente próxima, parecem fazer parte do mesmo conjunto

Por este motivo justifica-se repetir os cálculos anteriores para o conjunto destas quatro bacias hidrográficas como se de uma única bacia se tratasse (Tabela 4).

Tabela 4 – Características geométricas do conjunto das bacias hidrográficas.

| Dados obtidos | Conjunto das quatro bacias hidrográficas |
|---|--|
| Perímetro (km) | 31,8 |
| Área (km ²) | 44,3 |
| Comprimento do canal principal (km) | 11,4 |
| Largura máxima (km) | 7,3 |
| Coefficiente de compacidade | 1,3 |
| Fator de forma | 3,8 |
| Densidade de drenagem (km/km ²) | 24,5 |

Em conjunto a “bacia hidrográfica” apresenta-se mais ampla. Mantém o comprimento e a forma torna-se menos alongada, pelo que os indicadores de forma mostram uma bacia com uma grande propensão para cheias.

Se considerarmos os dados do declive em todo o conjunto (Figura 32) observamos que a “bacia” é sem dúvida muito declivosa, com troços dos vales dos cursos de água que entalham a encosta, cujas vertentes ultrapassam os 45%.

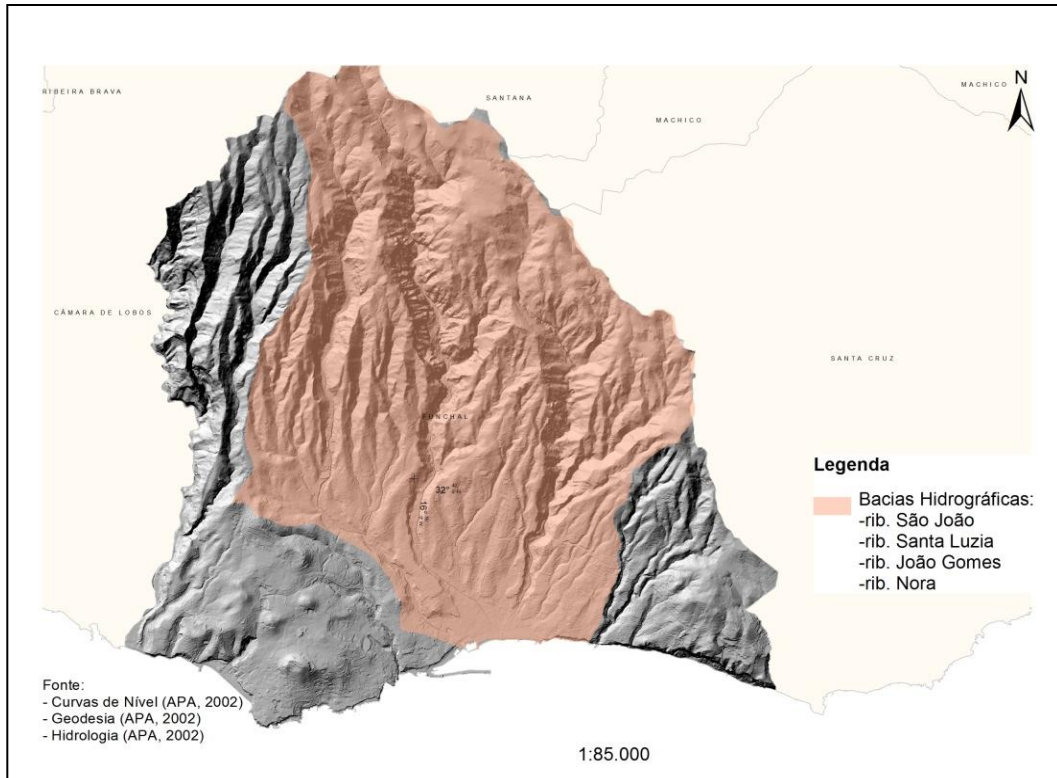


Figura 31 – Aspeto da morfologia da área de implantação das bacias hidrográficas.

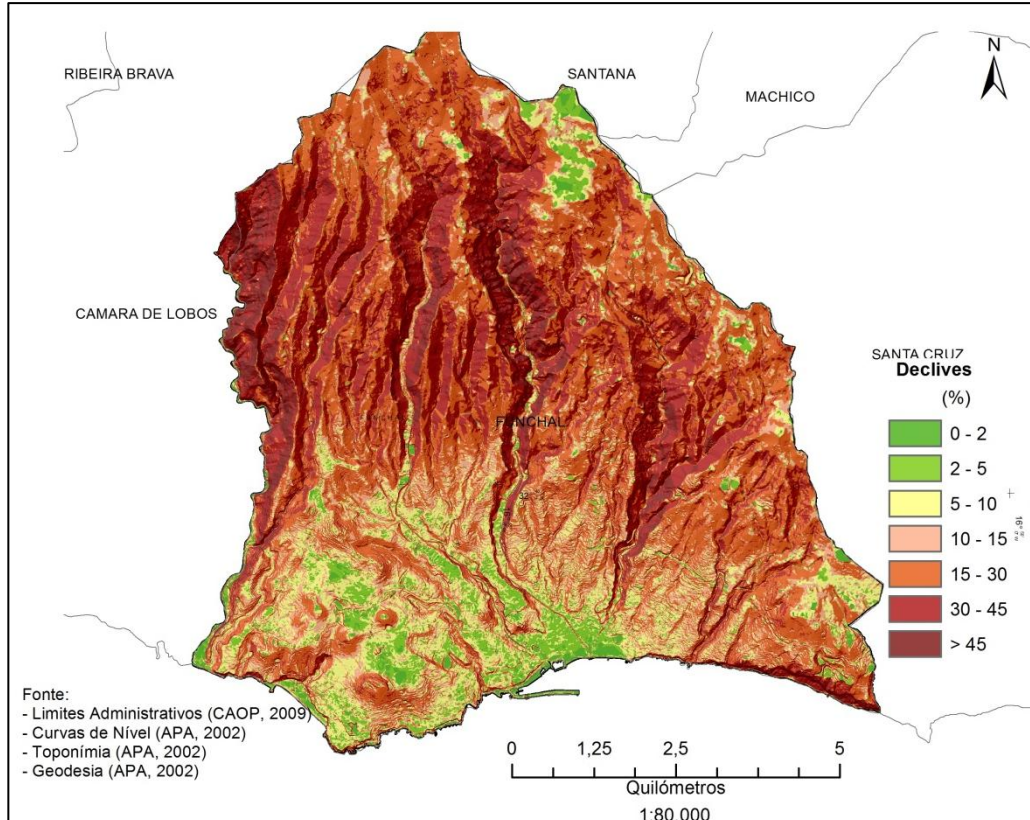


Figura 32 – Declives no concelho do Funchal.

Conseguimos definir, quanto ao declive, três zonas: o centro da cidade com declives, em geral inferiores a 5%; uma coroa à volta deste núcleo até, sensivelmente, o limite urbano com cerca de 25% de declive e o sector montante, com declives superiores a 25% e que ocupa quase metade da área do concelho.

O cenário de propensão a cheias torna-se, então, mais provável, quando analisada o conjunto da área drenada pelas bacias que desaguam no litoral da cidade.

2.3. Movimentos de vertente

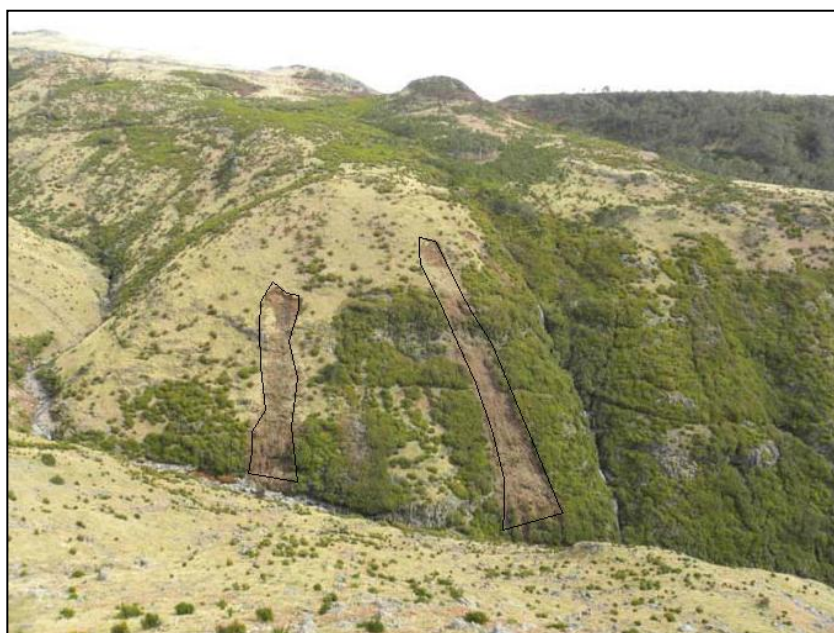
Segundo (Fragoso, *et al.* 2012.), todo o evento aqui analisado resulta não só da precipitação excecional ocorrida nesse dia mas, também, da precipitação acumulada: a saturação do solo desencadeia deslizamentos, cujo material vem alimentar o caudal com uma quantidade crescente de detritos e materiais sólidos que são arrastados até ao vale, transformando um usual caudal líquido num *debris flow*³⁹ ou aluvião.

Aluviões, termo já aqui utilizado, são entendidos como escoamentos mistos, onde a água transporta uma matriz de sedimentos muito importante quer em quantidade quer em capacidade destruidora. São originados por deslizamentos de terra ou erosão de uma linha de água, de declive acentuado e, em geral, são identificados por cicatrizes que persistem nas vertentes. Neste evento foram calculados cerca de 360 907m² de área total de cicatrizes de deslizamento (Pereira, M.J., 2011), estando a maioria localizados em áreas de vertente com inclinações entre 30° e 45° (IST;UMa;LREC, 2010).

Estes movimentos de vertente mobilizaram um total de 145 000m³ de materiais que simultaneamente colocaram em perigo as construções locais como, também, ao serem transportados pelas três ribeiras confluíram à baixa do Funchal.

³⁹ *Debris Flow* - Fluxo de detritos (ou aluviões), onde a maioria dos materiais são de granulação grossa e não coesiva. São frequentemente desencadeados por chuvas intensas após um período de chuva mais fraca. A pressão exercida pela água no solo provoca uma desagregação rápida que, associada a vertentes fortemente inclinadas, podem imprimir grande velocidade ao fluxo. Começam como um deslizamento de uma massa superficial de solo e rocha alterada. É deixada uma marca na vertente onde começou o deslizamento, é a cicatriz, e o caminho do fluxo pode ser marcado por sulcos despojados de vegetação. Podem também formar-se por rotura de cunhas de terreno ou colapso das margens num curso de água. Por *Sheet-Flows* entende-se o escoamento laminar, estratificado.

De entre as cicatrizes de deslizamento identificadas no Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões, para a Ilha da Madeira, o maior número localizou-se na bacia hidrográfica da ribeira de São João (1544), seguido de Santa Luzia (1039), (Figura 33), e 708 na João Gomes (708). De salientar que o rácio elevado (considerando unicamente as cicatrizes que ocupam mais de 80 m²), localiza-se em classes de ocupação do solo referidas como “Floresta aberta de outras resinosas”.



Fonte: CMF (2010:10)

Figura 33 – Cicatrizes de deslizamentos na margem esquerda da ribeira de Santa Luzia

Os deslizamentos verificam-se, sobretudo, nas camadas superficiais onde os solos, em geral, são pouco espessos e/ou camadas permeáveis (em geral depósitos de vertente⁴⁰ ou rocha alterada) e que assentam num substrato rochoso, impermeável, que serve de superfície de escorregamento. Os solos mais permeáveis são aqueles que produzem deslizamentos mais profundos, logo, movimentam maior quantidade de materiais. O estudo conclui que no Pico do Areeiro, dadas as condições de clima e solos, estão favorecidas as circunstâncias para ocorrer maior instabilidade dos taludes. É onde se localizam as cabeceiras das ribeiras aqui analisadas.

⁴⁰ O “Estudo de avaliação do risco de aluviões para a ilha da Madeira”, considerou que destes solos mais permeáveis (com espessuras de 4m), assentes num substrato rochoso, teriam tido um escoamento subterrâneo o que explicaria os deslizamentos profundos observados. Nos solos de menor permeabilidade, como o caudal percolado nas camadas superiores é maior que o percolado nas camadas inferiores, devido à maior dificuldade de infiltração das águas, os deslizamentos são mais superficiais.

De facto, estes materiais, envolvidos por água em quantidade variável, têm um comportamento que “pode ser descrito como análogo à do "betão húmido" (Hutchinson, 1988, citado por Nettleton, *et al*:45).

O potencial para a rotura existe em qualquer terreno inclinado, mas torna-se maior com o aumento do declive. Neste evento foram calculados cerca de 360 907m² de área total de cicatrizes de deslizamento (Pereira, M.J., 2011) estando a maioria localizados em áreas de vertente com inclinações entre 30° e 45° (IST,UMa e LREC, 2010). A pressão da água pode encorajar ativamente o movimento de deslizamento pois o solo saturado aumenta o peso da massa de deslizamento. Os materiais carregados pela água têm, pois, origem nos deslizamentos de terra, resultado de forças gravitacionais que atuam em camadas de detritos que se tornam móveis devido à mistura com água.

A rotura das vertentes está relacionada, então, com causas internas, isto é, com a redução da força de agregação dos materiais nas encostas e forças externas, as que causam nomeadamente o aumento da tensão dos materiais sobre a encosta.

Na nossa área de estudo, pensamos estarem reunidas, de um modo geral, as condições necessárias para iniciar os deslizamentos de terras: encostas íngremes que promovem a ação da gravidade; fissuras expostas nas encostas rochosas; solos pouco espessos e com rocha sobrejacente alterada; fraca cobertura vegetal expondo solos a processos de meteorização e condições climáticas extremas.

À superfície, onde as rochas estão expostas, os elementos atmosféricos podem enfraquecer significativamente a integridade da massa de rocha e fornecer superfícies de descolamento de quedas de rocha e deslizamentos. No inverno, nos picos mais altos, assiste-se a processos de clastia devido à exposição a temperaturas próximas do ponto de congelação. Por outro lado, a secura de verão provoca a dissecação do solo e da rocha. O resultado é o enfraquecimento da estrutura do solo e perda de resistência do material cujos produtos formam um manto de clastos de fraca agregação e que recobrem as rochas mais duras que proporcionam uma superfície de deslizamento potencial ao longo do qual a rutura do talude se pode propagar.

Os ortofotomapas de 2007 e 2011 (Figura 34), mostram que, para além dos deslizamentos nas vertentes, as linhas de água já formadas apresentam um maior

aprofundamento (a, b e c) após o 20 de fevereiro de 2010. Observamos igualmente que estas áreas, de maior quantidade de cicatrizes de deslizamento (Figura 35) são, também, aquelas que maiores fragilidades apresentam em termos de vegetação. Correspondem às áreas de maiores altitudes com formações herbáceas, logo seguidas das áreas ocupadas por floresta de exóticas invasoras (em especial acácias) e floresta de eucaliptos.

Por seu turno a floresta natural registou baixo número de ocorrências devido “à densidade e estrutura do enraizamento (...) Nalguns casos a presença de floresta natural funcionou como barreira, favorecendo mesmo a retenção de material sólido...” (IST;UMa;LREC, 2010, : 98).

Em alguns casos “os deslizamentos localizam-se em áreas arborizadas quando “(...) pelo facto das árvores terem sido arrancadas, produzindo arraste de terras e blocos (...) situação dependente da saturação dos solos e do enraizamento superficial das árvores, mas também da ocorrência de ventos muito fortes” (IST;UMa;LREC 2010:92), o que corresponde, a áreas de vegetação exótica.

Os materiais resultantes dos diferentes deslizamentos acumulam-se, por vezes, no leito dos cursos de água estreitando-os. Esta carga de material sólido aumenta a probabilidade de transbordo no local do depósito. Contudo, ao serem transportados para jusante, o potencial de transbordo é maior pois em geral os cursos de água no seu percurso urbano estreitam.

É em áreas de cobertura vegetal mais compacta e com uma fixação radicular mais desenvolvida, em especial nas áreas designadas por floresta natural, que as ocorrências de deslizamentos são mais fracas o que nos leva a reforçar a ideia que uma cobertura vegetal bem desenvolvida protege as vertentes, reduzindo os episódios de deslizamentos e, com eles, reduzindo a quantidade de carga sólida deslocada nos canais fluviais. Quando a cobertura vegetal é jovem ou a fixação radicular é frágil, potencia a quantidade de material deslocado ao longo da vertente até ao canal de escoamento.

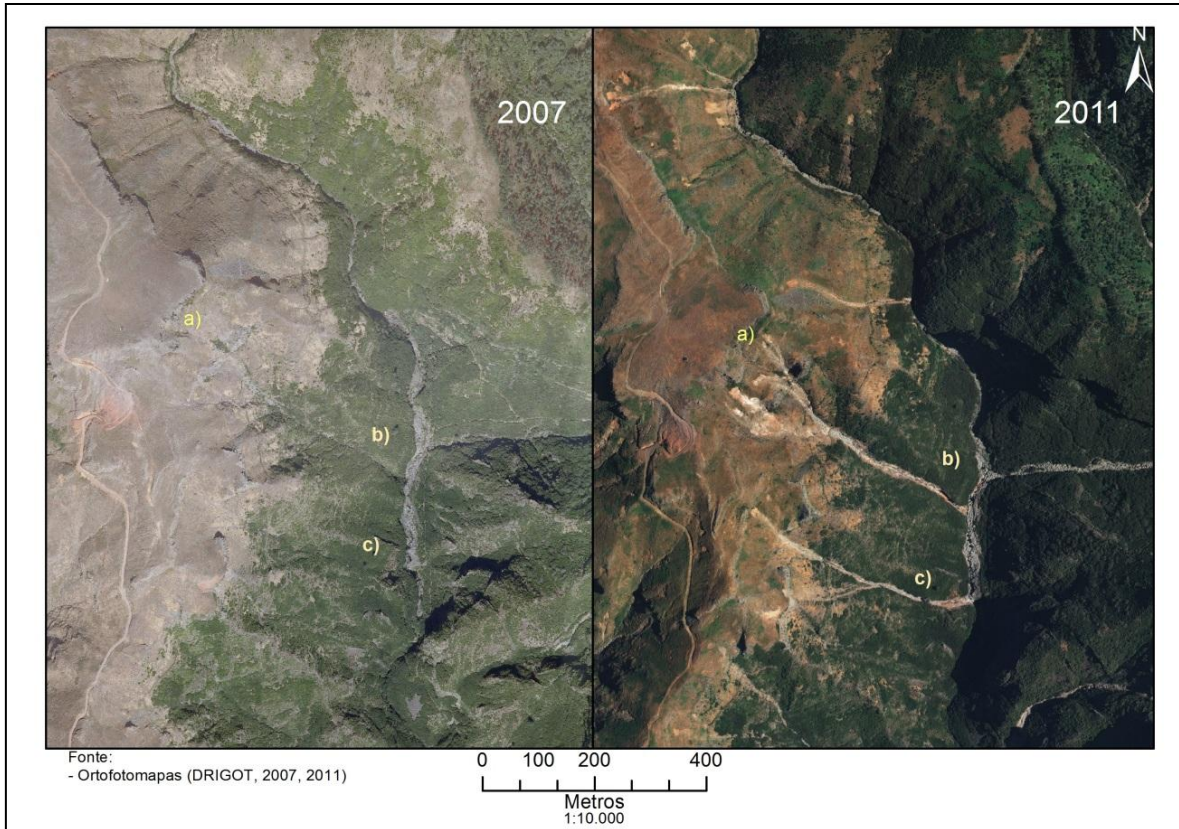


Figura 34 – Cabeceira da ribeira de Santa Luzia em 2007 e 2011

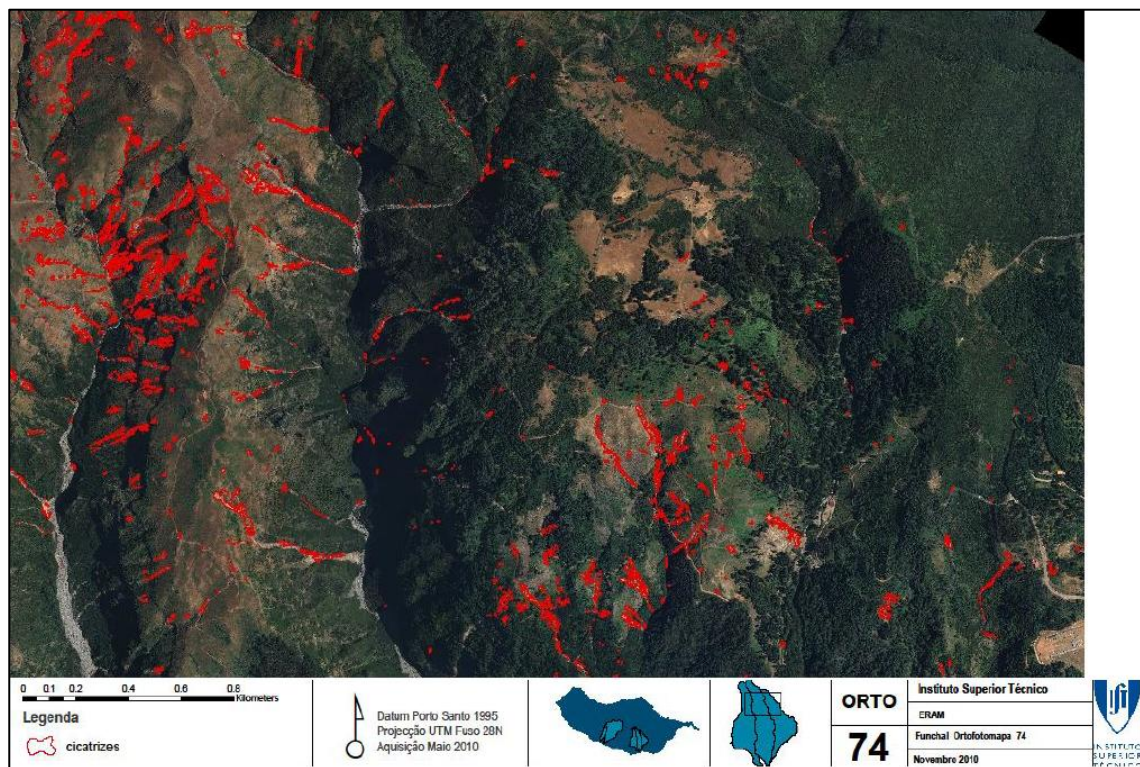


Figura 35 – Cicatriz de deslizamento nas cabeceiras das três ribeiras.

Da análise anterior podemos salientar os seguintes aspetos:

- A obstrução das ribeiras, e conseqüente galgamento das suas margens, é o resultado do seu estreitamento devido à ocorrência de construções em leito de cheia, de entulhamento do canal de escoamento com material resultante de deslizamentos e, também, da artificialização dos canais de escoamento em meio urbano, em geral subdimensionados;
- As áreas, de maiores deslizamentos são também aquelas que maiores fragilidades apresentam em termos de vegetação. Correspondem às áreas de maiores altitudes com formações herbáceas, logo seguidas das áreas ocupadas por floresta de exóticas invasoras (em especial acácias) e floresta de eucaliptos.

3 – Fatores agravantes

3.1. A topografia e a malha urbana

O núcleo mais antigo do Funchal encontra-se “em terreno baixo e plano” mas, “por falta de espaço começou a se desenvolver em altura” e, na sua maioria, as ruas “não são mais do que ladeiras íngremes (...) em declives inverosímeis” (Ribeiro, 1985). Mas são as características da malha urbana, a posição relativa dos eixos, dos nós e dos obstáculos, que facilitam, ou dificultam, o avanço das águas. Por seu turno, são os pontos de transbordo, isto é, as roturas na linha de água, que determinam as artérias invadidas pela corrente de água e acumulação de detritos.

Neste sentido, a análise à dinâmica das inundações nas ruas da cidade, na secção abrangida pelo nosso estudo, pretende, em primeiro lugar distinguir os eixos em canalizadores e recetores⁴¹. Com base na recolha efetuada⁴², elaboramos mapas da direção do escoamento na malha urbana onde podemos identificar (Figura 36) três núcleos principais na dinâmica das inundações de 20 de fevereiro: o primeiro, a *oeste*, próximo à foz da ribeira de São João, de menor extensão e perfeitamente individualizado; o segundo, na ribeira de Santa Luzia, com um escoamento predominantemente para *oeste* e por último, o mais extenso, na bacia da ribeira de João Gomes que extravasa os limites da bacia hidrográfica. Este núcleo inclui as inundações provenientes do curso de água principal e de um afluente, o Ribeirinho da Pena. Consideramos igualmente um pequeno curso de água, o ribeiro da Nora, que apesar da sua reduzida dimensão, contribuiu para estender para *este* os efeitos das inundações, em especial na denominada “Zona Velha” da cidade do Funchal.

⁴¹ “Uma via é canalizadora, quando apenas orienta o fluxo de água entre dois pontos, sendo geralmente curta e sem pontos confluentes; é recetora, quando a ela afluem outras ruas canalizadoras ou recetoras (...). As praças e largos (...) são emissores quando funcionam apenas como área de divergência de águas (...), encaminhadores quando recebem ruas canalizadoras ou recetoras e enviam águas geralmente apenas para um eixo, (...); recetores quando a elas apenas afluem ruas (...) cujos fracos declives facilitam aí uma paragem ou travagem do fluxo de água (...), (Oliveira, 2003: 95/ 96).

⁴² Os dados, para a elaboração dos mapas, foram recolhidos em diversas fontes: trabalho de campo, bibliografia, periódicos, inquéritos, fotografias e vídeos diversos que documentaram o acontecimento.

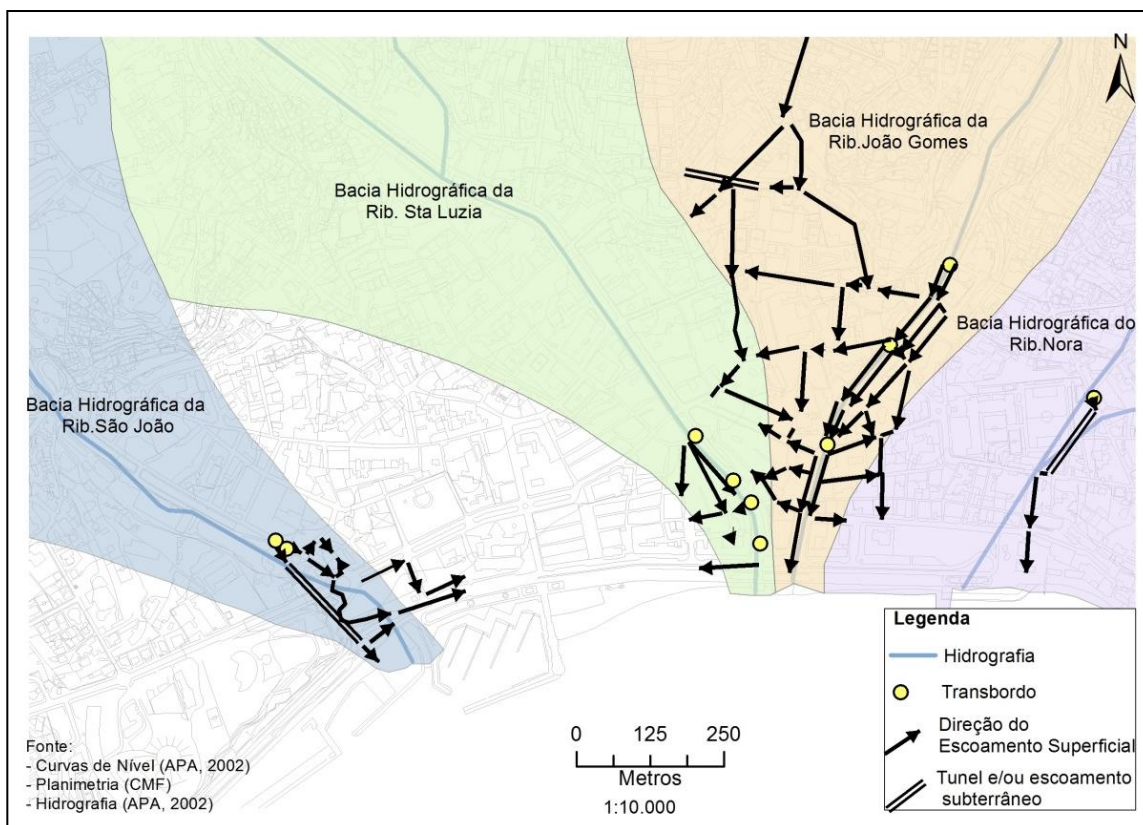


Figura 36 – Direções gerais dos fluxos da inundação de 20 de fevereiro de 2010.

Na análise que se segue pretendemos identificar as artérias, na malha urbana, que funcionaram como bloqueio, como canalizadoras e como recetoras das água escoadas. Identificaremos, igualmente, os pontos de rotura, a partir dos quais ocorreu o transbordo dos cursos de água nas três ribeiras principais.

Inundações a partir da Ribeira de São João

A secção terminal da Ribeira de São João (os últimos 300 metros para jusante) encontra-se completamente canalizada. Na altura do evento, a cerca de 330 metros da foz, esta secção estava coberta por lajes de betão armado (entre o edifício dos CTT e o Centro Comercial Dolce Vita – ver Figura 37-A) que serviam de base à circulação viária. Estas lajes foram destruídas originando o transbordo a partir do qual foi inundada toda esta área até à foz, num espaço curto mas muito fustigado.

O caudal estimado, (IST;UMa;LREC 2010) para esta secção e para este dia foi de $405\text{m}^3/\text{s}$ e, a escassos 40 metros para jusante, cai abruptamente para $1,06\text{ m}^3/\text{s}$.

Calculamos que mais de 400 m³/s de água e detritos passaram a escoar à superfície. Neste espaço de 40 metros o curso subterrâneo do canal configura uma pequena curvatura o que, em conjunto com um fluxo caudaloso de água e de material sólido deverá ter provocado a obstrução do mesmo. A acumulação para montante deverá ter exercido uma forte pressão e fricção o que fraturou e levantou a cobertura de betão da ribeira.

A partir deste ponto o fluxo, com uma velocidade de cerca de 16,74 m/s⁴³. passou a ter um percurso à superfície que tiveram as seguintes direções:

- para o Centro Comercial Dolce Vita (CCDV) inundando os 3 andares do estacionamento (Figura 37-B) assim como os 3 andares comerciais abaixo da cota da estrada. Ao contornar o CCDV seguiu pela travessa de São Lázaro, descendo a rua Serpa Pinto, onde se acumulou;



Figura 37 – Inundação na secção terminal da Ribeira de São João.

⁴³ Em : IST;UMa;LREC (2010), Anexo I, p:13.

- a avenida Calouste Gulbenkian e respetivo túnel, passou a servir de canal de escoamento, tendo ficado quase totalmente preenchido de sedimentos. Veio desembocar na rotunda Sá Carneiro (Figura 37-D) que distribuiu o fluxo pela marina onde se localiza o clube de recreação náutica e pela avenida do Mar;

- pela rua Dr. Brito Câmara, até à Rotunda do Infante, seguindo pela rua C. Jerónimo Dias Leite, tendo inundado o estacionamento subterrâneo do Centro Comercial Marina Shopping. Seguiu até à Avenida do Mar e uma sua paralela, a Rua das Fontes, que ocupa uma pequena área deprimida topograficamente. Nesta rua encontra-se o acesso ao estacionamento subterrâneo das Galerias São Lourenço.

Comparando o mapa da direção do fluxo com a altura das inundações e mapa dos materiais acumulados podemos proceder a uma classificação dos eixos abrangidos pela inundação. Assim, a avenida Calouste Gulbenkian assim como a sua paralela, rua Brito Câmara e o túnel são eixos canalizadores. Pelo facto de encaminharem o fluxo vão apresentar grandes prejuízos pois o fluxo misto (líquido e sólido) tem uma grande capacidade de fricção e destruição. Por seu turno os eixos recetores (avenidas Arriaga e do Mar e ruas Serpa Pinto e Fontes) receberam essencialmente águas lamacentas o que também provocou estragos ao inundarem os edifícios no rés-do-chão e pisos de subterrâneos/ ou de cota inferior à do eixo viário.

Enquadra-se nesta categoria a rua das Fontes que fica aprisionada numa pequena depressão limitada a norte pelos edifícios, a *sul* pela avenida do Mar (com cerca de 5,30 metros de desnível) a *este* pelo jardim do Palácio de São Lourenço e a oeste pela rua transversal (C.J.Dias Leite) com um desnível de 2,40 metros. Torna-se num eixo recetor (Figura 39 e 40).

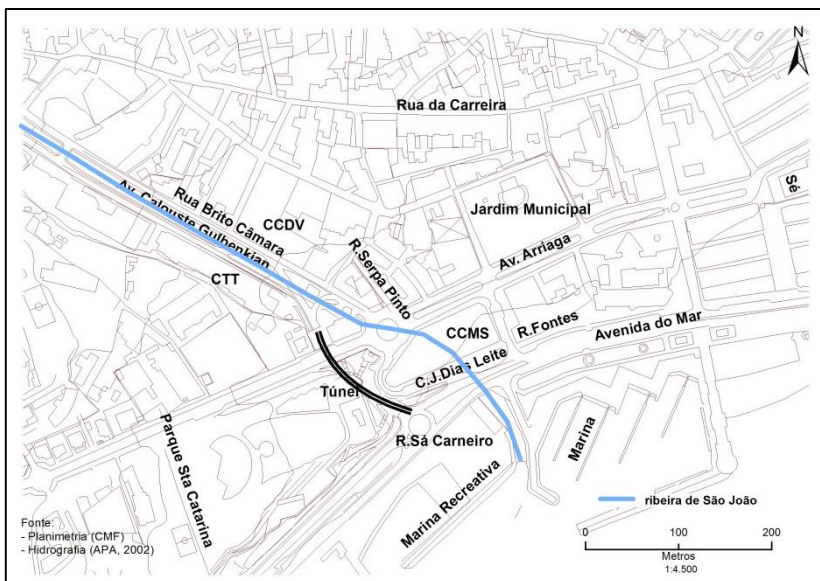


Figura 38
Identificação de alguns eixos e estruturas, área de São João.

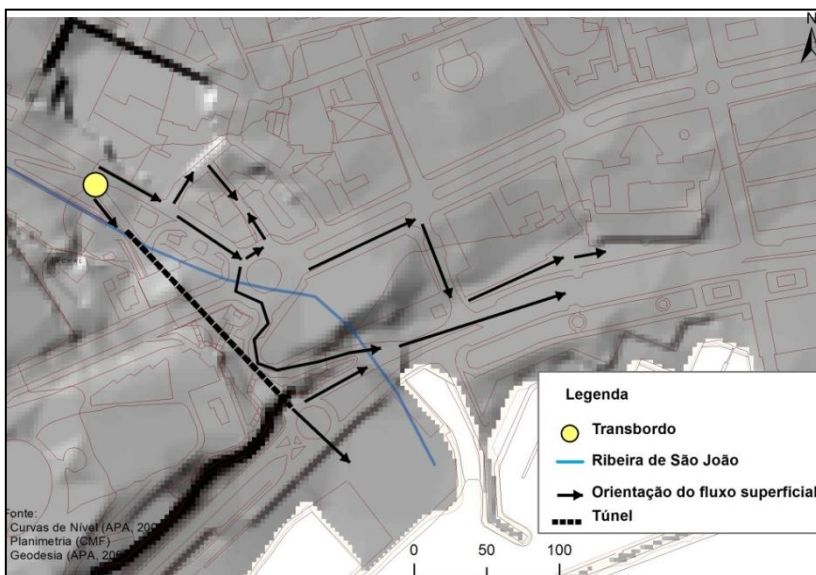


Figura 39
Direção do escoamento a partir do transbordo da ribeira de São João (frente ao CCDV).

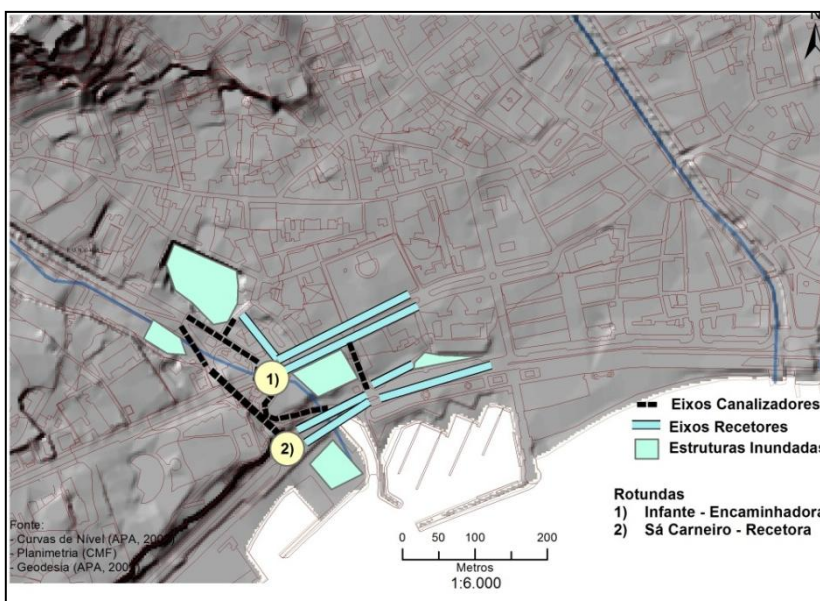


Figura 40
Classificação dos eixos, área de São João.

Uma situação semelhante ocorre na rua Serpa Pinto que apresenta uma depressão ao centro da rua, local onde a altura de inundação provocou muitos estragos nas atividades localizadas ao nível do rés do chão.

As avenidas do Mar e Arriaga foram são igualmente eixos recetores pois apesar da sua posição topográfica têm um declive muito fraco. Aqui a altura da inundação não foi elevada tendo conduzido a uma acumulação de sedimentos finos.

O maior volume do escoamento foi canalizado através do túnel de ligação, avenida Calouste Gulbenkian/rotunda Sá Carneiro, e daí para a marina recreativa e em seguida para o mar. Da rotunda Sá Carneiro a água escoou-se, também, para a avenida do Mar. Apesar da quantidade de carga sólida acumulada, em função da sua posição e platidade este rotunda é também uma área de divergência.

Apesar de pouco afetados, apontamos também os edifícios a norte da Avenida Calouste Gulbenkian, construídos nos anos 80 do séc. XX, como áreas de fragilidade, pois as suas caves partilham o muro hidráulico da ribeira de São João. Nele, as aberturas regulares, com a função de ventilação dos respetivos estacionamento, e voltadas para dentro do canal fluvial estão poucos metros do leito da ribeira (Figura 41).



Figura 41 –Aberturas para estacionamento subterrâneo na muralha hidráulica da ribeira de São João.

Aqui estão instaladas estruturas que pela função que exercem atraem uma quantidade elevada de população: Escola Profissional Atlântico, a Biblioteca Municipal

do Funchal, terminal de autocarros, um autossilo. Imediatamente a montante está localizado o o quartel dos Bombeiros Municipais do Funchal (Anexo9).

Estas atividades atraem um grande número de utentes que, deste modo, ficam demasiado expostos a eventos perigosos.

Em síntese podemos afirmar que:

- o transbordo da ribeira de São João ocorreu no início da secção da ribeira completamente coberta. De construção relativamente recente (anos 80 do século XX), as placas de betão foram levantadas pelas águas que extravasaram. Esta secção do canal, completamente artificializado, desenha uma pequena curva sob a Rotunda do Infante, seguindo subterraneamente paralelo ao estacionamento do edifício do C.C. Marina Shopping e perpendicular à avenida do Mar, antes de atingir a foz. Só esta obstrução justificaria o facto de o caudal apresentar uma diferença de mais de 400 m³/s entre esta secção e outra a 40 metros a jusante;

- os eixos recetores são aqueles que se encontram a uma cota mais baixa e que têm um fraco declive (avenidas do Mar e Arriga, de traçado recente) ou se encontram deprimidas topograficamente em relação às ruas canalizadoras (rua das Fontes). São recetores igualmente as caves dos edifícios, também eles recentes, que foram construídos em pleno leito da ribeira (centros comerciais Dolce Vita e Marina Shopping e CTT).

- a ação dos eixos encaminhadores foi minimizada pelo túnel por onde passou a escoar grande parte do fluxo.

Inundações a partir da ribeira de Santa Luzia

O transvasamento da ribeira de Santa Luzia mais afastada do centro da cidade, foi a cerca de 4 km da foz, junto à ponte, onde a ribeira ficou parcialmente obstruída por deposição de material sólido. Mas, foi sobretudo na secção terminal, completamente artificializada, onde a ribeira corre compartimentada num canal com dimensões que variam entre 4,4m e 7,2m de altura e 12,6m e 14,1m de largura, que o galgamento da ribeira provocou maiores inundações. Também aqui, foi junto às pequenas pontes, onde

o leito ficou preenchido por material sólido, que a obstrução provocou os principais transbordos (Anexo 3).

Constatámos que os transbordos ocorreram, essencialmente, nas secções onde os muros apresentam menor altura e onde o declive é menor e a perda de velocidade do caudal provocou maior deposição, como é o caso da ponte D. Manuel. (Figuras 42 e 43) A impetuosidade das águas, causada pelos maiores declives é, também, um fator importante na determinação dos pontos de transbordo do fluxo.

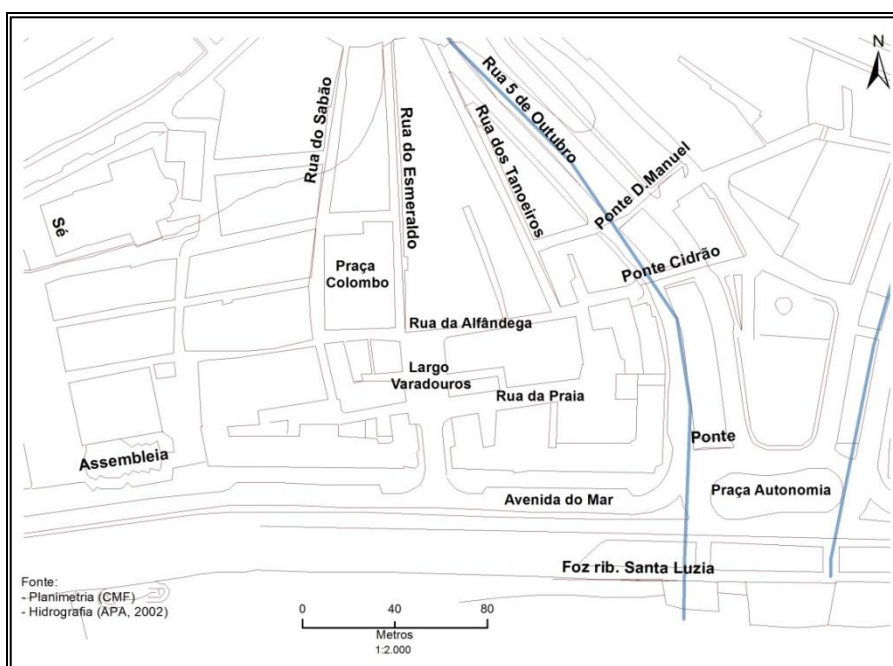


Figura 42- Identificação de alguns eixos e estruturas urbanas- ribeira de Sta. Luzia.

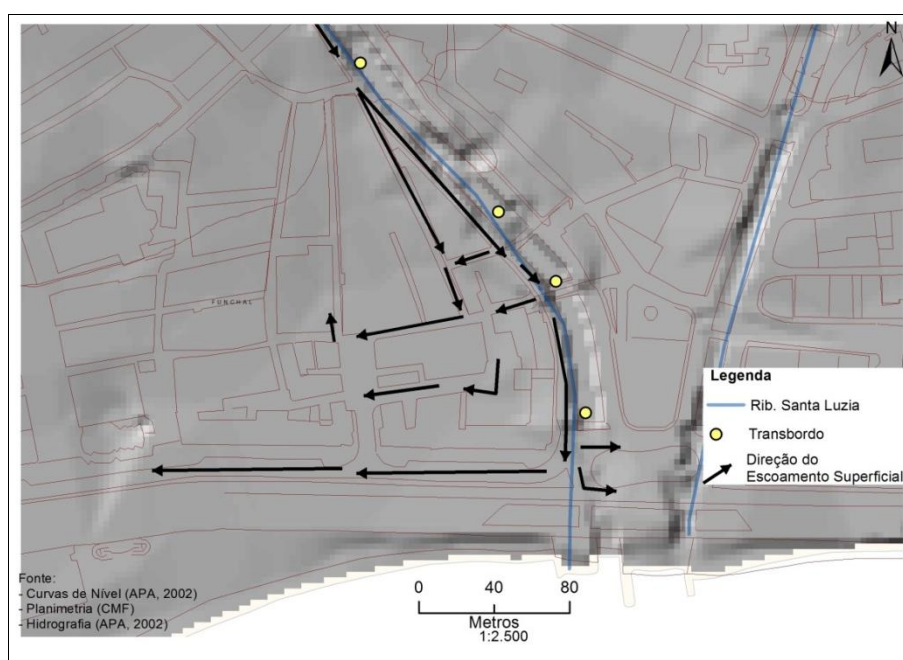


Figura 43– Direção do escoamento, a partir da ribeira de Sta.Luzia.

O galgamento da ribeira teve início na ponte junto à avenida do Mar/ praça da Autonomia, às 14:23h, a poucos metros da foz, assim como junto à ponte do Cidrão (Figuras 43 e 44), a 128 metros da foz. Novo transbordo veio a ocorrer nestes dois locais, uma hora depois (15:13h), assim como junto à ponte, imediatamente a montante (a 204 metros da foz). Às 16:20h, ocorreu outro transbordo, também a cerca de 247 metros da foz. Pensamos ter sido o preenchimento do leito por material sólido, primeiro junto à foz, onde o declive é menor, a causa principal desta sequência temporal. O fluxo transbordado em “ondas” sucessivas começou por percorrer a secção terminal da rua 5 de Outubro, paralela à ribeira, infletindo parte da água pelas rampas e ruas transversais, junto às respetivas pontes, até à rua dos Tanoeiros.

Nesta artéria, o desnível de cerca de 5 metros entre o início da rua, junto ao ponto de transbordo, e o final da mesma, na confluência com a rua da Alfândega, fez com que as águas continuassem o seu percurso a uma velocidade considerável (Figuras 44A e 44B). Deste modo, apesar do fraco declive da rua da Alfândega, a água continuou a avançar até encontrar o largo dos Varadouros

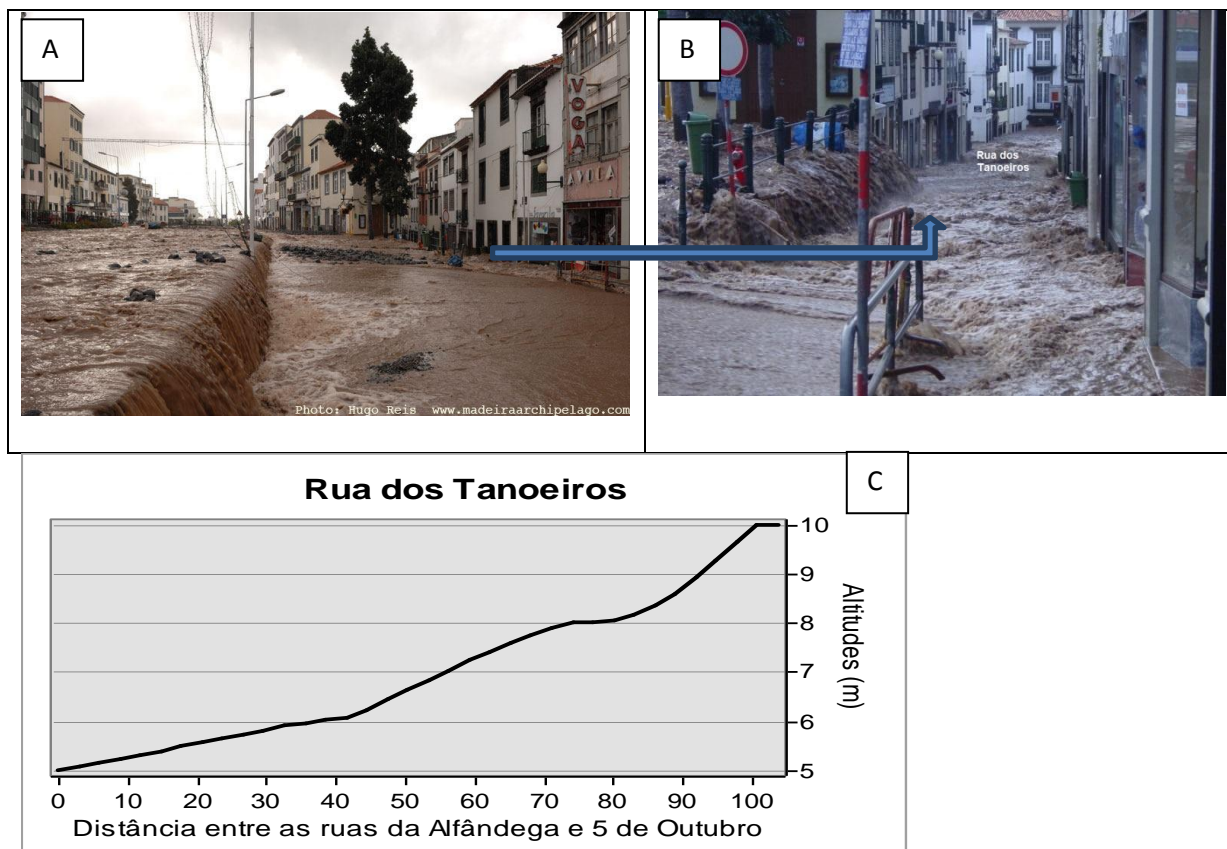


Figura 44 – Inundação e perfil de altitudes da rua dos Tanoeiros.

Neste percurso, apesar de a água ter sido parcialmente absorvido pelas caves existentes em alguns edifícios e/ou parques de estacionamento (Figura 45B) as inundações foram consideráveis, assim como a quantidade e variedade de material depositado. A rampa do Cidrão (junto à ponte com o mesmo nome), com um desnível de cerca de 3,5 metros entre a rua 5 de Outubro e o final e a rua dos Tanoeiros é, também, um eixo importante: canalizou o fluxo até à rua dos Tanoeiros e rua da Alfândega, indo acumular na rua da Praia e no largo que a encabeça. Estes, ocupam uma pequena depressão ladeada pelos edifícios da rua 5 de Outubro e a avenida do Mar. Aqui, a inundaçã, apesar de ter sido parcialmente absorvida pelas caves dos edifícios da avenida do Mar, atingiu alturas consideráveis.

Assim, formou-se uma área inundada contínua desde a rua da Praia, passando pelo largo dos Varadouros até à praça Colombo, onde o fluxo estagnou (Figura 46). Os eixos acumuladores encontram-se a cotas inferiores às avenidas 5 de Outubro e do Mar.

A praça da Autonomia parece ter tido aqui um papel de encaminhadora, pois recebeu o fluxo, mas redistribuiu-o pela avenida do Mar que, pelo seu fraco pendor, pode ser classificada de eixo acumulador. Uma vez que a foz localiza-se a poucos metros, a maioria do fluxo que aqui chegou foi debitado no mar.

De assinalar, como resultado destas inundações e do arraste e depósito de materiais sólidos, a ocorrência de muitos danos nos pavimentos, nas lojas comerciais e nos veículos estacionados.

Esta análise sugere-nos que, nas obras de artificialização dos canais de escoamento das ribeiras, não foi considerado um dimensionamento capaz de comportar um nível de águas correspondente aos máximos, resultantes de períodos de chuvas intensas. As pontes começaram por servir de obstáculo à passagem de material sólido (blocos, troncos de árvores, entre outros) que ao ficar preso, reforçou o efeito de barreira provocando o transbordo do fluxo.



Figura 45 – Largo dos Varadouros (A) e praça Colombo – entrada do estacionamento (B).

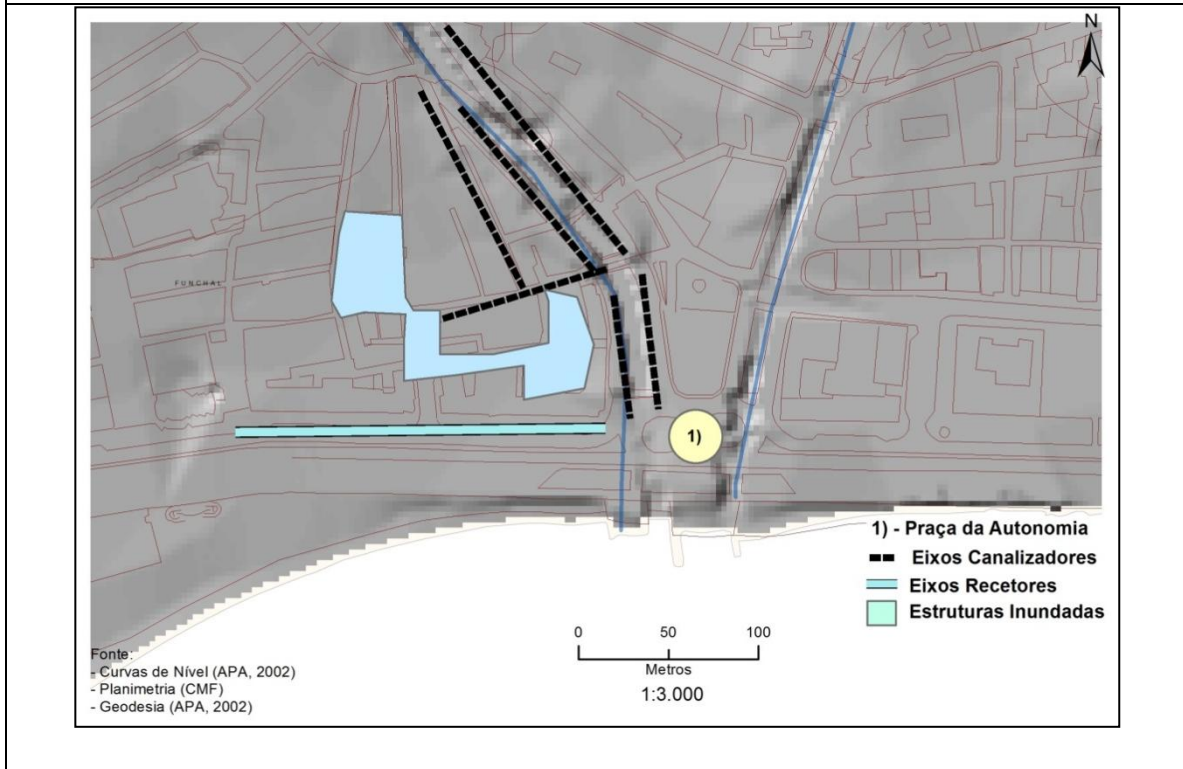


Figura 46 - Esquema do escoamento nas ruas próximas à secção jusante da ribeira de Santa Luzia

Este fluxo, com uma carga sólida considerável, uma vez em circulação na malha urbana, segue naturalmente o pendor dos eixos encaminhadores, indo acumular em áreas deprimidas topograficamente. Apesar de, parte da carga ter sido depositada junto do canal principal e parte do fluxo ter sido absorvido pelas caves de alguns edifícios e parques subterrâneos, ainda apresenta energia motriz suficiente para causar danos

Inundações a partir da Ribeira de João Gomes

As inundações na bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes foram mais complexas que as das outras ribeiras pois tiveram origem em mais do que um canal e envolveram uma maior quantidade de eixos urbanos na sua dinâmica. Deste modo iremos subdividir a nossa análise de acordo com o canal onde se observaram transbordos: canal principal da ribeira de João Gomes e ribeirão da Pena.

Canal principal da ribeira de João Gomes

Mesmo antes de entrar no núcleo central da cidade, a cerca de 1 km da foz, a ribeira apresentava já um preenchimento quase máximo da sua capacidade, no dia 20 de fevereiro. Apesar de não ter ocorrido transbordo a capacidade energética do fluxo foi tal que destruiu um dos muros de suporte do canal, construído em pedra aparelhada, antes de entrar no núcleo da cidade. O transbordo, contudo, iniciou-se um pouco mais para jusante, logo junto ao quartel dos Bombeiros Voluntários Madeirenses (BVM). Desta secção até à ponte do Campo da Barca o escoamento das águas foi feito pelas estradas paralelas à ribeira por não existirem transversais com desníveis significativos. Pensamos que o túnel (junto ao segundo ponto de transbordo) por ter desnível fraco não serviu de eixo canalizador.

São muitos os documentos que ilustram as ruas a canalizarem o fluxo a uma velocidade elevada no momento da inundação, reduzindo e/ou impedindo a possibilidade de deslocação de pessoas e/ou veículos (Figura 47). Assim consideramos que a localização do quartel dos BVM a poucos metros do canal principal é inadequada pois rapidamente os meios de socorro poderão ficar inoperacionais e os bombeiros confinados ao quartel.

Dos caudais calculados (Anexo 4), regista-se o máximo (352 m³/s) na ponte junto à Secretaria Regional do Equipamento Social (SRES). Para jusante, no descarregador, o caudal reduziu cerca de 119 m³/s, voltando a aumentar junto à ponte do Campo da Barca. A existência sob esta ponte de um depósito, de grandes dimensões, do posto de abastecimento de gasolina aí, localizado ao ocupar parte do canal de escoamento, deverá ter contribuído, pensamos, para a redução do espaço para circulação do fluxo e

consequente transbordo. A velocidade de deslocação do fluxo, até 20m/s, terá contribuído igualmente para a violência do transbordo



Figura 47- Transbordos na ribeira de João Gomes.

Até à ponte do Carmo o fluxo transbordado deslocou-se nas ruas paralelas à ribeira (rua do Anadia, rua Oudinot e rua da Infância), numa configuração geral de *norte para sul* (Figuras 48 e 49).

Descendo a rua da Infância e a rua Oudinout este fluxo reuniu-se na praça de Tenerife com aquele obtido pelo transbordo da ponte do Carmo, eixo confluyente a esta praça. Esta, como está localizada a uma cota mais baixa que a ponte do Carmo, encaminhou o fluxo através de dois eixos (continuação da rua da Infância e rua Miguel Carvalho) o que a torna igualmente numa praça emissora (Oliveira, 2003).

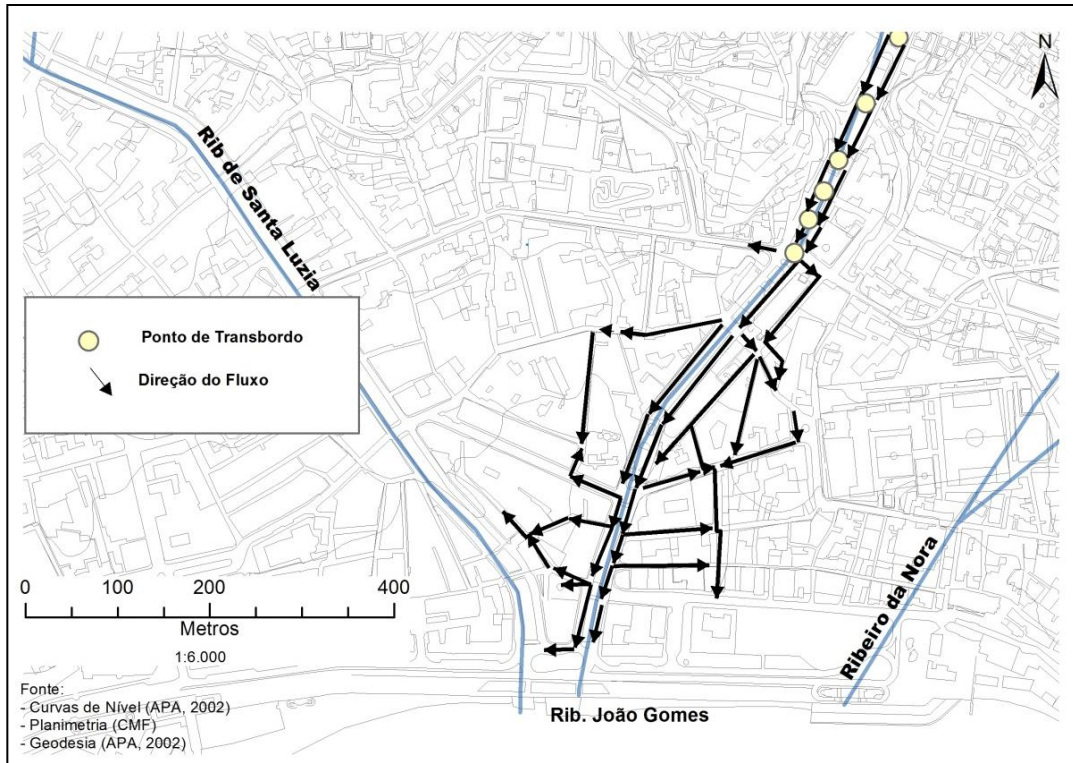


Figura 48 – Direções do fluxo na malha urbana, a partir dos transbordos na ribeira de João Gomes

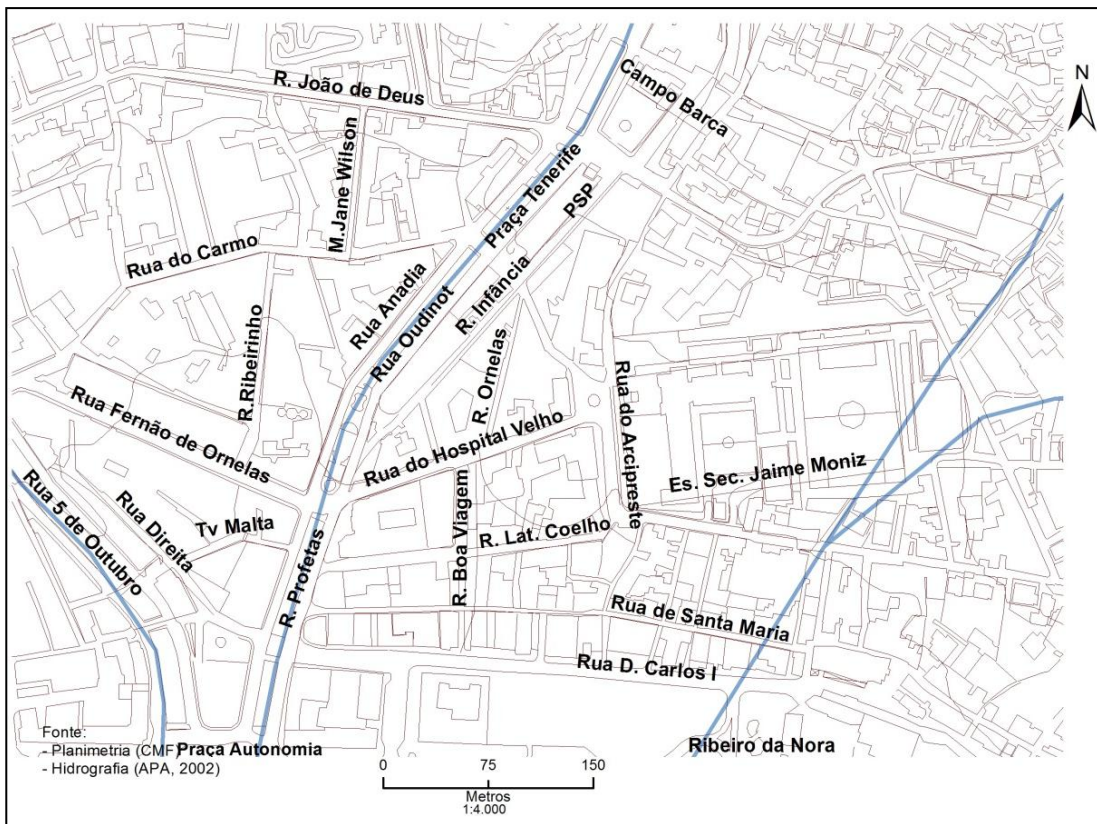


Figura 49 – Identificação de alguns eixos e estruturas.

A partir da praça de Tenerife há encaminhamento do fluxo em três direções principais, seguindo as principais ruas canalizadoras:

1) - rua da Infância, travessa da Infância, descendo pela rua da Boa Viagem e terminando na rua D. Carlos I, que inundou. A rua da Boa Viagem cruza com as ruas Latino Coelho (Figura 50C) e Santa Maria, também elas recebendo parte deste fluxo.;

- rua do Ornelas, parte da rua do Hospital Velho e descendo pela rua da Boa Viagem.

2) - o sentido *este*, seguindo pela rua Miguel Carvalho e pelo largo Jaime Moniz. Do largo Jaime Moniz é redistribuída pela rua do Arcipreste, indo desembocar igualmente na rua Latino Coelho, pela rua do Hospital Velho, seguindo pela rua da Boa Viagem que, por ter recebido fluxo de várias proveniências, teve um depósito considerável (Figura 50D).

3)- a rua Brigadeiro Oudinot, entrando pelas ruas transversais rua Latino Coelho e rua de Santa Maria, e descendo a rua dos Profetas, no seu enfiamento, e terminando na praça da Autonomia.

Junto à cobertura do Anadia o fluxo foi parcialmente absorvido pelos espaço dos estacionamentos subterrâneos dos dois centros comerciais localizados um de cada lado da rua Visconde do Anadia (C.C. Anadia a *oeste* e C.C: Oudinout, a *este*). A violência deste fluxo em movimento assim como a destruição da cobertura em betão desta secção do curso principal da ribeira.

De assinalar a localização da sede da PSP, na rua da Infância, eixo canalizar da inundação (Figura 50-B). Esta instituição, à semelhança do quartel dos BVM, está num local de grande exposição, o que em situação de emergência poderá ficar obstruída a entrada e saída de pessoas e viaturas.

A rua Latino Coelho, no seu troço mais côncavo, é cruzada pela rua da Boa Viagem (canalizadora). Este diferente comportamento dos eixos aquando da inundação traduz-se igualmente no depósito que apresentaram (Figura 50D).

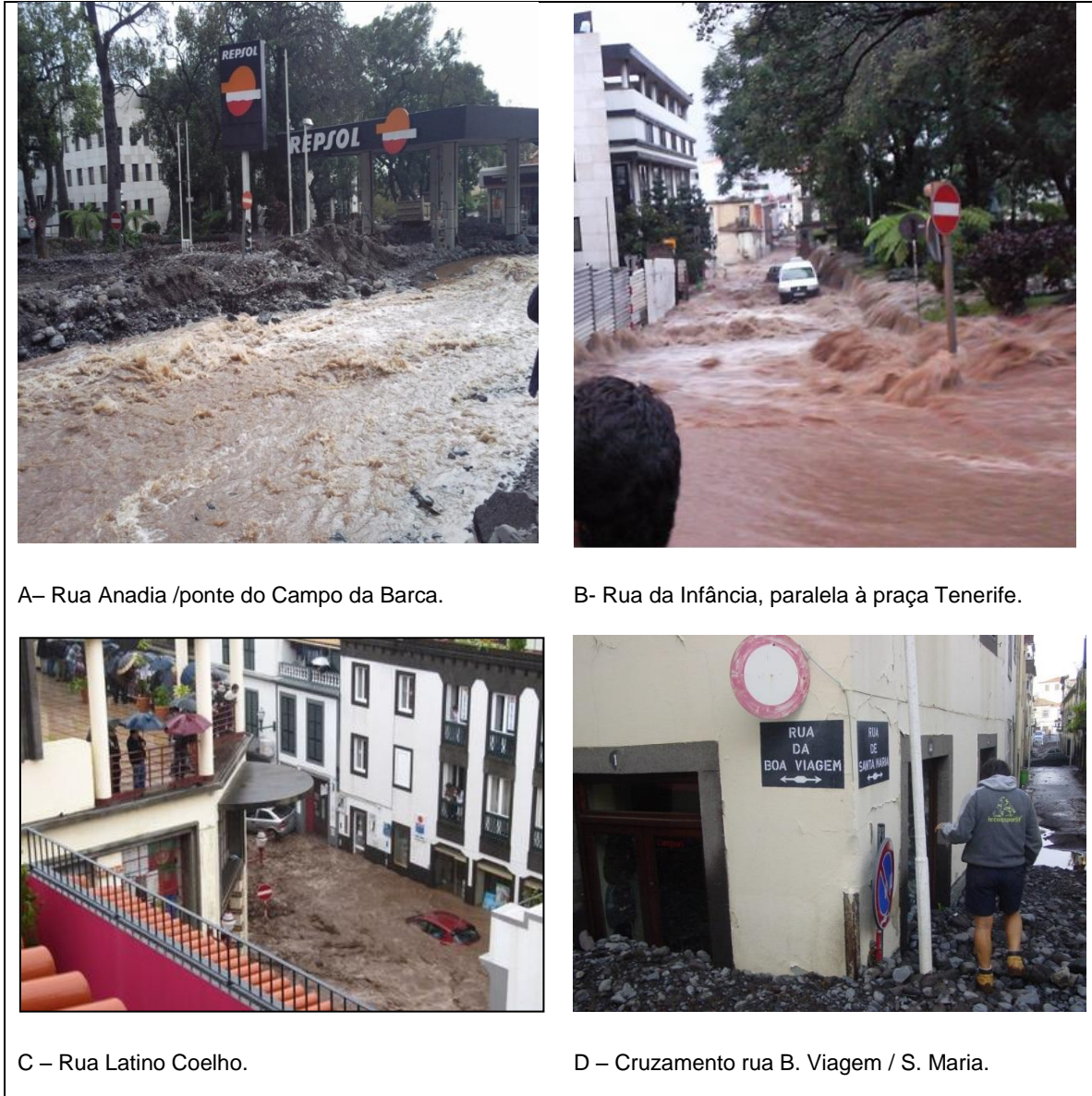


Figura 50– Imagens das inundações nesta secção da bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes

Os eixos considerados canalizadores, apresentam um perfil que as distingue dos acumuladoras (Figura 511): com uma inclinação variada as ruas canalizadoras apresentam uma redução progressiva da altitude entre a receção do fluxo e o eixo destinatário. Por seu turno, os eixos acumuladores revelam um fraco pendor (rua de Santa Maria) ou uma ligeira concavidade como a rua Latino Coelho. Nas ruas canalizadoras do fluxo, notou-se uma acumulação de materiais mais volumosos. Pensamos que foram depositados à medida que o fluxo perdia capacidade de transporte (redução do desnível e da velocidade).

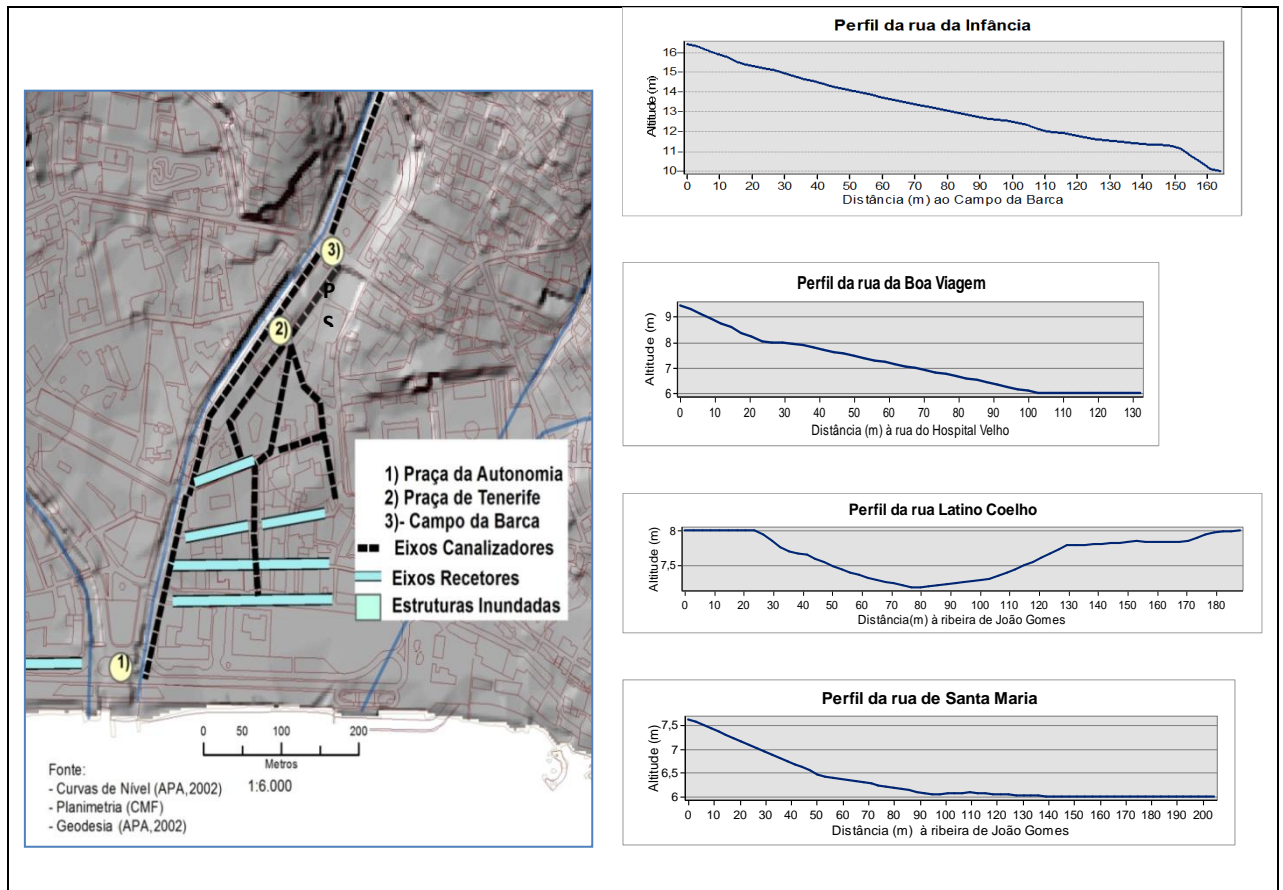


Figura 51 – Classificação e perfis dos eixos da margem direita da ribeira de João Gomes

Na sector *este* da bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes o comportamento do fluxo foi muito semelhante ao do sector *oeste*: progrediu em vagas de água, lama, seixos e blocos no sentido geral *norte/sul*, tendo divergido quando encontrou eixos transversais que o canalizaram em direção a ruas e praças acumuladoras (Figura 52).

Assim, a rua Visconde do Anadia cruza com os seguintes eixo por onde o fluxo foi sendo redirecionado:

1)- rua do Carmo onde a velocidade das águas adquiriram alguma violência, em função do desnível de cerca de 4 metros com o eixo alimentador arrastou carros e pessoas. A rua do Carmo cruza com rua do Ribeirinho de Baixo (Figura 53A) por onde o fluxo foi encaminhado até à entrada e ao parque de estacionamento do Centro Comercial Anadia. Esta rua como fica a uma cota 2 metros abaixo das duas ruas que lhe são perpendiculares, o que condefriu a este eixo um carácter acumulador. Sem poder continuar a escoar, a corrente ficou aqui interrompida acumulando água e material sólido quer nos três níveis subterrâneos do CC. Anadia quer na rua do Ribeirinho (Figura 53A) e secção inicial da rua

do Seminário. De destacar a existência da desaterro de uma obra (correspondendo a 3 andares subterrâneos) no cruzamento entre a Rua do Carmo e a Rua do Ribeirinho. Este desaterro e outras caves serviram de sumidouros importantes na diminuição do volume de água nas áreas recetoras;

2) - rua Fernão de Ornelas, mais a jusante, ao cruzar com a rua do Ribeirinho, encaminhou, também, parte do fluxo naquela direção. Depois deste cruzamento a rua Fernão de Ornelas comportou-se como eixo acumulador (Figura 53C).

3) - travessa da Malta (Figura 53D) que desemboca na Rua Direita, eixo acumulador. De notar que o perfil desta rua evidencia um desnível de 2 metros em relação ao eixo que a alimenta, rua do Anadia (Figura 52), provocando uma acumulação que continua pela rua Direita;

4) - largo do Pelourinho que também comunica com a Rua Direita. No largo do Pelourinho (Figura 53B) a pequena depressão na topografia urbana fez com que a água acumulada atingisse cerca de três metros (IST;Uma e LREC, 2010) para além de ter inundado todos os níveis subterrâneos do paraque de estacionamento lá existente.

As áreas acumuladoras, também aqui correspondem aos eixos topograficamente deprimidos, e as canalizadoras são aquelas que apresentam um declive maior. (Figura 52).

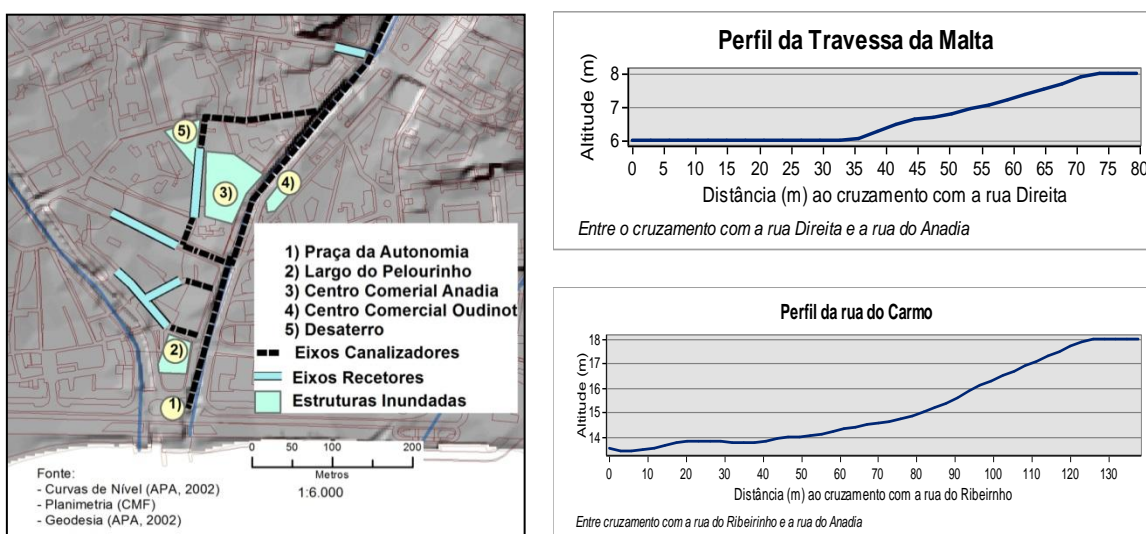


Figura 52- Classificação e perfis dos eixos inseridos na bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes

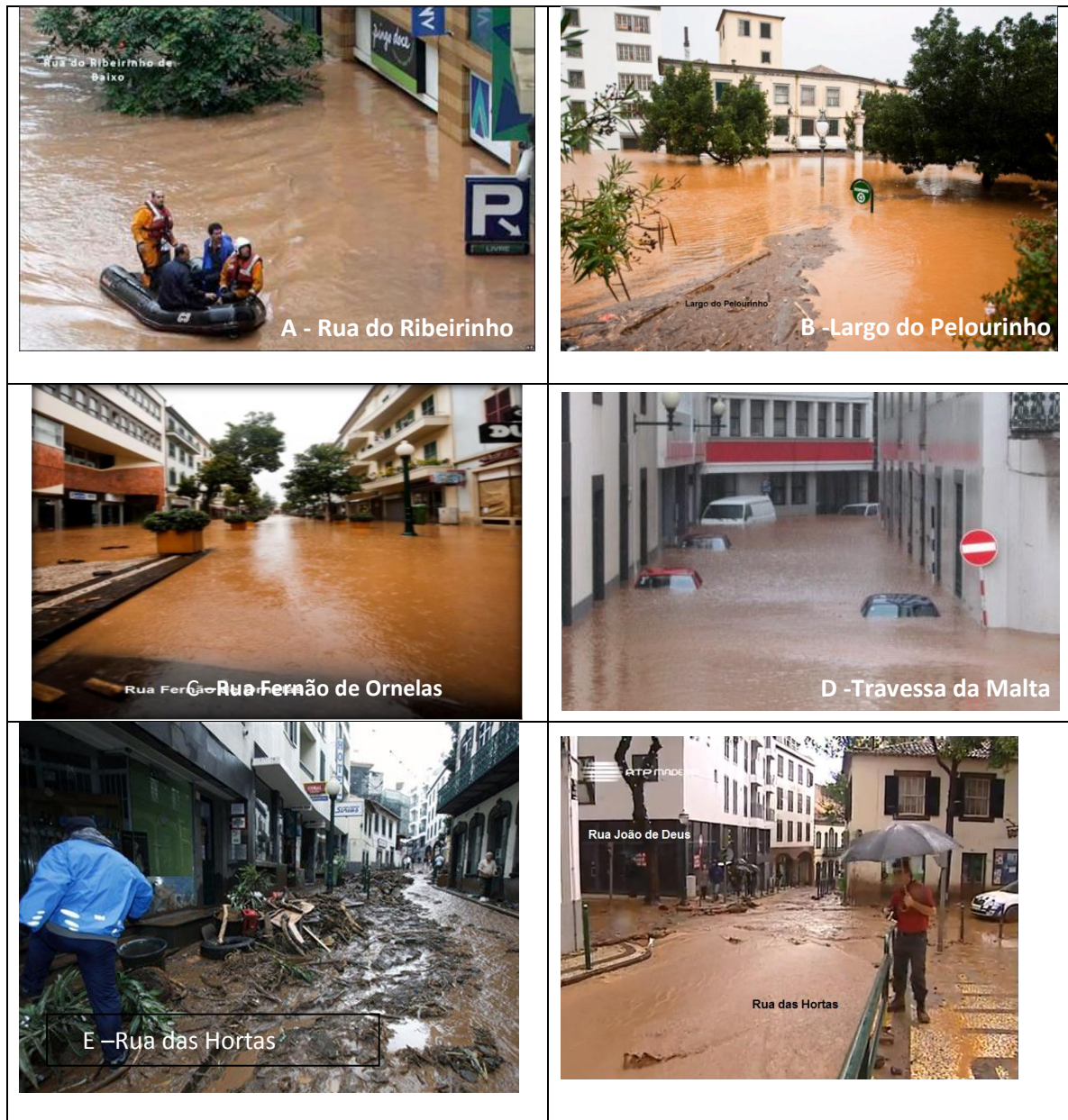


Figura 53 - Imagens das inundações na margem esquerda da ribeira de João Gomes

Ribeiro da Pena

Apesar de fazer parte da bacia hidrográfica de João Gomes, o Ribeirinho da Pena terá tido no 20 de fevereiro, pensamos, um comportamento independente. Os seus pontos de rotura localizaram-se a uma cota mais elevada, no Largo das Babosas, freguesia do Monte, e a escorrência superficial teve continuação pela estrada Luso Brasileira até à nossa área de estudo.

O transbordo deverá ter estado relacionado com o estrangulamento que este canal sofre em algumas secções do seu curso. A imagem da Figura 54A, capturada após os

incêndios do verão de 2013, mostra o estrangulamento do canal, sob a estrada do Terreiro da Luta, nitidamente subdimensionado para um caudal mais elevado. Crê-se que terá havido obstruções ao longo do canal do ribeiro da Pena, não só pelo volume do caudal líquido em 2010, mas em especial pela carga sólida transportada. Na data em que esta fotografia foi capturada existia um potencial de carga sólida desagregada (troncos de árvore e blocos de várias dimensões) nas vertentes desta bacia que, pensamos, ser superior à existente em fevereiro de 2010.

Para jusante, a bacia deste ribeiro encontra-se ocupada por diversas instalações urbanas, reduzindo a dimensão do seu leito, que se transforma num estreito canal artificializado, também ele subdimensionado como se pode observar na Figura 54-B.

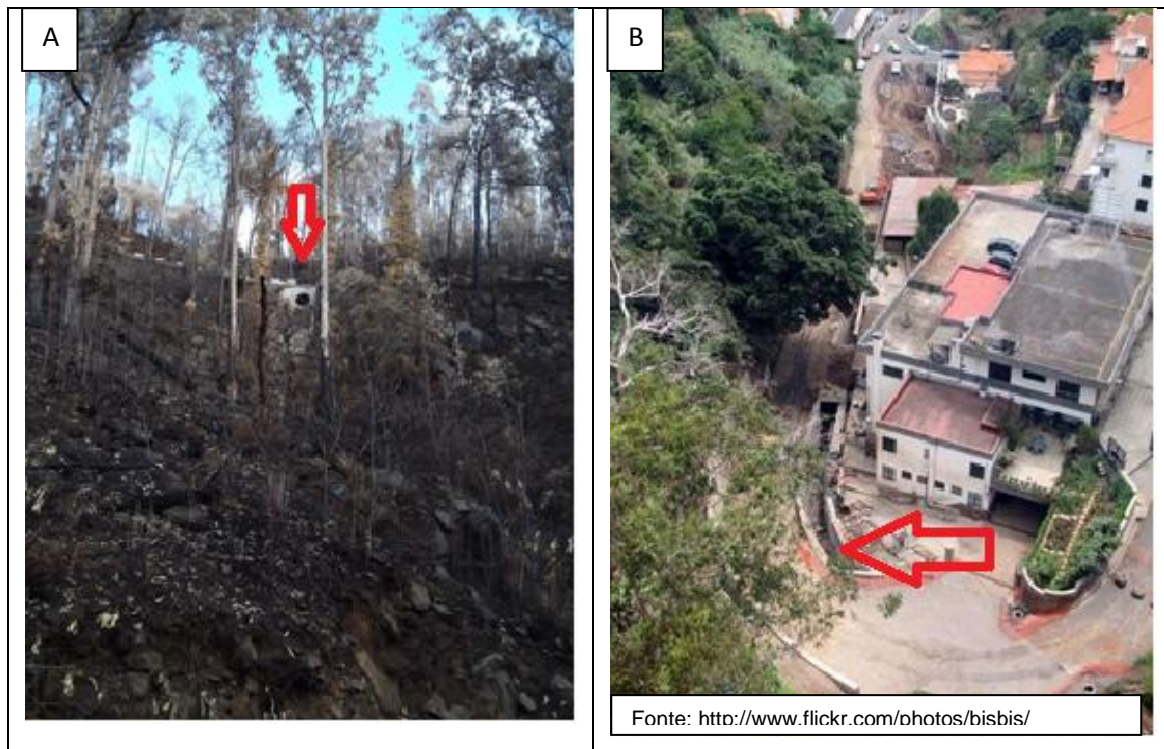


Figura 54 – Ribeirinho da Pena: estrangulamento do canal, junto à estrada do Terreiro da Luta (A) e ocupação do leito ao longo da estrada Luso-brasileira (B).

Pela estrada Luso-brasileira o fluxo deste ribeiro chegou ao topo da rua Pedro José de Ornelas onde, com enorme violência, galgou a curva final e desceu por esta rua a grande velocidade. Os desníveis de cerca de 60 metros deste rua, fez com que o fluxo continuasse a correr com grande velocidade, arrastando consigo blocos, carros e pessoas (Figura 56).

A partir da rua Pedro José de Ornelas o fluxo deriva em duas direções:

- pela rua Elias Garcia que, ao cruzar com a Rua das Hortas, conduz o escoamento até à Rua do Carmo. Daqui foi canalizado até à Rua do Seminário e, em seguida, até à Rua do Ribeirinho e caves do C.C. Anadia, onde se juntou ao fluxo vindo da rua do Anadia através da rua do Carmo (Figura 55);

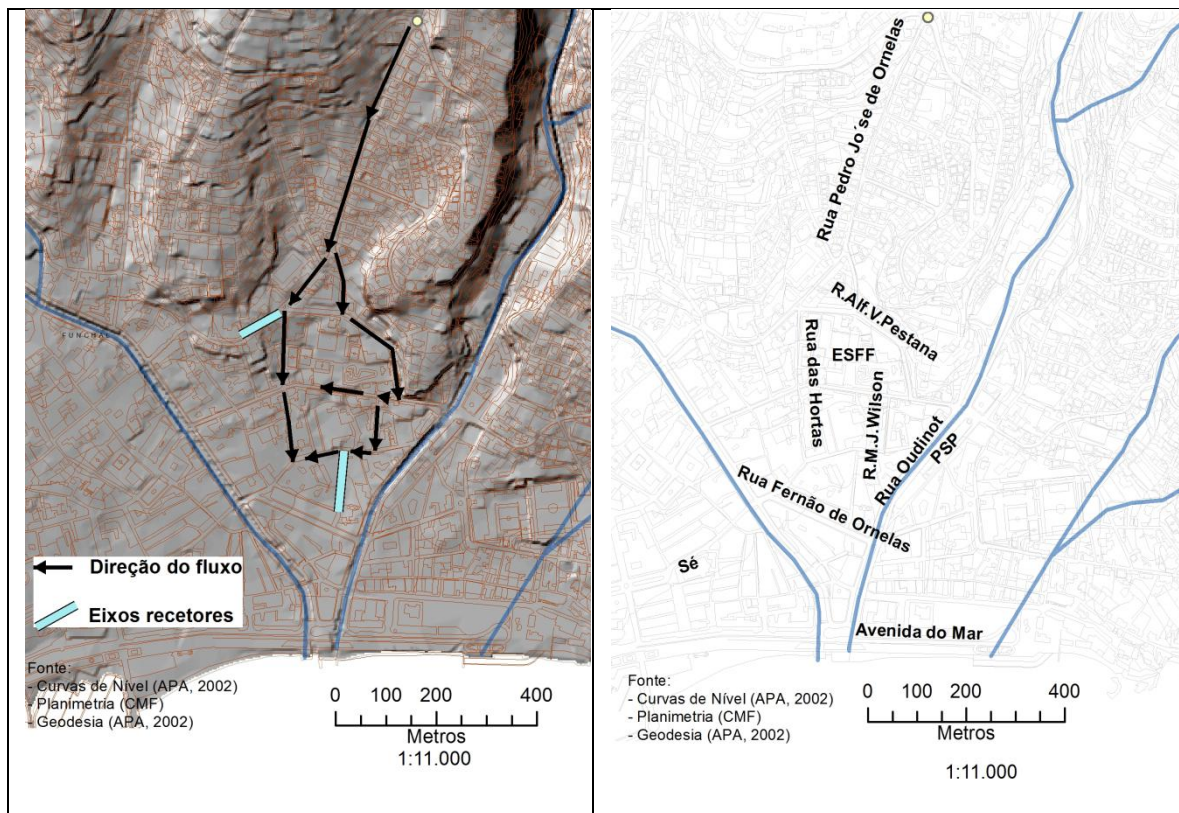


Figura 55– Direção do fluxo e identificação de alguns eixos na bacia do ribeirinho da Pena.

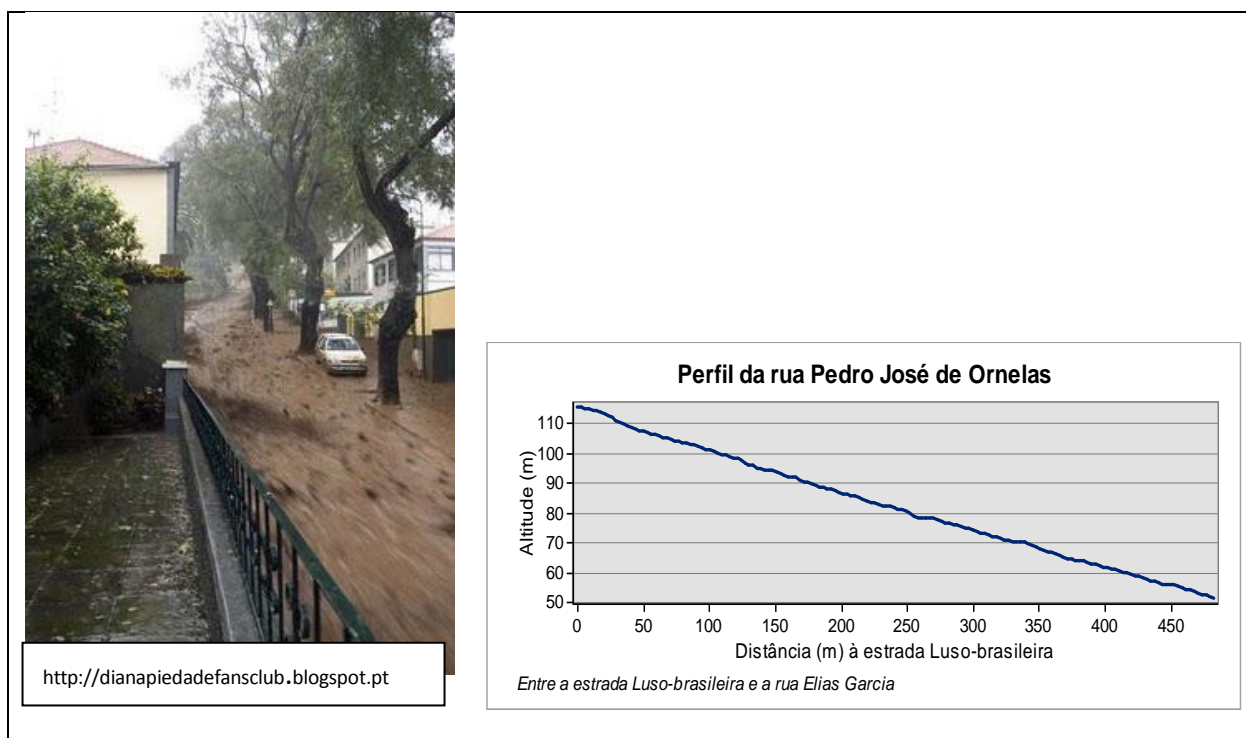


Figura 56 – Rua Pedro José de Ornelas: descida da enxurrada e perfil da rua.

- da Rua Alfereres Veiga Pestana seguiu pela Rua do João de Deus que conduziu até à Rua Mary Jane Wilson, Rua do Carmo e Rua do Ribeirinho de Baixo, inundando as caves do Centro Comercial Anadia e de outras caves da mesma rua.

Em síntese, podemos referir que algumas das ruas recetoras do Ribeirinho da Pena, (Rua do Carmo e Rua do Ribeirinho) são também recetoras dos transbordos do curso principal da Ribeira de João Gomes o que veio aumentar a quantidade de água e detritos nesta área.

Inundações a partir do ribeiro da Nora

Localizado no extremo este da área de estudo, o ribeiro da Nora é significativamente mais pequeno que os restantes aqui analisados tendo sido, contudo, responsável por parte do aporte de fluxo na parte este desta área.

A canalização deste ribeiro, desencadeou dois pontos de rotura: um quando ribeiro cruza a Rua Nova da Alegria, limite este da ESJM, e o outro sob o campo de futebol da referida escola onde confui com outra linha de água. Aquando das chuvas intensas de fevereiro de 2010, perante um canal subdimencionando o fluxo extravasou no início da canalização e passou a escoar na direção dos espaços desportivos, inundando o pavilhão e o campo de futebol. Este último campo é também inundando pelas águas que, não tendo espaço para circular subterraneamente, ascendem pelas adufas e aumentam a quantidade de água à superfície.

A impermeabilização de grande parte da sua bacia hidrográfica pela urbanização, o leito quase completamente ocupado por habitações e o seu curso reduzido a um estreito canal foram, quanto a nós, as causas principais do galgamento do seu curso (Figura 57).



Figura 57 – Canalização do Ribeira da Nora: a 200m de altitude(A) e junto à saída sul da ESJM (B) próximo da foz.

Em síntese podemos afirmar que nestas duas bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes e da Nora as situações de roturas foram, no geral, em áreas de obstrução das ribeiras e / ou estreitamento do seu leito, quer por construções quer por pontes subdimensionadas para o caudal de ponta. Estão nesta categoria todas as pontes do centro da cidade, até cerca de 750 metros a partir da foz.

Consideramos serem de grande fragilidade as localizações de alguns serviços, nomeadamente:

- os quartel dos BVM que localizado a menos de 10 metros do canal principal da ribeira de João Gomes apresenta elevada probabilidade de se tornar inoperacional em caso de inundação;

- uma estação de autocarros e um auto-silo localizados a imediatamente a jusante dos BVM;

- o quartel da PSP que, durante o evento, esteve em perigo rodeado pelas águas. Este prédio foi referenciado, como tendo sofrido danos na sua estrutura(IST;UMa;LREC, 2010).

Estes são serviços que, quer pela sua função em situações de emergência quer pela quantidade de utentes que movimentam, deveria ser reformulada a sua localização.

3. 2. Síntese de conjunto

Em conjunto as três ribeiras são responsáveis por grande parte das inundações no Funchal: ribeira de São João, apesar da violência do seu fluxo, tem uma área de influência restrita; a ribeira de Santa Luzia inundou uma área a oeste do canal principal e a ribeira de João Gomes, para além da sua bacia hidrográfica também foi responsável pela inundação da secção este da bacia hidrográfica da ribeira de Santa Luzia, junto à foz. Esta ribeira foi responsável pela maior área de inundação.

A altura da inundação foi naturalmente superior junto aos canais principais das ribeiras, em especial junto aos pontos de transbordo e junto às pontes (Figura 58). Junto aos eixos acumuladores a altura da inundação foi, também, considerável.

O depósito resultante destas inundações é variado em tipo de material, desde sedimentos, vegetação (galhos e troncos de árvores) a produtos comerciais e é variado em tamanho, desde materiais de pequena granulometria (argila) até os maiores (blocos) (Figura 59).

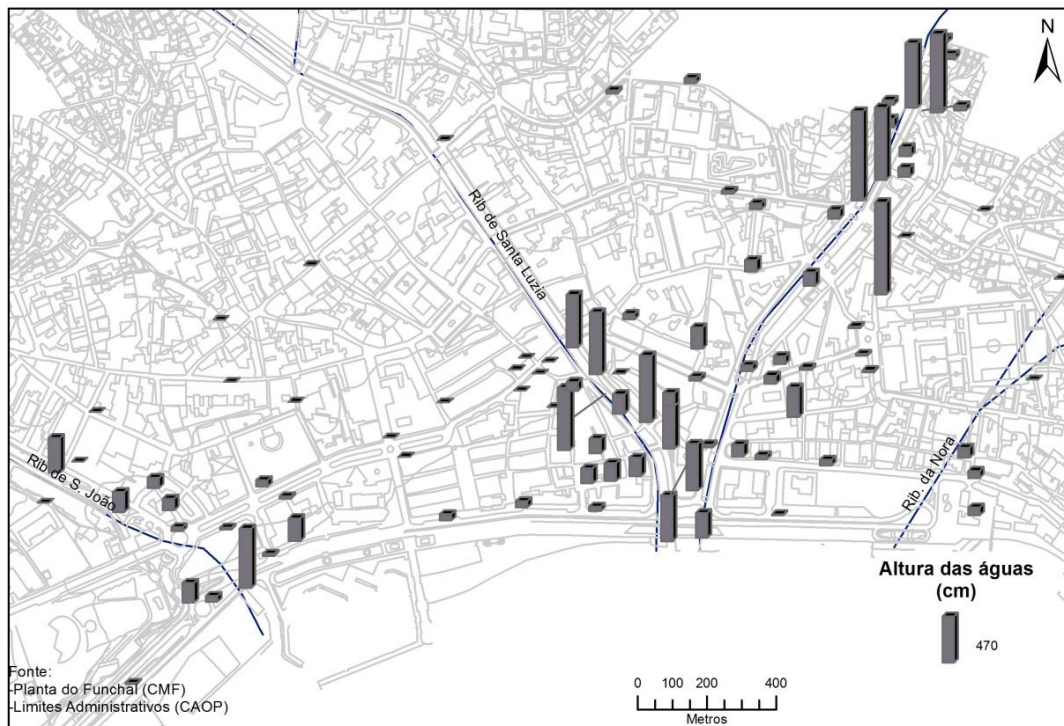


Figura 58 – Altura do escoamento superficial

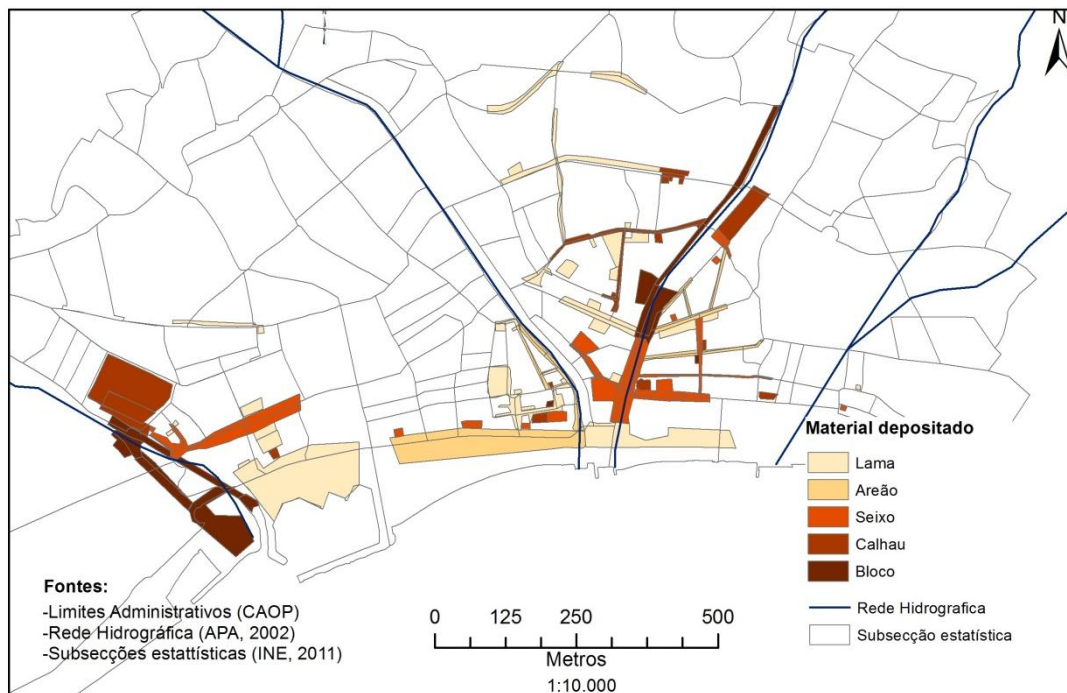


Figura 59 – Materiais sólidos depositados.

A configuração da deposição de sedimentos resulta da energia responsável pelo transbordo dos leitos das ribeiras e do declive das ruas. A deposição com granulometria mais elevada ocorreu junto aos transbordos mais violentos, onde o fluxo foi capaz de romper as estruturas de betão que cobriam as ribeiras: junto ao C.C. Anadia, na ribeira de João Gomes e junto ao C.C. Dolce Vita junto à ribeira de São João. Nesta área ocorreu o maior depósito de material mais grosseiro. Encontrámos, ainda, depósitos de grande granulometria ao longo da rua do Anadia, onde os sucessivos transbordos denotaram uma velocidade do fluxo elevada e, conseqüentemente, maior capacidade de transporte. Nas ruas paralelas à ribeira de João Gomes (Anadia e Oudinot) e à medida que o fluxo perdeu energia os depósitos foram sucessivamente mais finos até à avenida do Mar.

Os materiais mais finos foram depositados essencialmente nos eixos acumuladores, em geral aqueles onde o desnível é menor ou que se encontram em situação de depressão, na topografia urbana.

Capítulo IV– Vulnerabilidade da baixa do Funchal

1- Vulnerabilidade a inundações rápidas

O primeiro objetivo deste capítulo foi o de encontrar unidades territoriais em que ocorrem simultaneamente alta exposição e suscetibilidade, na componente social, económica e física/ambiental. De igual modo, analisámos as condições que proporcionam uma maior ou menor resistência e/ou capacidade de resposta a esses eventos. Deste modo pretendemos poder definir os sectores de maior vulnerabilidade na baixa do Funchal. O segundo objetivo foi o de definir “corredores” de modo a que a população em trânsito no Funchal, aquando de um evento semelhante ao do 20/2/2010, tivesse relativa facilidade no acesso aos locais de evacuação primária⁴⁴. Uma vez que o PMEPC⁴⁵ (CMF, 2013 : 74), definiu para tal as sedes das Juntas de Freguesia e estádio dos Barreiros, localizadas fora da nossa área de análise e não acessíveis de forma imediata à população em trânsito na baixa da cidade, tivemos necessidade de procurar potenciais abrigos alternativos.

Indicadores de vulnerabilidade

Na seleção das variáveis a aplicar, nas diferentes componentes da vulnerabilidade, tivemos por base as definidas pela UNESCO-IHE⁴⁶ (Anexo 5). Uma vez que o conjunto de variáveis a que tivemos acesso são uma pequena parcela das sugeridas na referida tabela, fomos levados a considerar que uma análise comparativa

⁴⁴ Segundo o Plano de Emergência da Proteção Civil (PMEPC) “Evacuação primária corresponde à retirada da população da zona de risco para um local de segurança nas imediações. Ou seja, as pessoas deverão deslocar-se para as zonas de Concentração e Irradiação (ZCI), nas sedes das Juntas de Freguesia (...) sede da CMF, ou em alternativa para o Estádio dos Barreiros ou outros locais...” (CMF, 2013:74)

⁴⁵ Plano Municipal de Emergência de Proteção Civil. Disponível em http://www.cm-funchal.pt/images/stories/destaques/2013/02/planoEmergenciaProtCivil/PMEPC2012FUNCHAL_vJan13_VConsulta.pdf [acedido em março de 2013]

⁴⁶ Em , UNESCO-IHE <http://unescoihfvi.free.fr/indicators.php> [acedido em dezembro de 2012]

entre as diferentes variáveis cartografadas, tendo por base a matriz referida, conduziria a uma interpretação que melhor se coadunaria com a realidade⁴⁷

Os indicadores propostos pela UNESCO-IHE, para o cálculo do índice de vulnerabilidade a inundações, estão agrupados em quatro componentes (social, económico, ambiental e física) de acordo com a sua participação nos fatores intervenientes na vulnerabilidade a cheias (exposição, suscetibilidade e resiliência). De todos os indicadores propostos consideramos apenas aqueles a que tivemos acesso, neste caso os disponibilizados nos resultados provisórios dos Censos 2011. Recorremos, igualmente, à análise de imagens, bibliografia e também a fontes primárias (trabalho de campo) para obtenção de dados suscetíveis de serem utilizados à escala escolhida. Desta recolha resultou um conjunto de indicadores (Tabelas 5) que, consideramos, permitem obter classes de vulnerabilidade da baixa do Funchal.

Tabela 5 - Indicadores selecionados na análise da vulnerabilidade a cheias

| Vulnerabilidade= | | Exposição + | Suscetibilidade.....- | Resiliência |
|------------------|--------------------|--|-------------------------------|---|
| Componente | Social | Densidade da População | Experiência passada | Sistemas de alerta |
| | | Índice de dependência de jovens e idosos | Literacia | Unidades de abrigo e resposta |
| | | Património cultural edificado | Hospitais | Unidades de urgência hospitalar |
| | Económica | Proximidade ao curso de água | Desemprego | |
| | | Atividades Económicas | Qualidade das infraestruturas | |
| | | Edifícios com ocupação não residencial | | |
| | Física e Ambiental | Declives | | Área não urbanizada (jardins e parques) |
| | | Altura da Inundação | | |
| | | Carga de Sedimentos | | |
| | | Velocidade de escoamento | | |

⁴⁷ Uma vez que esta metodologia foi desenvolvida para uma aplicação a países e/ou localidades que apresentam realidades socioeconómicas, em alguns aspetos, bem diferente da nossa, algumas das variáveis sugeridas estariam descontextualizadas logo não aplicáveis ao nosso caso. São exemplo destas variáveis: “% de população rural”, “Bairros de lata”, “Qualidade do fornecimento de energia”, etc, variáveis consideradas no cálculo do índice de vulnerabilidade (FVI) pelo *Institute for Water Education*

Exposição

No fator exposição, considerado como o conjunto de valores presentes no local das cheias, incluímos os indicadores referentes à população, como considera UNESCO-IHE. Quanto à exposição a nível económico e uma vez que não tivemos acesso a dados de avaliação patrimonial, consideramos como mais vulneráveis os edifícios ocupados com atividades terciárias. Deste modo foram selecionadas as variáveis “Edifícios com ocupação não residencial” do INE e dados do levantamento funcional nas ruas da baixa do Funchal. Na determinação da exposição física e ambiental considerámos os declives, a altura da inundação, depósito e velocidade verificados em 20/2/2010.

Suscetibilidade,

Para o fator suscetibilidade, foram selecionados as variáveis literacia e o desemprego, dos Censos 2011. Considerámos ainda, que o indicador, denominado pela UNESCO-IHE “Qualidade das Infraestruturas” e inserido na componente económica, está relacionado com a variável classificada pelo INE como “Data de Construção dos Edifícios” tendo sido, por isso, selecionada. A experiência passada foi constatada em inquérito à população e os hospitais foram considerados todas as unidades com urgência médica, existentes no centro do Funchal.

Resiliência

Tendo em conta as variáveis consideradas pelo UNESCO-LHE, seleccionámos para o fator resiliência a atuação prevista durante um evento perigoso como são as rotas de evacuação e os abrigos previstos no Plano de Emergência da Proteção Civil (PMEPC). A resiliência física e ambiental foi avaliada pela percentagem de área ajardinada nos diferentes sectores.

Por fim, cruzamos a informação de modo a definir as unidades territoriais mais vulneráveis que nos permitiram traçar “corredores” de menor vulnerabilidade de modo a que a população em trânsito na baixa da cidade, consiga atingir rapidamente os potenciais “abrigos” de evacuação primária por nós definidos.

2. A vulnerabilidade do centro do Funchal

2.1 Exposição

Exposição Social

A exposição da população residente no Funchal (Figura 60) é menor na área localizada junto à faixa costeira e alonga-se para o interior, entre as ribeiras de Sta. Luzia e João Gomes. É a *este* da ribeira de João Gomes, na área compreendida entre as ruas da Infância, a *norte*, e a rua de Santa Maria a *sul* que a exposição é maior. De igual modo as secções, localizadas imediatamente a *nordeste* das ribeiras de Sta. Luzia e ao longo da ribeira de São João, apresentam alta exposição.

Quanto à população idosa (Figura 61), é novamente o espaço entre as ribeiras de São João e de Sta. Luzia assim como a estreita faixa costeira, as menos expostas. A maior exposição regista-se junto à ribeira de São João, entre as ribeiras de Sta. Luzia e João Gomes e entre esta última e o ribeiro da Nora, isto é, a zona de Santa Maria. O núcleo mais antigo da cidade continua a ser densamente povoado, e um dos que apresenta um elevado índice de envelhecimento o que o torna numa área de elevada exposição social.

O património cultural edificado⁴⁸ (Figura 62), ao contrário dos anteriores revela uma maior exposição entre as ribeiras de São João e Sta. Luzia, e uma secção a *este* do ribeiro da Nora.

Comparando os três indicadores podemos afirmar que as secções de maior exposição social são aquelas que se localizam:

- em torno da secção terminal da ribeira de São João;
- entre as ribeiras de Sta. Luzia e João Gomes, abrangendo quarteirões como largo do Pelourinho/rua Direita, Fernão Ornelas/Ribeirinho de Baixo e rua do Carmo/rua do Bom Jesus;
- uma faixa paralela à linha da costa para *este* da ribeira de João Gomes, a zona de Santa Maria.

⁴⁸ Para o indicador “Património cultural edificado” foram incluídos os imóveis classificados pela CMF, como Monumentos Nacionais, Imóveis de Interesse Público e Imóveis de Interesse Municipal.

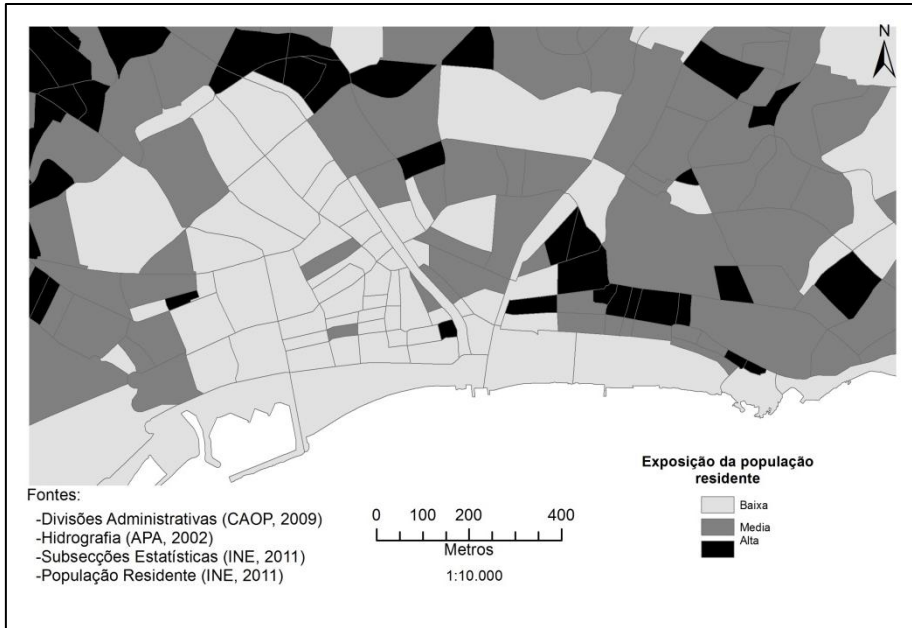


Figura 60
Exposição da população residente.

(Anexo 6)



Figura 61
Exposição da população idosa.

(Anexo 6)

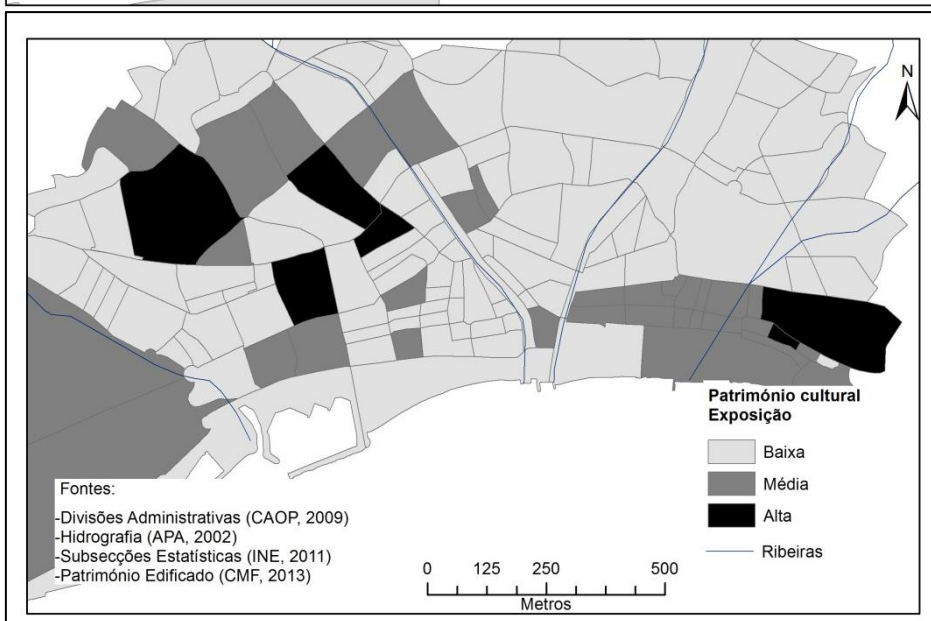


Figura 62
Exposição do património cultural edificado

(Anexo 6)

Exposição Económica

As consequências indiretas das inundações, para a maioria das atividades económicas concentradas na baixa do Funchal, nos dias subsequentes ao dia 20/2/2010 foram o corte de água e de energia e limitações nas deslocações. Quanto aos prejuízos diretos e, num universo de 60 inquiridos (Gráfico 1), somente 3% afirmou não ter tido qualquer prejuízo. Por esse motivo, relacionámos a ocupação principal dos edifícios com as atividades económicas aí desenvolvidas e a distância em que as mesmas se encontram dos cursos de água. Não só o património e as atividades que estão mais próximos dos cursos de água estão mais expostos, mas também aqueles cuja atividade económica implica a necessidade de se encontrarem acessíveis a um elevado número de potenciais utentes como são, a generalidade do comércio e serviços.

A variável “Ocupação dos edifícios em atividades não residenciais” (Figura 64) revela uma faixa de exposição alta entre a ribeira de João Gomes e ribeira de São João assim a zona de Santa Maria⁴⁹. A faixa paralela à linha da costa é de baixa exposição quer em relação aos edifícios com ocupação não residencial quer em relação às atividades económicas (Figura 64). A *norte* desta área localiza-se o sector de mais alta exposição, na área entre as ribeiras de Sta. Luzia e João Gomes. Encontram-se nestes sectores as artérias inundadas recentemente, como são as da rua do Ribeirinho de Baixo/Fernão de Ornelas/largo do Pelourinho/ rua Direita. Entre as ribeiras de Sta. Luzia e São João existem igualmente alguns sectores com exposição alta. A proximidade média aos cursos de água revela que, à exceção de uma estreita faixa norte/sul entre as ribeiras de São João e de Sta. Luzia, a grande maioria dos sectores estatísticos revelam elevada exposição (Figura 63).

Em síntese registamos que:

- a faixa de menor exposição económica é a que se localiza entre as ribeiras de São João e Sta. Luzia e a pequena faixa junto à linha da costa;
- há uma elevada exposição económica nos sectores áreas entre as ribeiras de Sta. Luzia e João Gomes assim como naqueles que ladeiam a ribeira de São João.

⁴⁹ - Aqui, a zona de Santa Maria inclui as ruas de Santa Maria, D. CarlosI, Latino Coelho e Hospital Velho e respetivas ruas transversais. É também denominada de Zona Velha da cidade.

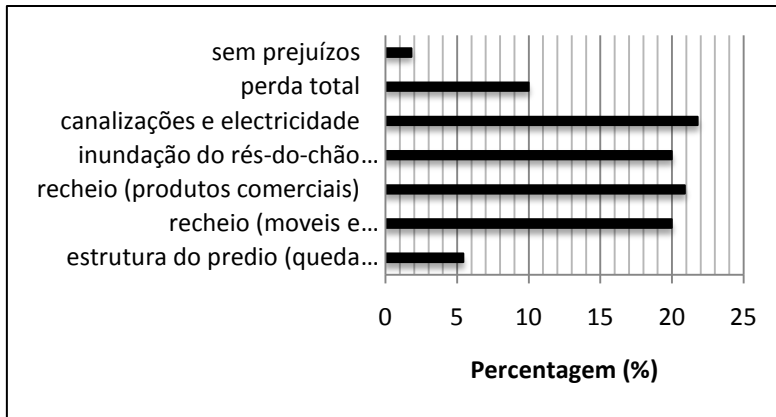


Gráfico 1
– Prejuízos decorrentes das inundações de 20/2/2010



Figura 63
Distância média ao curso de água.
(Anexo 6)

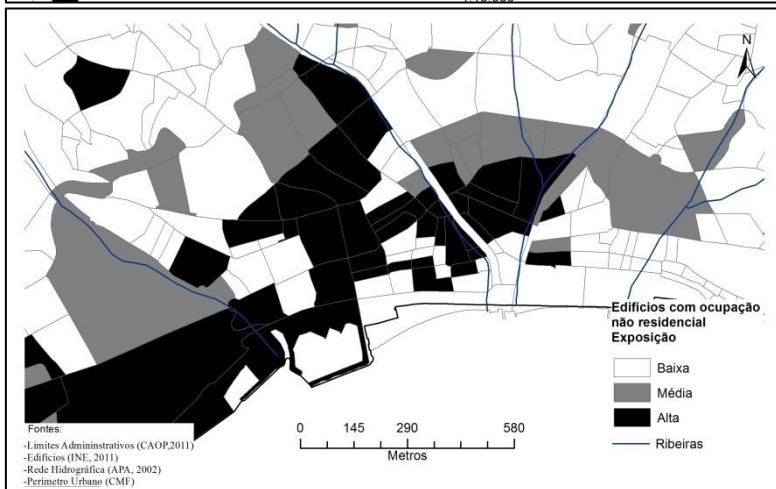


Figura 64
Edifício com ocupação não residencial
(Anexo 6)

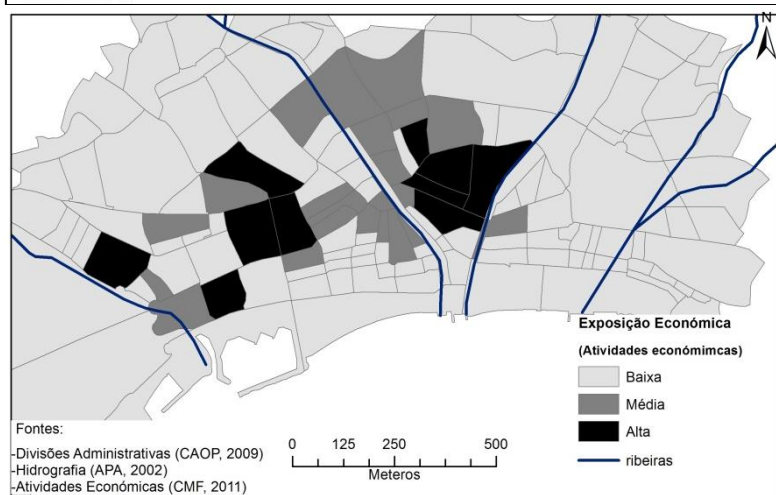


Figura 65
Atividades económicas.
(Anexo 6)

Exposição Física e Ambiental

A maioria dos equipamentos e do tecido económico da cidade do Funchal estão localizados numa pequena área, de declives mais suaves (inferiores a 5%). Com declives ainda mais baixos, inferiores a 2%, estende-se uma estreita faixa paralela à linha da costa, entre as foz da ribeira de São João, a *oeste* e a zona de Santa Maria a *este* (Figura 66) onde estão localizados a maioria dos eixos acumuladores:

- rua Serpa Pinto e rua das Fontes, a *oeste* junto à secção terminal da ribeira de São João;
- avenida do Mar/ rua da Praia/prça Cristóvão Colombo na bacia da ribeira de Sta Luzia;
- largo do Pelourinho/rua Direita/ travessa da Malta e rua do Ribeirinho/rua do Seminário, entre as ribeiras de Sta Luzia e João Gomes;
- toda a zona velha da cidade, abrangendo, de *sul* para *norte*, as ruas D. Carlos I /Santa Maria/Latino Coelho/Hospital Velho/ Miguel Carvalho/, na bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes.

Apesar deste fraco declive, a velocidade de escoamento⁵⁰ em 20/2/2010, chegou a atingir valores entre 15 e 20m/s nos sectores urbanos das ribeiras de São João e João Gomes (Figura 66). Esta maior velocidade ocorreu nos sectores dos cursos de água localizados imediatamente a montante dos depósitos de blocos, os materiais de maior granulometria (Figura 59). Para jusante e seguindo a inclinação dos arruamentos os depósitos são, sucessivamente, de menor granulometria e acompanham a diminuição da velocidade de deslocação do fluxo, quer o que se manteve dentro dos canais das ribeiras quer o que escoou pelos eixos urbanos.

⁵⁰ Estimativas da velocidade de escoamento no dia 20 de fevereiro de 2010 (IST, UMa, LREC, 2010 – Anexos I e G)

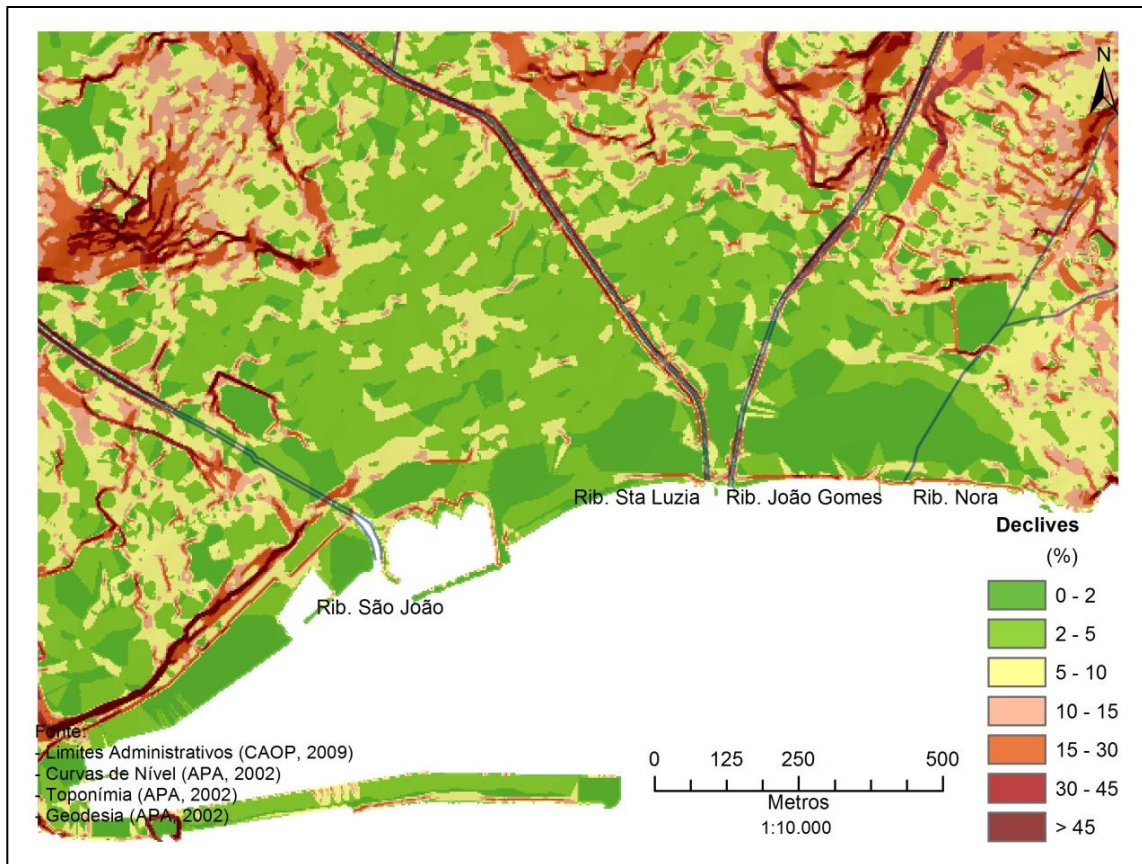


Figura 66-Declives na baixa do Funchal

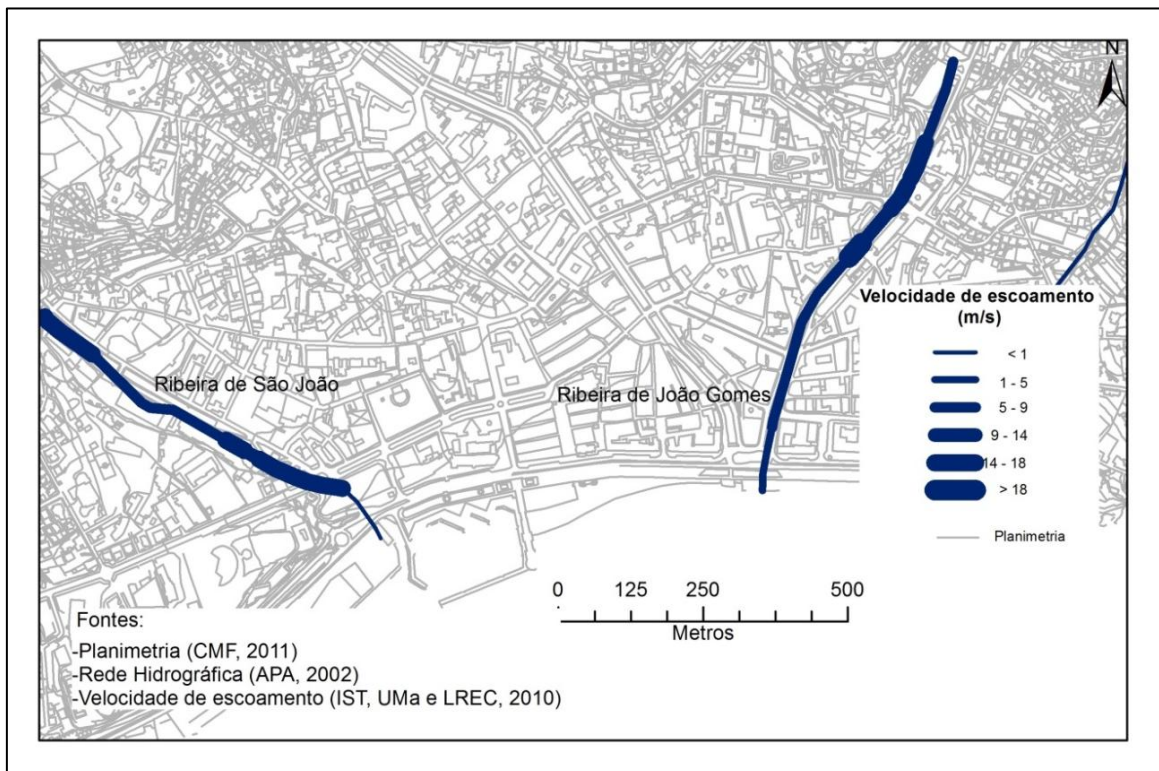


Figura 67 – Velocidade de escoamento do fluxo nas ribeiras de São João e João Gomes em 20/2/2010.

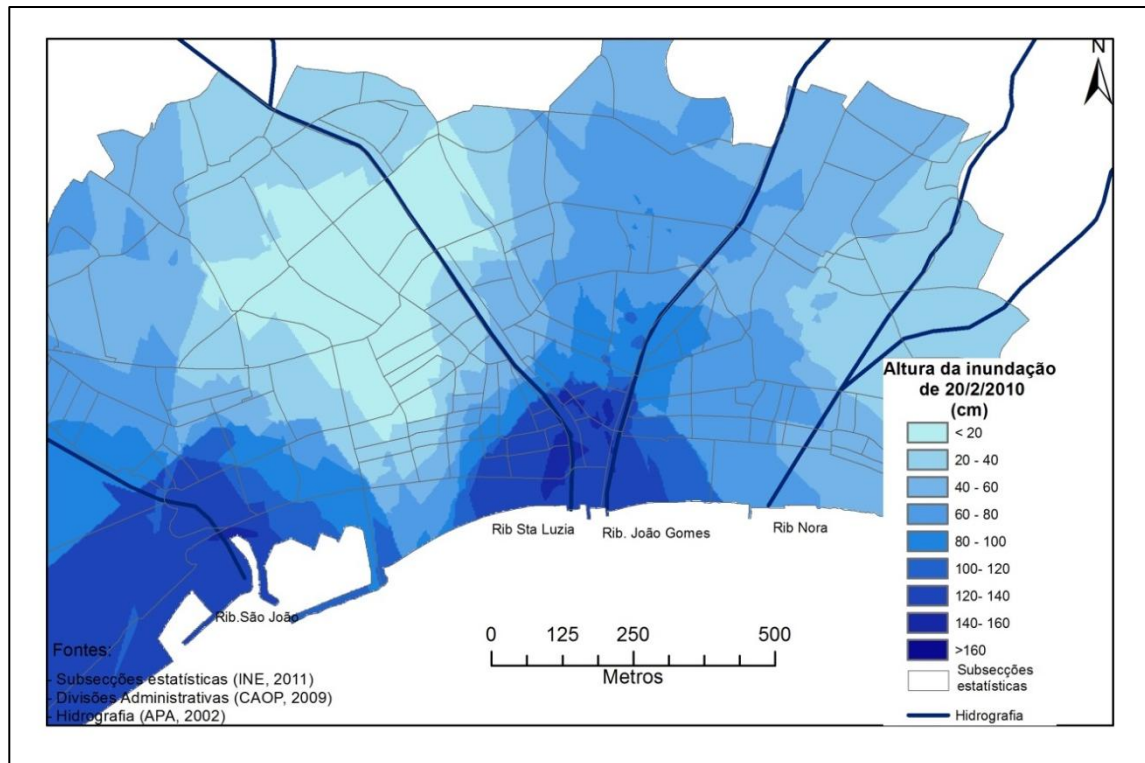


Figura 68 - Altura da inundação (20/2/2010) (método de interpolação kriging)

Grande parte do material sólido transportado pelas ribeiras, foi depositado na parte terminal dos canais assim como na área urbana, das respetivas bacias hidrográficas, num total de volume⁵¹ entre 216544 m³ e 541 361 m³ Ainda segundo a mesma fonte, a matriz mais fina deste fluxo foi depositada em ambiente marinho e a mais grosseira acumulou se nos eixos por nós classificados anteriormente como canalizadores e/ou encaminhadores:

- avenida Calouste Gulbenkian/Brito Câmara/Túnel até a praça Sá Carneiro, na noz da ribeira de São João;
- rua do Anadia/Carmo, na ribeira de Sta. Luzia;
- rua Oudinot, Infância/ Boa Viagem na bacia hidrográfica da ribeira de João Gomes;

⁵¹ Valor estimado a partir do "...volume do aterro constituído junto ao cais do Funchal com o material sólido depositado na cidade na sequência do evento de 20/2/2010 tem o valor de cerca de 140000 m³. A juntar a este volume pode ainda considerar-se cerca de 100000 m³ de volume dragado na zona portuária. Mesmo considerando que alguns detritos removidos tenham sido transportados para outro local, admite-se que um volume total não inferior a 250000 m³ de material sólido tenha sido depositado na zona da cidade do Funchal, sem contar com o volume de material fino que foi transportado em suspensão pelas correntes marítimas: a respetiva pluma é bem visível em fotografias satélite..." Em: IST, UMa e LREC, 2010, Relatório Base:110.

Estas áreas de maior exposição formam um conjunto mais ou menos paralelo à linha da costa e que registaram maior altura de inundação registada no último evento a 20/2/2010,. A maior altura da inundação concentrou-se em dois focos, cujos *epicentros* são: na área urbana da foz das ribeiras de Sta. Luzia e João Gomes; na área urbana da foz da ribeira de São João.

Em síntese as áreas de maior exposição física e ambiental são aquelas que também registam maior exposição social e económica:

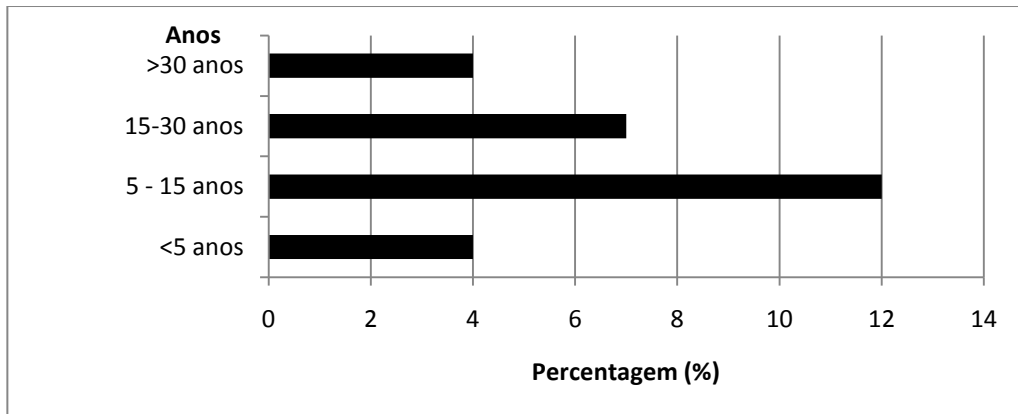
- a zona de Santa Maria, sector jusante das ribeiras de Sta. Luzia e João Gomes (compreende os eixos entre a rua Oudinot/Anadia/Fernão Ornelas/Ribeirinho de Baixo/largo do Pelourinho/Varadouros);
- entre o largo de Pelourinho até à rua do Carmo;
- a área a jusante do CCDV, na bacia da ribeira de São João.

2.2- Suscetibilidade

A capacidade de recuperação do tecido social e económico após e durante um evento da magnitude do 20 de fevereiro resulta, resulta não só das características do contexto social e económico mas também da experiência em eventos semelhantes. Para a análise da suscetibilidade usamos os dados dos Censos 2011 para o grau de escolaridade, desemprego, características dos edifícios. Dados acerca de outras características foram colhidos através de inquérito efetuado à população residente e trabalhadora na baixa do Funchal (Anexo 8).

Um dos fatores importante na determinação da suscetibilidade é a experiência da população em eventos semelhantes. Assim constatamos que, menos de metade dos inquiridos trabalha ou reside há mais de 15 anos no local onde ocorreu a inundação. Uma vez que o evento anterior com magnitude semelhante ocorreu em 1993, remete-nos para um situação em que a experiência não é, na globalidade, muito elevada (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Tempo de permanência no local.



Quanto à literacia, à exceção de uma estreita área entre as ribeiras de São João e Sta. Luzia, a elevada incidência do grau de escolaridade 3º ciclo do ensino básico, confere à baixa do Funchal uma elevada suscetibilidade a inundações (Figura 10). Esta é ainda maior na zona de Santa Maria e nos sectores paralelos à ribeira de Sta. Luzia. A suscetibilidade é agravada com a incidência de desemprego (Figura 11) em algumas destas áreas: área de Santa Maria; de São João e ainda uma faixa entre as duas ribeiras centrais.

A suscetibilidade das infraestruturas, (Figura 71) incide em especial na área de Santa Maria (Zona Velha), que se prolonga para *norte* e a faixa entre as ribeiras de Sta. Luzia de João Gomes.

São então as mesmas áreas, na baixa do Funchal, que apresentam alta exposição e alta suscetibilidade.

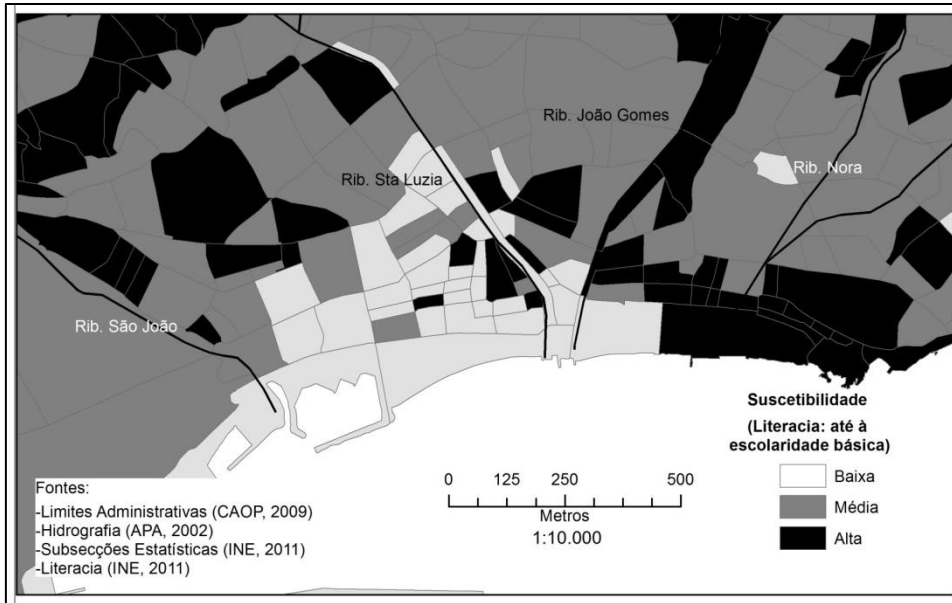


Figura 69-
Literacia
(Anexo 6)



Figura 70 –
Desemprego
em 2011.
(Anexo 6)

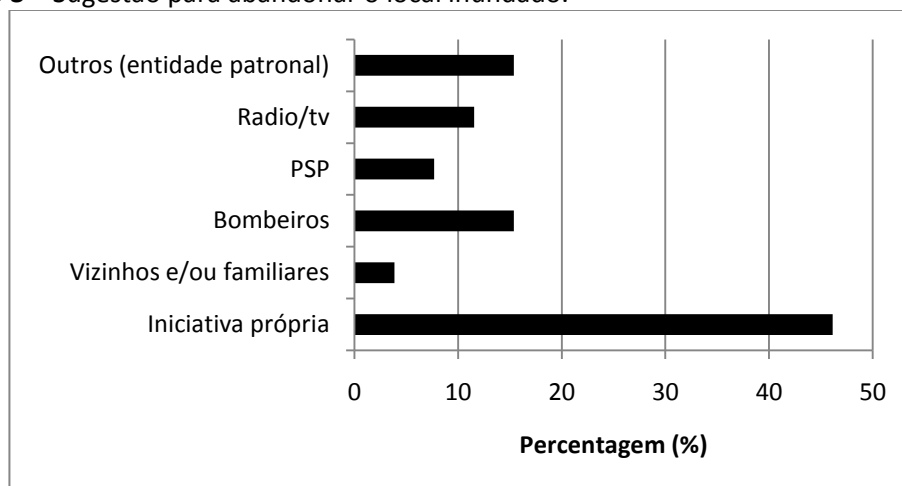


Figura 71 –
Edifícios
construídos
antes de
1970.
(Anexo 6)

2.3- Resiliência

Ao serem questionados acerca da entidade que sugeriu a saída do local inundado, no dia 20 de fevereiro, a grande maioria respondeu que abandonou o local por iniciativa própria. (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Sugestão para abandonar o local inundado.



A rapidez com que todo o evento se desenvolve é tal que os sistemas de alerta, em geral, são pouco eficazes. A população é surpreendida pelo transbordo, e logo em seguida, pela invasão em pleno tecido urbano de fluxos de água, lama e material de variada dimensão, a grande velocidade. O alerta, devido à dificuldade de previsão, só é dado muito próximo da ocorrência e não chega a todos, em especial à população em trânsito na cidade. Ao ser surpreendida pela inundação rápida, a capacidade de reação fica limitada e o encontrar abrigo torna-se a primeira medida de proteção.

O plano de emergência da CMF prevê corredores de evacuação (Figura 73) que contemplam a localização das unidades hospitalares com urgência médica, quartel da PSP e Bombeiros. Contudo, se considerarmos os pontos de transbordo, a direção dos fluxos de inundação e respetiva velocidade, grande parte destes corredores tornam-se inoperacionais numa situação de inundações com a magnitude da aqui analisada. Na quase totalidade da nossa área de estudo a acessibilidade às ZCI fica muito limitada.

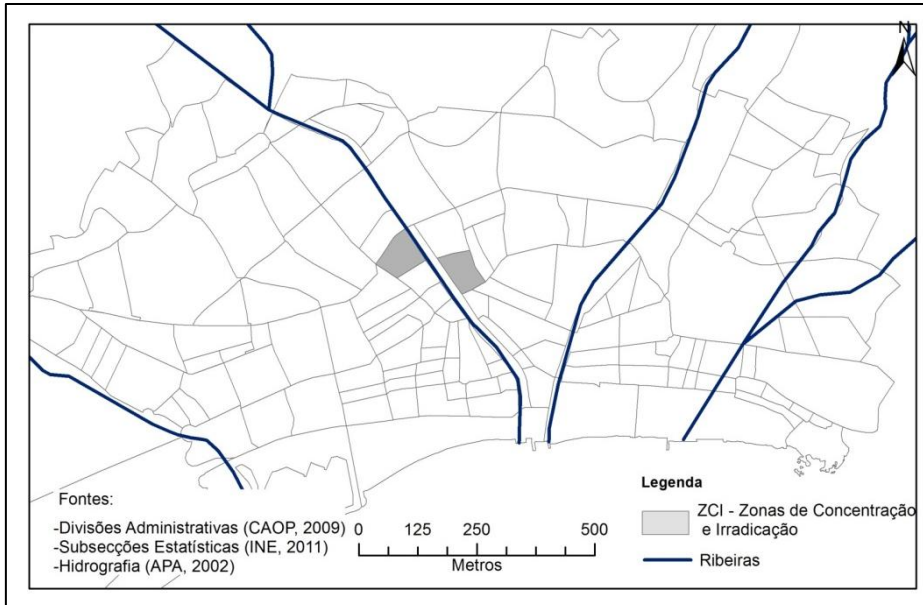


Figura 72
Zonas de concentração e Irradiação, propostas pelo PMEPC.

(Anexo 6)

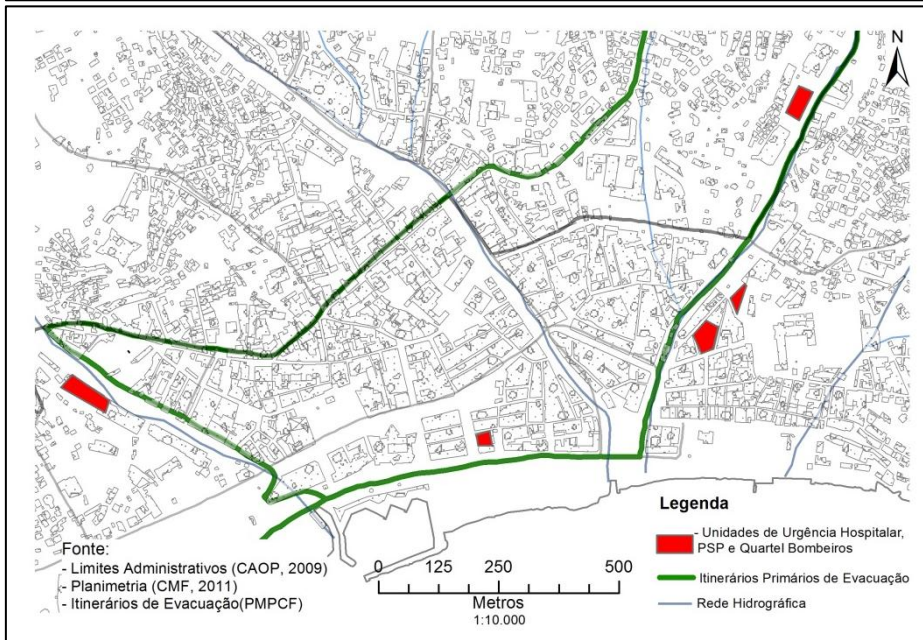


Figura 73
Unidades proteção civil e corredores de evacuação, segundo o PMEPC.

(Anexo 6)

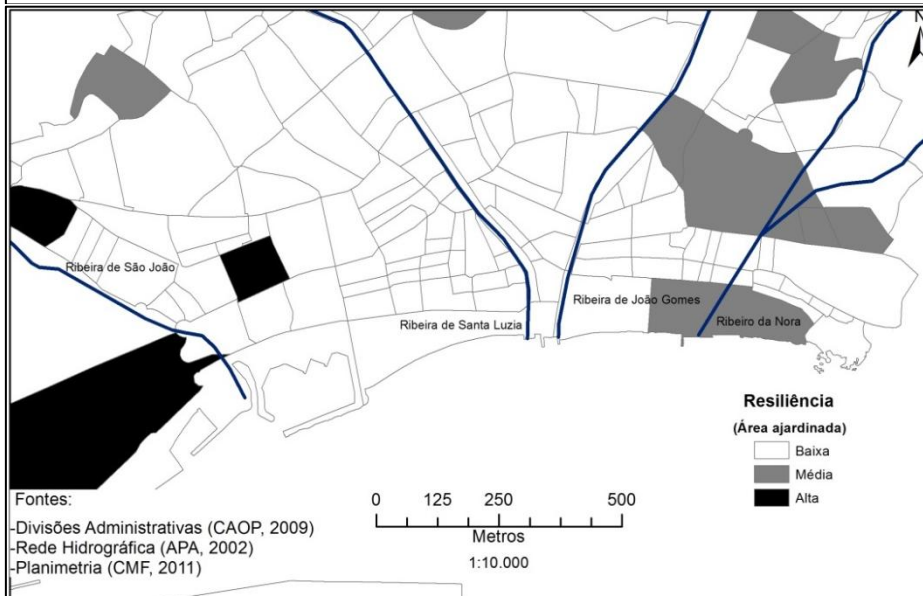


Figura 74
Áreas ajudinadas.

(Anexo 6)

A percentagem de áreas ajardinadas (Figura 74) são indicadores de facilidade de recuperação pois ao aturem a montante aumentando a capacidade de infiltração, terão reflexos no escoamento.

Podemos então afirmar que, nos aspetos aqui analisados, a resiliência é baixa em toda a área em estudo, não diminuindo, por isso, a vulnerabilidade dos sectores indexados a elevada exposição e suscetibilidade

Índice de Vulnerabilidade a Inundações

Apesar da pequena quantidade de variáveis disponibilizadas para esta pesquisa foi feito um ensaio para o cálculo e cartografia do índice de vulnerabilidade (Figura 75).



Figura 75 – Índice de Vulnerabilidade a Inundações da baixa do Funchal.

Com maior responsabilidade na vulnerabilidade a inundações na baixa do Funchal estão as variáveis “Declive”, “Velocidade de Escoamento” e “Dependência de Idosos” as quais, pensamos, terem maior influência e, por isso, lhes foi atribuído o peso 3. Com um peso 2 estão as variáveis “Proximidade ao curso de água”, “Altura da

Inundação” e “Ocupação Funcional dos Edifícios”, sendo que às restantes foi-lhes atribuído o peso 1.

Assim foram identificados os seguintes sectores Muito Vulneráveis, dentro da baixa do Funchal:

-em torno da secção terminal da ribeira de São João, a montante da rotunda do Infante;

-alguns sectores entre as ribeiras de São João e Sta. Luzia, dos quais destacamos a área rua da Praia /rua dos Tanoeiros;

-entre as ribeiras de Sta. Luzia e João Gomes, abrangendo a maioria dos sectores entre a travessa da Malta e a rua do Carmo;

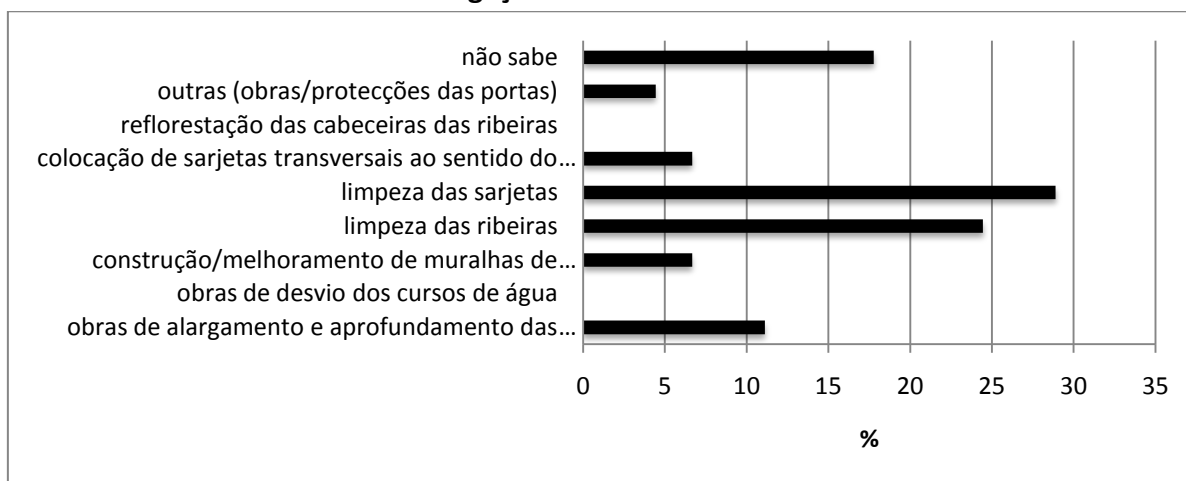
- faixa paralela à linha da costa para *este* da ribeira de João Gomes, a zona de Santa Maria para *norte*.

Estamos cientes que estas conclusões resultam de uma análise limitada a poucas variáveis, contudo somos em crer que espelham, com um grau de grande aproximação a realidade da vulnerabilidade da baixa do Funchal a inundações rápidas.

3- Algumas Medidas Mitigadoras Públicas

A população inquirida acerca das medidas que deveriam ser tomadas pelas autoridades de modo a minimizar a ocorrência e o efeito das inundações (Gráfico 4) respondeu, maioritariamente, que são ações de limpeza as que evitariam efeitos tão nefastos. Em seguida são medidas estruturais (“obras de alargamento e aprofundamento”, “construção e melhoramento das muralhas”) as mais apontadas. Dentro das medidas não estruturais foram referidas aquelas que visam uma mitigação no momento da ocorrência do evento (sargetas / proteções nas portas). As medidas de prevenção como é a reflorestação das cabeceiras das ribeiras não foram selecionadas por nenhum inquirido.

Gráfico 4 – Medidas de mitigação



Para Ramos (2009), podem ser implementadas três tipos de medidas mitigadoras: medidas de conservação, medidas de correção e medidas de restauração, devidamente inseridas num bem estruturado ordenamento do território.

Das medidas de conservação mais eficazes a reflorestação é, sem dúvida, a medida mais importante para toda a bacia mas, em especial, nas cabeceiras das ribeiras e nas suas vetentes mais declivosas. Ao fazer aumentar a infiltração das águas pluviais, reduzindo a velocidade do escoamento superficial, aumenta o tempo de concentração e evita a erosão e o assoreamento. O material sólido em movimento diminui assim como as dimensões catastróficas das aluviões. Infelizmente no Funchal as ações de florestação são muitas vezes anuladas pelos incêndios florestais frequentes.

Na área urbanizada das bacias hidrográficas, junto das zonas ribeirinhas, a ocupação, segundo Ramos (2005), deveria ser dominada pelos jardins e parques pois um espaço aberto facilita o escoamento das águas e minimiza os prejuízos.

A baixa do Funchal apresenta uma matriz urbana consolidada, em especial pelo comércio e serviços, mas também por residências. As áreas ajardinadas são poucas, em especial as de domínio público (Figura 74). Por outro lado a grande maioria dos ocupantes deste espaço, nas entrevistas efetuadas no âmbito deste trabalho, apesar de não ter tido prévio conhecimento da ocorrência de inundações anteriores quando aí se instalaram, não manifestaram intenção de abandonar o local, mesmo na eventualidade de voltar a ocorrer inundações e mesmo quando as perdas tidas foram significativas. Esta relutância à mudança, juntamente com a vontade dos tomadores de decisões, justifica a permanência da cidade em área desde há muito vulneráveis a inundações.

Pequenas alterações, contudo, ocorrem pontualmente na ocupação do solo. É exemplo a criação do Parque de Santa Luzia com 13.700m², pela Câmara Municipal do Funchal em 2004, espaço anteriormente ocupado por uma fábrica. Este jardim está localizado junto à confluência da ribeira de Sta Luzia com o ribeiro do Torreão. Podemos igualmente incluir nesta categoria as denominadas “Hortas Urbanas”, também implementadas pela CMF, que têm vindo a ocupar pequenas áreas em leito de cheia na ribeira de João Gomes e em terrenos declivosos.

Outas medidas como a ampliação da rede e do calibre das canalizações para a drenagem urbana, em especial na zona baixa, de modo a poder comportar as águas pluviais evitariam as inundações de origem combinada.

Outro tipo de medidas estruturais, e que envolvem meios muito avultados⁵², foram projetadas e encontram-se em fase de execução nas três ribeiras: a criação de açudes, nos respetivos leitos, de contenção de material sólido (Figura 76); rectificação e aprofundamento do leito junto à foz da ribeira de São João; aprofundamento e junção da secção terminal das ribeiras de Sta. Luzia e João Gomes (Figura 77 e 78).

⁵² - Só para a ribeira de João Gomes os encargos orçamentais previstos na obra de reabilitação e regularização são de 3.351.518,36 de euros, (DN, setembro de 2013)



Fonte: : <http://online.jornaldamadeira.pt>



Fonte: http://fenixdoatlantico.blogspot.pt/2012/12/ambiente_23.html

Figura 76 – Açudes na ribeira de Santa Luzia Figura 77 – Projeto de junção dos canais jusante das ribeiras de Sta. Luzia e João Gomes



Figura 78 – Aspeto das obras de junção das fozes das ribeiras de Sta. Luzia e João Gomes. [Setembro de 2013]

Segundo os promotores, esta obra vem regularizar os caudais das ribeiras por via da criação de açudes que visam sustentar os materiais transportados pelas águas nas enxurradas.⁵³ A jusante a junção dos canais junto à foz irá regularizar e aprofundar o leito “Dos atuais 3 metros, a profundidade passará para os 7 metros e uma inclinação que passará de 0,7% para 2% (...) a secção de vazão passará dos atuais 12x3 em Sta Luzia e 9x3 em João Gomes para os futuros 24x7 metros na zona mais estreita.”⁵⁴ Esta obra, segundo a mesma fonte, permitirá aos materiais serem deslocados com maior velocidade evitando a sua acumulação a cotas mais baixas e consequente diminuição da secção de vazão e transbordo. Contudo, segundo o parecer do IGOT a estas intervenções, “ a confluência de fluxos (...) implicará certamente um aumento da carga sólida depositada imediatamente a jusante (...) Acresce que os agentes responsáveis pela hidrodinâmia marinha que

⁵³Disponível em: <http://online.jornaldamadeira.pt/artigos/obras-de-reabilita%C3%A7%C3%A3o-das-ribeiras-do-funchal-custaram-mais-de-13-milh%C3%B5es-de-euros> [Acedido em setembro de 2013]

⁵⁴ Disponível em: www.geocidmadeira.com [acedido em novembro de 2012]

atualmente atuam, no essencial, junto à linha da costa, passarão, com o aprofundamento do canal comum a atuar mais para montante promovendo o assoreamento do mesmo (...)"⁵⁵ (Pereira,A., 2011: 7). O encargo financeiro destas obras é tal que, somos levados a considerar que estudos mais aprofundados deveriam ter sido efetuados.

Ainda segundo o Diário de Notícias da Madeira de 19/2/2013, as ações de reflorestação, baseiam-se em campanhas apoiadas em voluntários quer na plantação quer na conservação. Não encontramos noticiada a aplicação da lei de Meios⁵⁶ para essa finalidade.

Outras medidas não estruturais estão em curso como as de educação nas escolas. Ao envolverem parcerias entre entidades como a Associação Insular de Geografia (AIG), o Serviço Regional de Proteção Civil, IP-RAM, e a Secretaria Regional da Educação e Recursos Humanos, que, tentam chegar à população mais jovem⁵⁷. Contudo, a informação ao público em geral está muito limitada faltando uma autêntica campanha de informação quer no que visa a segurança quer nas medidas de diminuição do grau de perda.

⁵⁵ Disponível em:

http://www.dnoticias.pt/sites/default/files/Anexo02_ParecerIGOTProjIntBaiaFunchal.pdf [acedido em janeiro de 2013]

⁵⁶ Lei de Meios- lei aprovada pela Assembleia da República com a finalidade de financiar as iniciativas de apoio e reconstrução na Região Autónoma da Madeira, na sequência da intempérie de 20 de fevereiro de 2010. Diário da República, 1.ª série-N.º 115-16 de Junho de 2010, Disponível em: <http://dre.pt/pdf1s/2010/06/11500/0206402067.pdf>. [acedido em julho de 2013]

⁵⁷ - Disponível em: http://images.procivmadeira.pt/images/stories/info-pub/protocolo_aig.pdf. [acedido em julho de 2013]

4- Proposta de atuação

Corredores urbanos

Das medidas implementadas / planeadas notamos uma grande lacuna: a população presente nas áreas mais vulneráveis da cidade, ao ser exposta a uma situação de aluvião, é confrontada com a necessidade de reagir e tomar decisões rapidamente. Colocamo-nos então duas questões:

1)- Em caso de inundaçãõ rápida, com características idênticas à ocorrida a 20/2/2010, onde deverão os utentes da cidade se abrigar imediatamente?

2) – Como poderão ser reduzidas as ocorrências de *flash floods* e/ou como poderão ser minimizados os seus efeitos, a médio/longo prazo?

Potenciais abrigos

O Plano Municipal de Emergência de Proteção Civil (CMF, 2013: 74) aponta para retirada da população da zona de risco para Zonas de Concentração e Irradiação (ZCI), constituídas pelas sedes das juntas de freguesia, CMF e estádio dos Barreiros, que se encontram, maioritariamente, localizadas fora da área inundada e são de difícil acesso. Considerando que a população em trânsito quando confrontada com uma cheia rápida necessita de encontrar rapidamente abrigo e que deverão se dirigir em sentido contrário à proveniência da mesma, vimos necessidade de encontrar abrigos alternativos às ZCI's definidas no PMEPC (2013).

Sugerimos que as potenciais unidades de abrigo à população, em circulação na baixa citadina, possam ser constituídas por escolas e/ou por unidades hoteleiras. Deverão reunir, igulamente, os seguintes requisitos, devendo estar:

- localizadas a uma distância máxima de cinco minutos em deslocação pedonal⁵⁸, de, pelo menos, um dos sectores classificados anteriormente com alta vulnerabilidade;

- localizadas a uma distância máxima de cinco minutos em deslocação pedonal de, pelo menos, uma unidade de urgência médica;

⁵⁸ Foi atribuída a velocidade média de 15 minutos por 1000 metros de deslocação pedonal.

- afastadas pelo menos 100 metros dos canais das três ribeiras principais (São João, Sta Luzia e João Gomes). No caso destes abrigos apresentarem várias entradas deverá pelo menos uma estar afastada essa distância(Figura 79);

- capacidade de prestação de serviços de alimentação;

- capacidade de abrigo de, pelo menos, 24h a um alargado número de pessoas.

Depois de considerados os abrigos possíveis, foi realizada uma segunda seleção considerando aqueles que isoladamente ou em conjunto apresentassem maior capacidade de alojamento.

Deste modo os potenciais abrigos que cumprem os requisitos determinados (Figura 76) são os seguintes:

a)- Hotel Madeira / Residencial Colombo a oeste próximo da ribeira de São João, localizados, respetivamente, nas ruas Ivens e da Carreira;

b)- UMa - Universidade da Madeira (núcleo do Colégio dos Jesuítas), a oeste e próximo à ribeira de Santa Luzia, na rua do Castanheiro;

c)- Hotel Apartamento da Sé/ Pensão Astória, a oeste e jusante da ribeira de Santa Luzia, respetivamente nas ruas do Sabão e João Gago;

d)- Escola Secundária de Francisco Franco (ESFF) /Hotel do Centro/Hotel Windsor/Hotel Sirius que absorveriam a população em circulação na área entre as ribeiras de Santa Luzia e João Gomes e localizados, respetivamente, nas ruas João de Deus, Carmo e Hortas;

e)- Escola Secundária de Jaime Moniz (ESJM) a este, serviria a população em trânsito em toda a zona de Santa Maria/Zona Velha, nas ruas D. Carlos I, Santa Maria, Latino Coelho, Hospital Velho, Oudinot, Infância, Boa Viagem, isto é, toda “Zona Velha”;

As isócronas (Figura 80) ajudaram-nos a visualizar a área de influência das potenciais unidades de abrigo e revelaram que toda baixa do Funchal se encontra dentro da isócrona dos 5 minutos, de deslocação pedestre, a partir abrigos seleccionados. Contudo, salientamos que duas das secções mais vulneráveis, largo do Pelourinho/ rua Direita / travessa da Malta e rua da Praia/ avenida do Mar ficam no limite dos 5 minutos de deslocação pedestre.

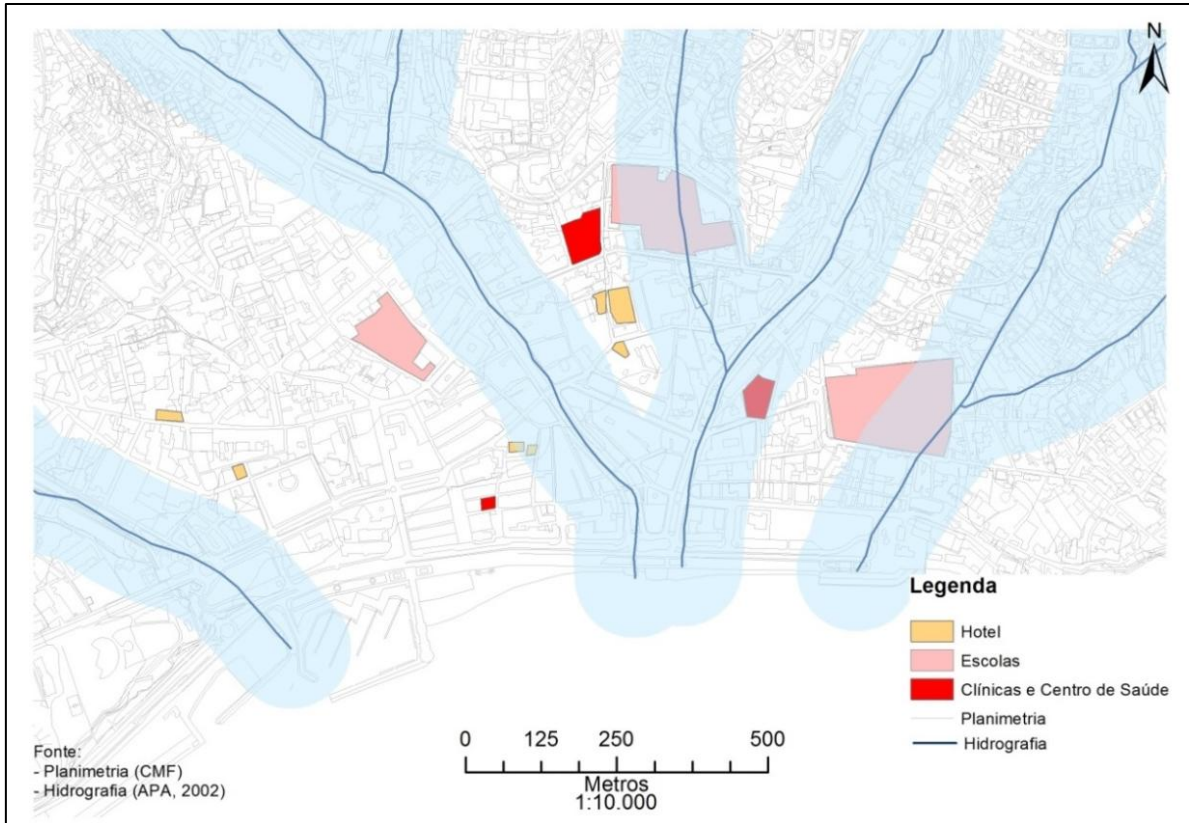


Figura 79 – Localização dos abrigos potenciais

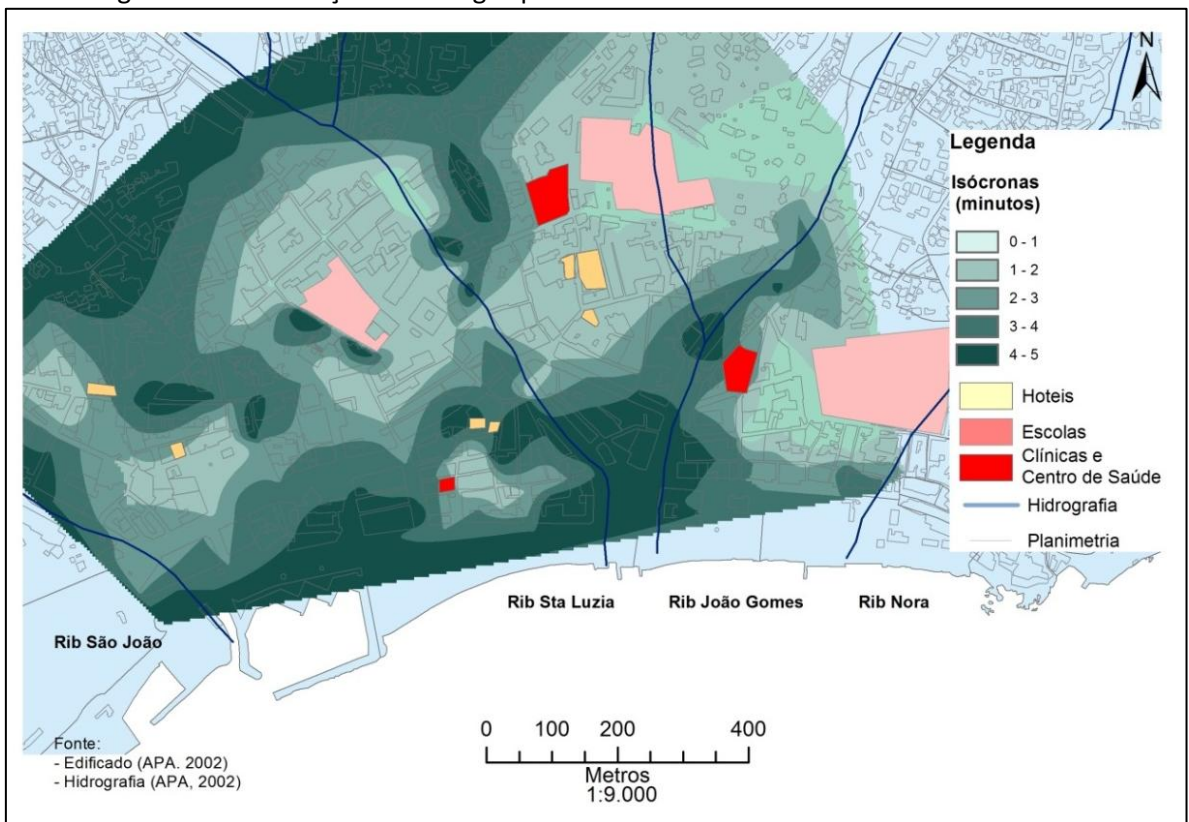


Figura 80 – Isócronas a partir dos abrigos

Defenidos por um ou mais potenciais abrigos, pela área de influência dos abrigos e por artérias de referência dentro da mesma área. Os corredores/sectores serão os seguintes: Colombo, Madeira, UMa, Sé, Carmo, ESFF e ESJM (Figura 81).

Um dos requisitos chave para o sucesso desta proposta é a possibilidade de identificação rápida, por parte do transeunte, não só do sector de evacuação onde se encontra quando surpreendido por uma aluvião, mas a(s) artéria(s) considerada(s) facilitadora(s) na sua deslocação até ao abrigo mais próximo. A cada sector deverá ser atribuída uma referência visual (uma determinada cor/símbolo) que os identificaria⁵⁹. As artérias estruturantes na evacuação deverão, igualmente, ser identificadas visualmente pelos transeuntes (placas sinalizadoras/referências visuais nos passeios). Estes corredores absorveriam a população em trânsito na maioria dos sectores da baixa da cidade (Anexo 6).

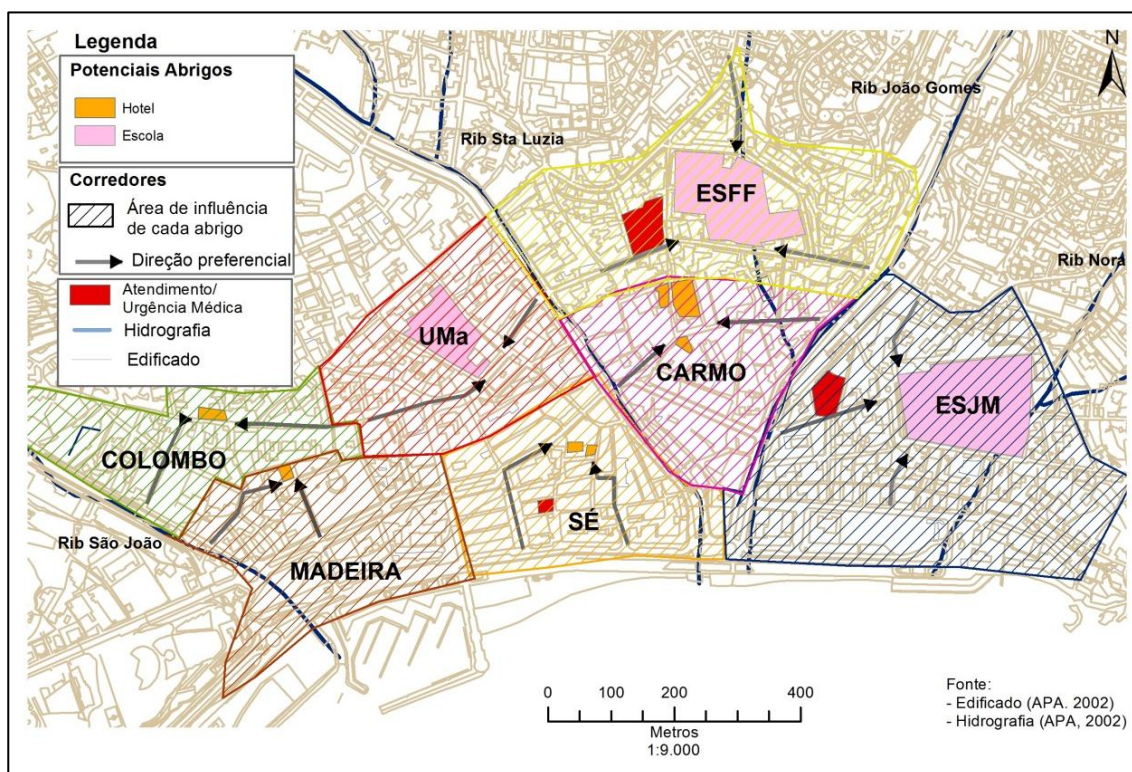


Figura 81 – Sectores e corredores de evacuação.

⁵⁹ Uma forma de identificação rápida seria usar as cores junto às placas de identificação das artérias na baixa da cidade.

Outro dos fatores chave é a informação à população da eminência de uma aluvião, pensamos que com uma antecedência mínima de pelo menos dez minutos, de modo a possibilitar a deslocação de todos até aos respetivos abrigos. Os avisos poderão ser sonoros e/ou visuais sendo que os primeiros já se encontram previstos no PMEPC. A dificuldade dos avisos visuais é o carácter móvel da população em trânsito. Contudo, a existência de postos de vídeo público, com dimensões relativamente grandes, serão uma mais-valia para poder transmitir informações urgente, desde que devidamente coordenados.

Conclusão

Em iguais circunstâncias de precipitação a cidade do Funchal tem sido, ao longo da sua história, fustigada por inundações rápidas com consequências catastróficas. A posição geográfica da ilha e, em especial, as suas características morfológicas e hidrográficas propiciam uma resposta rápida às precipitações intensas. A cidade, instalada junto à foz de três ribeiras e na base da “concha” morfológica formada pelas respetivas bacias, continua, como no passado e, ousamos afirmar, que também no futuro exposta a este tipo de eventos

As encostas que durante centenas de anos, apesar da desflorestação, mantiveram alguma estabilidade com a construção de poios para a agricultura, encontram-se votadas ao abandono. As centenas de linhas de água que as cortam em direção às ribeiras desestabilizam-nas e mobilizam materiais que transportam até aos leitos principais, potenciando as inundações. Outros aspetos gravosos são o alastramento da mancha urbana para montante, com consequências na impermeabilização das vertentes e dos leitos de cheias assim como a canalização de muitas linhas de água, em geral, subdimensionadas. Este crescimento sobrecarregou o sistema de escoamento pluvial da cidade, cujo redimensionamento pouco eficaz veio fragilizar, ainda mais, a da baixa da cidade. Assim, os episódios de inundação como o ocorrido a 20 de fevereiro de 2010, têm efeitos em toda a bacia hidrográfica mas, em especial, afetam o centro da cidade que recebe simultaneamente as águas de origem pluvial e as de origem fluvial, provenientes da obstrução das linhas de água e consequente transbordo.

Uma vez em circulação na malha urbana, a direção e velocidade das águas é influenciada pela posição dos eixos, respetivo declive e cota. A construção mais recente de arruamentos, como os que ladeiam as ribeiras e a frente mar, conferiu a algumas das áreas mais antigas da cidade maior vulnerabilidade: a zona de Santa Maria, a zona entre as ribeiras de Santa Luzia e João Gomes (Figura 78) e as ruas paralelas à avenida do Mar (rua da Praia e rua das Fontes). A cidade ficou comprometida e seriamente prejudicada em especial junto às fozes das ribeiras que foram canalizadas e espartilhadas não dando vazão a cargas mais volumosas, em especial após precipitações intensas.

Na nossa análise à vulnerabilidade constatamos que a maior exposição corresponde ao sector urbano onde estão localizados a maioria dos equipamentos e do tecido económico. São áreas de fraco declive mas onde um pequeno desnível poderá provocar um aumento de velocidade da aluvião. Para a população residente, em especial a mais idosa, o maior perigo encontra-se na velocidade da água. As áreas de maior exposição desta população, assim como da população em geral, são muitos dos sectores da zona de Santa Maria e o de jusante da bacia hidrográfica de São João, que correspondem às áreas de maior suscetibilidade social (literacia e desemprego) e física (edifícios anteriores a 1970), menor resiliência (reduzida em toda a área em estudo), o que contribui para a elevada vulnerabilidade a estes sectores.

As pessoas que se encontram em trânsito na cidade, aquando de um evento de *flash flood*, ficam especialmente vulneráveis, sem possibilidade de serem informadas por meios convencionais e sem abrigo. A preparação para a emergência é fundamental e neste âmbito propomos um conjunto de atuações:

- identificação de abrigos alternativos aos definidos pela PMPC. Serão abrigos mais acessíveis ao público-alvo, e terão melhores condições de alojamento temporário imediato;
- definição de áreas de influência de cada abrigo, com rotas ou corredores preferências de deslocação, com sinalética adequada na via pública visível aos transeuntes e que permitirá uma evacuação rápida, assegurando a sua integridade;
- divulgação alargada da identificação das áreas mais vulneráveis da cidade.

A intervenção pública no território tem sido feita, essencialmente, através da implementação de medidas estruturais, quer as do troço intermédio no retardar do avanço de material grosseiro através da construção de açudes, quer a jusante com a união do sector terminal de dois dos cursos de água e aprofundamento dos leitos poderão, para além das dúvidas técnicas, criar uma falsa sensação de segurança e permissividade à continuação de procedimentos e comportamentos que potenciam a perigosidade: a desflorestação, a continuação da ocupação das zonas adjacentes, das margens e, inclusive, dos leitos das ribeiras e a deficiente preparação das populações para a emergência.

Consideramos necessário que as ações de mitigação a nível estrutural extravasem as intervenções pontuais. Estas devem ser complementadas por atuações alargadas e sólidas, de cariz não estrutural como os programas de reflorestamento e de contenção da expansão da mancha urbana para montante. As intervenções no sentido de reduzir a vulnerabilidade serão mais eficazes se acompanhadas por programas de educação e divulgação de modo a alargar a consciência coletiva para a vulnerabilidade do tecido urbano do Funchal.

A intervenção pública deverá incidir num ordenamento colaborativo “Envolvendo cidadãos, membros da administração e outros atores (...) o ordenamento do território colaborativo estimula mecanismos de partilha de conhecimento, aprendizagem social e capacitação cívica e institucional, proporcionando resultados certamente superiores, aos processos formais de consulta pública previstos na legislação em vigor”(Ferrão, 2011).

A nossa interpretação espacial da vulnerabilidade da baixa do Funchal está, necessariamente, incompleta. O desenvolvimento natural deste trabalho deveria: completar a cartografia de vulnerabilidade a inundações rápidas, apresentando-a nalguns sectores numa escala de maior pormenor e produzir mapas de risco. Uma análise aos fluxos e redes de informação e comunicação assim como à perceção do risco poderão ser os passos seguintes que se entroncam nesta nossa abordagem.

BIBLIOGRAFIA

- Abreu, F., & Gaspar, U. (2007). *Os Símbolos da cidade do Funchal*. Funchal: Empresa Municipal "Funchal 500 anos".
- Andjelkovic, I. (2001). *Guidelines on Non-structural easures in Urban Floods Management*. Paris: IHP, UNESCO.
- Aragão, A. (1981). *A Madeira vista por estrangeiros – 1455-1700*. Funchal: S.R.E.C./DRAC .
- AREAM - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira. (2006). *Levantamento do Potencial Energético da Biomassa Florestal da Região Autónoma da Madeira*. Relatório Síntese, Funchal.
- Atz, A., & Keller, S. (2012). A systemic approach for the analysis of infrastructure-specific. In S. L. Cutter, & C. Corendea (Ed.), *From Social Vulnerability to Resilience: Measuring Progress toward Disaster Risk Reduction*.
- Balica, S.-F. (2012). Applying the Flood Vulnerability Index as a Knowledge base for flood risk assessment. (C. Press/Balkema, Ed.) Netherlands.
- Birkmann, J. (2006). *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies*. Tokio, New York, Paris: United Nations Publications.
- Câmara Municipal do Funchal. (Novembro de 2010). *Parque Ecológico do Funchal. Plano de Recuperação 2010-2020*. Obtido em Abril de 2011, de <http://www1.cm-funchal.pt>: http://www1.cm-funchal.pt/ambiente/images/stories/parque_ecologico/Destaques/2010/12/PlanoRecuperacaoPecof/PECOF_PlanoRecuperacao_Final.pdf
- Câmara Municipal do Funchal. (2011). *Parecer Sobre o Projecto de Intervenções nos Troços Terminais das Ribeiras de S. João, de S. Luzia e de João Gomes, Sobre a Proposta de Intervenção no Aterro Dspositado na Av. do Mar e das C. Madeirenses em Consequência da Intempérie do 20 de Fev. de 2*.
- Câmara Municipal do Funchal. (2013). *Plano Municipal de Emergência de Proteção Civil*. Funchal.
- Cardona, O., Bertoni, J., Gibbs, T., Hermelin, M., & Lavell, A. (2011). *Understanding and Managing Risk Associated With Natural Hazards: a Comprehensive Scientific Approach for Latin America and the Caribbean*. Obtido em Janeiro de 2013, de www.icsu.org: http://www.icsu.org/icsu-latin-america/publications/reports-and-reviews/natural-hazards/disasters_english.pdf
- Carvalho, A. G., & Brandão, J. M. (1991). *Geologia do Arquipélago da Madeira*. Lisboa: Museu Nacional de História Natural.
- Corrêa, M. d. (1927). *A Ilha da Madeira. Impressões e Notas Archeologicas, Ruraes, Artisticas e Sociais*. Coimbra: Imprensa da Universidade.

- Couto, F. T., Salgado, R., & Costa, M. J. (2012). *Analysis of intense rainfall events on Madeira Island during the 2009/2010 winter*. Obtido de Natural Hazards and Earth System Sciences: <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/12/2225/2012/nhess-12-2225-2012.html>
- Cutter, S., Boruff, B., & Shirley, L. (Junho de 2003). Social Vulnerability to Environmental. *SOCIAL SCIENCE QUARTERLY*,.
- Dantas, M. G. (2011). *Rede Urbana e Desenvolvimento na Região Autónoma da Madeira*. policopiado.
- Ferrão, J. (2011). *O Ordenamento do Território como Política Pública*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Ferreira, A. B. (2002). Variabilidade climática e dinâmica geomorfológica. (A. P. Geomorfólogos, Ed.) *Contribuições para a Dinâmica Geomorfológica, I*, pp. 7 - 15.
- Ferreira, A. B. (2005). Formas de Relevo e Dinâmica Geomorfológica. In C. A. Medeiros, *Geografia de Portugal*. Mem Martins: Circulo dos Leitores.
- Ferreira, A. d. (1981). Manifestações Periglaciárias de Altitude na Ilha da Madeira. *Finisterra. Revista Portuguesa de Geografia, XVI*.
- Ferreira, A. d. (1984). Os ventos dominantes e a distribuição das chuvas na Ilha da Madeira. *Livro de Homenagem a Orlando Ribeiro* (pp. 231-243). Lisboa: Centro de Estudos Geográficos.
- Ferreira, A. d. (2006). Vulcanismo, paisagem e perigosidade nas ilhas da Madeira e dos Açores. *Dinâmicas geomorfológicas. Metodologias. Aplicação*. (p. 9 a 17). Funchal: Associação Portuguesa de Geomorfólogos.
- Ferreira, D. B. (2005). O Ambiente Climático. In C. A. Medeiros, *Geografia de Portugal*. Mem Martins: Circulo dos Leitores.
- Fragoso, M. H. (2008). *Climatologia das Precipitações Intensas no Sul de Portugal*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Fragoso, M., R.M.Trigo, J.G.Pinto, Lopes, A., Ulbrich, S., & Magro, C. (2012). *The 20 February 2010 Madeira flash-floods: synoptic analysis and extreme rainfall assessment*. Obtido de www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/12/715/2012/.
- Geldmacher, J. (2006). Origin and geochemical evolution of the Madeira-Tore Rise. *Journal of Geophysical Research*, III.
- Gomes, F. V. (2011). *Parecer ao Projecto das Intervenções nos Troços Terminais das Ribeiras de Santa Maria e de João Gomes*. Porto: Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil, FEUP.
- INE- Instituto Nacional de Estatística; DREM - Direção Regional de Estatística da Madeira. (s.d.). *Em foco, Censos 2011*. Obtido em 12 de Dezembro de 2012, de <http://estatistica.gov-madeira.pt>: [http://estatistica.gov-](http://estatistica.gov-madeira.pt)

madeira.pt/DRE_SRPC/EmFoco/Populacao_Sociedade/Demografia/Censos/provisorios/emfoco.pdf

Institute for Water Education, UNESCO-IHE. (s.d.). *Flood Vulnerability Indices (FVI)*. Obtido de <http://unescoihfvi.free.fr/vulnerability.php>

Instituto de Meteorologia, I. (Fevereiro de 2010). *Boletim Climatológico Mensal - Fevereiro de 2010*. Obtido em 21 de Junho de 2012, de <http://www.ipma.pt/>

Instituto Hidrográfico, M. d. (1995). *Roteiro da Costa de Portugal. Arquipélago da Madeira*. Lisboa: Instituto Hidrográfico.

Isabel Paiva, D. S. (s.d.). *Risco de Cheia, Vulnerabilidade e Vias de Mitigação. O Baixo Mondego e as Cheias de 2000/2001 Enquanto Estudo de Caso*. Coimbra.

IST;UMa;LREC. (2010). *Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira*. Relatório Base.

KarmaKar, S., Simonovic, S., Peck, A., & Black, J. (2 de Fevereiro de 2010). An Information System for Risk-Vulnerability. *Journal of Geographic Information System*, pp. 129-146.

Lencastre, A., & Franco, F. (2010). *Lições de Hidrologia*. Lisboa: Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

Loureiro, J. M. (2010). *A Água na Ilha da Madeira. Caracterizaçãp Hidrológica. As grandes aluviões 1600-2010*. Funchal: Electricidade da Madeira, EEM.

Mata, J. (1996). *Petrologia e Geoquímica as Lavas da Ilha da Madeira: implicações para os modelos de evolução do manto terrestre*. Lisboa: FCUL-Centro de Geologia.

Matos, V. S. (2012). *História num instante. Madeira 20 de Fevereiro de 2010*. Funchal: Nova Delphi.

Nettleton, M., Martin, s., S.Hencher, & R.Moore. (2012). *Debris Flow Types and Mechanisms*. Obtido em 12 de Setembro de 2012, de [www.scotland.gov.uk: www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/.../0015327.pdf](http://www.scotland.gov.uk/www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/.../0015327.pdf)

Oliveira, P. E. (2003). *Inundações na Cidade de Lisboa. Estudo de Hidrogeografia Urbana*. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos.

Paradela, P. L. (1980). Hidrogeologia geral das Ilhas Adjacentes. (D. G. Minas, Ed.) *Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, Tomo 66*.

Pereira, A. R. (2011). *Intempérie de 20 de Fevereiro/2010.Projeto de Intervenção nas Ribeiras de Santa Luzia e de João Gomes*. Parecer.

Pereira, E. (1989). *Ilhas de Zargo*. Funchal: Câmara Municipal do Funchal.

Pereira, M. J. (2011). *O evento de 20/02/2010 na Ilha da Madeira:Caracterização dos deslizamentos e da sua contribuição para o transporte de sedimentos*. Obtido em Janeiro de 2013, de

http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/20111216_mpereira_5117519274ef0a0c077ca3.pdf

- Pereira, M., & Ventura, J. (s.d.). As Áreas Inundáveis em Meio Urbano. A Abordagem dos Instrumentos de Planeamento Territorial. In A. P. Água (Ed.). Lisboa.
- Prada, S. (2000). *Geologia e Recursos Hídricos Subterrâneos da Ilha da Madeira, Tese de Douturamento*. Universidade de Coimbra.
- Quintal, R. (Julho/Setembro de 1999). Aluviões no Arquipélago da Madeira. *Revista Técnica e Formativa. Escola Nacional de Bombeiros*, p. 7 a 11.
- Quintal, R. (2007). *Quintas, Parques e Jardins do Funchal: estudo fitogeográfico*. Lisboa: Esfera de Caos.
- Quintal, R., & Policarpo, N. (2012). *Baía do Funchal. Dinâmicas Naturais e Antrópicas*. Lisboa: Esfera do Caos Editores.
- RAM. (1992). *Carta de Solos da Ilha da Madeira*. Lisboa: CEP,UTL, DRA.
- RAM. (Maio de 2000). *Plano Regional da Política de Ambiente. Relatório Base*. Obtido em 17 de Setembro de 2012, de <http://www.arem.pt/download/prpa/PRPA2.pdf>
- RAM. (2003). *PRAM - Plano Regional da Água da Madeira. Relatório técnico, versão para consulta pública*. [Acedido em Janeiro de 2011]: <http://pt.scribd.com/doc/23635490/PRAM-RelatorioTecnico>.
- RAM -SRES. (2011). *Projecto das Intervenções nos Troços Terminais das Ribeiras de Santat Luzia e João Gomes*.
- RAM, Direcção Regional do Ambiente. (2006). *Projecto CLIMAT_II. Impactos e Medidas de Adaptação às Alterações Climáticas no Arquipélago da Madeira*. Funchal: D.Santos e R.Aguiar (Editores).
- Ramos, C. (2005). Os Recursos Hídricos. In C. A. Medeiros, *Geografia de Portugal*. Circulo dos Leitores.
- Ramos, C. (2005). *Programa de Hidrogeografia*. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa.
- Ramos, C. (2009). *Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território*. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa.
- Rebello, F. (2003). *Riscos Naturais e Acção Antrópica. Estudos e Reflexões*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Ribeiro, O. (1985). *A ilha da Madeira até meados do século XX. Estudo geográfico*. Lisboa: Instituto de Cultura e Língua Portuguesa.
- Sebald, C. (2010). *Towards an Integrated Flood Vulnerability Index – A Flood Risk Assessment*. Obtido em Março de 2013, de

- http://www.academia.edu/713276/Towards_an_Integrated_Flood_Vulnerability_Index_A_Flood_Vulnerability_Assessment.
- Silva, F. A., & Menezes, C. A. (1985, FAC_Símile da edição de 1946). *Elucidário Madeirense* (1ª Edição - 1921 ed.). Funchal: DRAC.
- Silva, J. B. (23 de Agosto de 2010). *Aprender com a Natureza. Enxurradas e Inundações na Madeira*. Obtido de <http://geomuseu.ist.utl.pt>: <http://geomuseu.ist.utl.pt/MINGEO2010/Documentacao%20Complementar/Madeira%20ODN.pdf>
- Silva, J. B., Almeida, F., & Gomes, C. (s.d.). *Impacte Ambiental Provocado pela Construção Subterrânea na Baixa Citadina do Funchal*. Obtido em 24 de Janeiro de 2012, de <http://geomuseu.ist.utl.pt/>: http://geomuseu.ist.utl.pt/OG2009/Documentos%20Complementares/Congresso%20Geotecnia%20%28resumos%29/Congresso_Actas%20%28D%29/Volume%203/V3-09.pdf
- Smith, K. (2009). *Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster*. Devon, UK: Florence Protucion Lda.
- Tucci, C. (Junho de 2005). *Gestão das Inundações Urbanas*. Porto Alegre.
- Vasconcelos, T. (2008). *O Plano Ventura Terra e a Modernização do Funchal (Primeira Metade do Século XX)*. Funchal: Empresa Municipal "Funchal 500 anos".
- Ventura, J. E. (1987). As gotas de ar frio e regime de precipitação em Portugal. *Fenisterra*, XXII, 43, pp. 39-69.
- Ventura, J., Roxo, M., Esteves, L., & Agrela, J. (2010). As situações de aluviões no Funchal: uma análise a partir da comunicação social escrita. *Actas do 16º Congresso da APDR*.
- Ventura, J., Roxo, M., Esteves, L., & Agrela, J. (2010). Inundações em meio urbano. As dificuldades de implementação da legislação em vigor. *Actas do 5º Congresso Nacional de Ordenamento do Território*. Lisboa.
- Vieira, R. (1992). *A flora da Madeira. O interesse das plantas endémicas da Macaronésia*. Lisboa: Serviço Nacional de Parques, Reservas e Conservação da Natureza.
- Zêzere, J. L., Ramos, A. P., & Morgado, P. (2006). Perigos Naturais e Tecnológicos no Território de Portugal Continental. *Apontamentos de Geografia - Série Investigação*. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos.