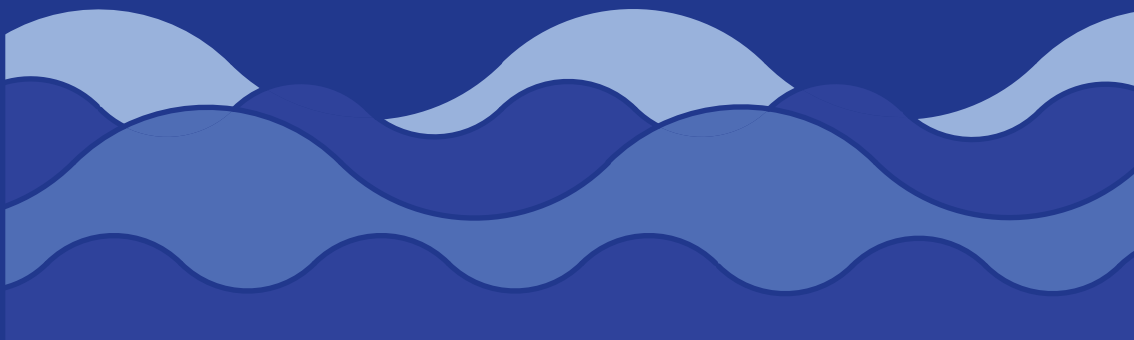




riscos hidrogeomorfológicos

impactos, vulnerabilidades e adaptação
às alterações climáticas



Índice

7	IMPACTOS E VULNERABILIDADES ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS
9	1. Introdução
13	2. O Contexto Pluviométrico Recente e Futuro
13	2.1. Metodologia
14	2.2. A Precipitação Anual e Estacional
19	2.3. A Precipitação Diária
25	3. Cheias e Aluviões
25	3.1. Histórico das Cheias e Aluviões na Ilha da Madeira
25	3.1.1. Metodologia
26	3.1.2. Resultados
28	3.2. Fatores e Caraterização das condições atuais
33	3.3. Impactos Futuros sobre as Cheias e Aluviões
37	4. Movimentos de Massa em Vertentes
38	4.1. Histórico dos Movimentos de Vertente na Ilha da Madeira
40	4.2. Fatores e Caraterização das condições atuais
44	4.3. Impactos Futuros sobre os Movimentos De Vertente
47	5. Impactos da subida do Nível Médio das Águas do Mar
47	5.1. Histórico dos Galgamentos Oceânicos na Ilha da Madeira
49	5.2. Caraterização das condições atuais e Impactos futuros
51	6. Referências bibliográficas
55	ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS
57	1. Introdução
59	2. Capacidade adaptativa: revisão das medidas de adaptação definidas em estudos anteriores
59	2.1. Cheias/aluviões
64	2.2. Movimentos de Massa em Vertentes
65	2.3. Galgamentos oceânicos
67	3. Identificação e distribuição espacial das medidas de adaptação consumadas ou em curso
67	3.1. Levantamento das ações realizadas, em curso ou planeadas

70	3.2. Ações identificadas e medidas de adaptação propostas: análise comparativa
71	3.2.1. Cheias/Aluviões
73	3.2.2. Movimentos de massa em vertentes
74	3.2.3. Galgamentos
77	4. Propostas para reforço da capacidade de adaptação
83	5. Referências bibliográficas

RISCOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS

impactos e vulnerabilidades
às alterações climáticas

AUTORES

Eusébio Reis, Raffaello Bergonse,
Eduardo Simões, Paulo Filipe

1. Introdução

O presente relatório tem como finalidade avaliar as condições que explicam a suscetibilidade da ilha da Madeira a diversos perigos naturais – cheias, movimentos de massa em vertentes e subida do nível médio das águas do mar –, com a finalidade de identificar e caracterizar, no contexto das alterações climáticas, os impactos nos sistemas naturais, com vista, em última análise, à identificação das principais vulnerabilidades na atividade e ocupação humanas.

Dado as suas características naturais e a especificidades na ocupação do território, a ilha da Madeira é particularmente vulnerável a diversos fenómenos naturais e, naturalmente, a alterações que possam induzir modificações nas condições dos sistemas. Torna-se, assim, necessário e premente promover a avaliação dos impactos provocados pelas alterações climáticas sobre esses fenómenos na Madeira, no sentido de propor as medidas de adaptação mais adequadas para minimizar os efeitos potenciais nefastos desta situação, caso se confirmem.

Neste contexto, o trabalho desenvolve-se com incidência em 3 fenómenos, enquadrados em 2 tarefas do presente projeto: avaliação dos impactos potenciais das alterações climáticas na ocorrência de cheias e na ocorrência de movimentos de vertente (deslizamentos e escoadas) (ambos incluídos na Tarefa 2.3.1); avaliação do impacto da subida do nível médio do mar nas cheias e inundações, nas áreas costeiras (incluído na Tarefa 2.3.2).

O presente estudo tem como objetivo atualizar os resultados obtidos anteriormente no contexto do projeto CLIMAAT II (Santos e Aguiar, 2006) e analisar o impacto das alterações climáticas sobre os fenómenos referidos, permitindo, no seu seguimento, prever as implicações sobre o território.

Todavia, o relatório do projeto CLIMAAT II é praticamente omissivo em relação à questão da avaliação dos fenómenos naturais perigosos (não há qualquer avaliação dos impactos potenciais das alterações climáticas na ocorrência de cheias e deslizamentos de terras e a referência à subida do nível do mar é muito ténue), pelo que, mais que uma atualização, o presente relatório consiste em um trabalho de base, assente nos dados disponíveis e nos trabalhos (técnicos e científicos) publicados em anos mais recentes.

Numa primeira fase, começou-se por uma revisão da literatura publicada acerca da incidência destes fenómenos na Região Autónoma da Madeira, a fim de estabelecer os seus fatores de controlo e distribuição espacial. Os resultados foram depois articulados com o conhecimento da evolução prevista para a precipitação na avaliação dos impactos potenciais que poderão ser esperados nas próximas décadas. De seguida, o conhecimento resultante da fase anterior foi aplicado aos fenómenos das cheias e dos deslizamentos de terras, bem como das inundações associadas à subida do nível médio das águas do mar.

Esta análise incidiu essencialmente sobre a ilha da Madeira; são feitas algumas referências à ilha do Porto Santo, quando as situações o justifiquem e a disponibilidade de informação o permita.

2. O Contexto Pluviométrico Recente e Futuro

2.1. Metodologia

Após a consideração do conjunto das variáveis atmosféricas modeladas no contexto do projeto, centrou-se a análise na precipitação, constituindo esta a única variável com uma relação direta face aos fenómenos de cheia e movimentos de massa em vertentes.

Na metodologia seguida, procedeu-se à análise da precipitação anual e estacional, utilizada como informação de enquadramento para a ilha da Madeira. De seguida, incidiu-se a análise na precipitação diária, tendo em conta a sua importância no desencadeamento de cheias e aluviões nas bacias hidrográficas, as quais devido às suas características e dimensão, possuem tempos de concentração de apenas algumas horas.

Neste contexto, foram analisadas as várias séries de valores de precipitação diária modeladas. Foram comparados os valores relativos ao período de controlo (1970-1999) e às previsões de curto, médio e longo prazo (correspondendo aos períodos 2010-39, 2040-69 e 2070-99) permitindo definir os padrões de evolução esperados para a precipitação diária ao longo das próximas décadas. Em ordem a validar e a garantir a consistência das séries modeladas, os resultados foram complementados com a análise de séries de valores de precipitação diária medidas em um conjunto de oito estações da rede meteorológica regional e estendendo-se em alguns casos por mais de 50 anos.

2.2. A Precipitação Anual e Estacional

Em ordem a caracterizar a evolução recente (i.e. nas últimas décadas) da precipitação na Região Autónoma da Madeira, começou-se pela análise da série de valores de precipitação anual modelada para o período 1970-1999, o período de 30 anos definido como controlo. Uma primeira análise, centrada nos quantitativos de precipitação anual (Figura 1) mostrou que não é possível definir ao longo destas três décadas uma tendência clara. Se por um lado parece haver uma tendência ténue de decréscimo dos totais anuais entre 1970 e 1992 (apesar dos valores muito elevados em 1978, 1979 e 1986), entre 1992 e 1999 a tendência é claramente ascendente, pelo que, no conjunto, constata-se mesmo uma pequena tendência para o aumento da precipitação anual.

Considerando depois a tendência evolutiva à escala mensal, incidiu-se nos três meses que, de acordo com a série de valores utilizada, apresentam, em média, precipitações mais abundantes: Janeiro (366,1 mm), Novembro (221,6 mm) e Dezembro (318,8 mm). Estes meses afiguram-se como particularmente relevantes, dado que os fenómenos naturais em que esta análise se centra relacionam-se diretamente com episódios ou períodos de precipitações relativamente abundantes.

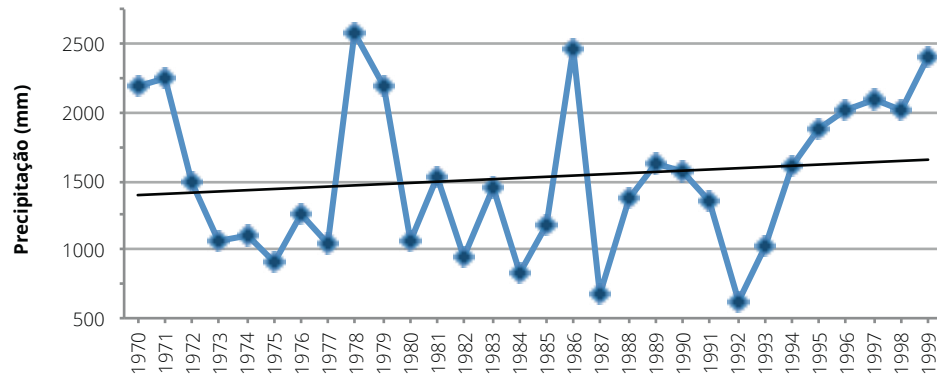


Figura 1 – Evolução da precipitação anual média (em mm) na ilha da Madeira modelada para o período de controlo (1970-1999).

A Figura 2 apresenta a evolução das séries de valores para os três meses ao longo do período de controlo. O seu comportamento segue, de forma muito próxima, o que já foi descrito para os valores anuais; no entanto, as séries referentes a Janeiro e a Novembro parecem não apresentar, no conjunto, qualquer tendência, enquanto em Dezembro a tendência geral é claramente de um aumento da precipitação, em particular devido ao facto dos dois anos com precipitação mais elevada ocorrerem na segunda metade da série.

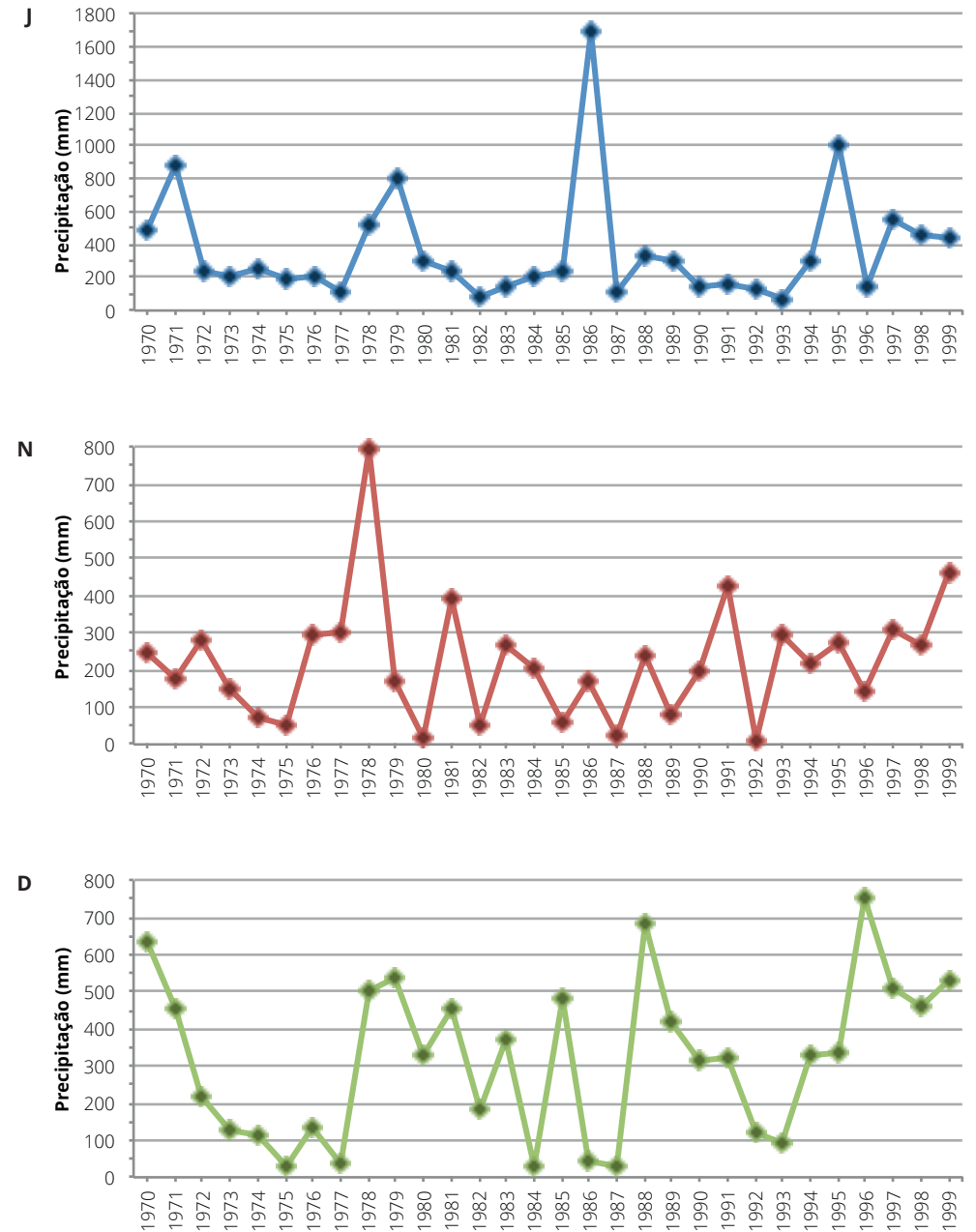


Figura 2 – Evolução da precipitação (em mm) em Janeiro (J), Novembro (N) e Dezembro (D) na ilha da Madeira, modelada para o período de controlo (1970-1999)..

Comparou-se depois o período de controlo com os três períodos futuros. A Figura 3 mostra, em síntese, a evolução esperada em termos de precipitação anual média para os dois cenários IPCC considerados (A2 e B2) e torna evidente que, ao longo das próximas décadas, se prevê uma redução progressiva dos valores médios de precipitação anual. Na Figura 4 são apresentados de forma sequencial os valores anuais previstos, evidenciando claramente a tendência decrescente e, adicionalmente, permitindo observar que não é possível prever qualquer tendência evolutiva quanto à irregularidade inter-anual.

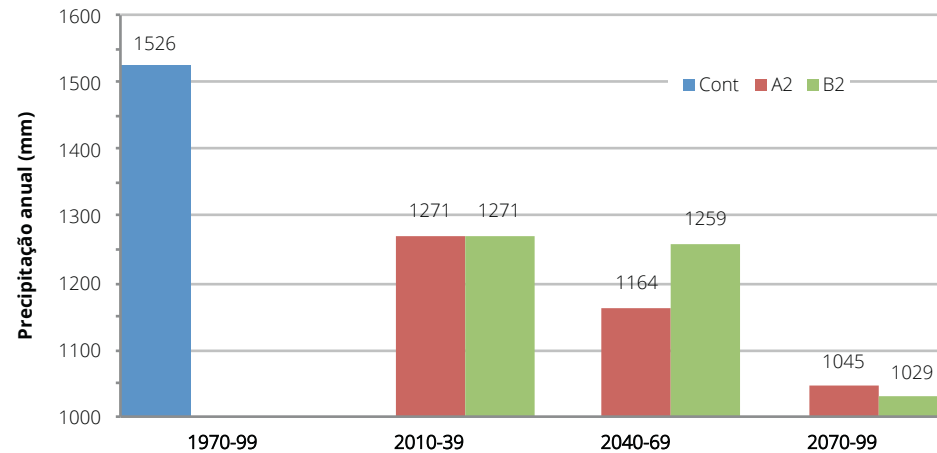


Figura 3 – Precipitação média anual (mm) para o período de controlo (Cont) e os três períodos futuros, de acordo com os dois cenários IPCC considerados (A2 e B2).

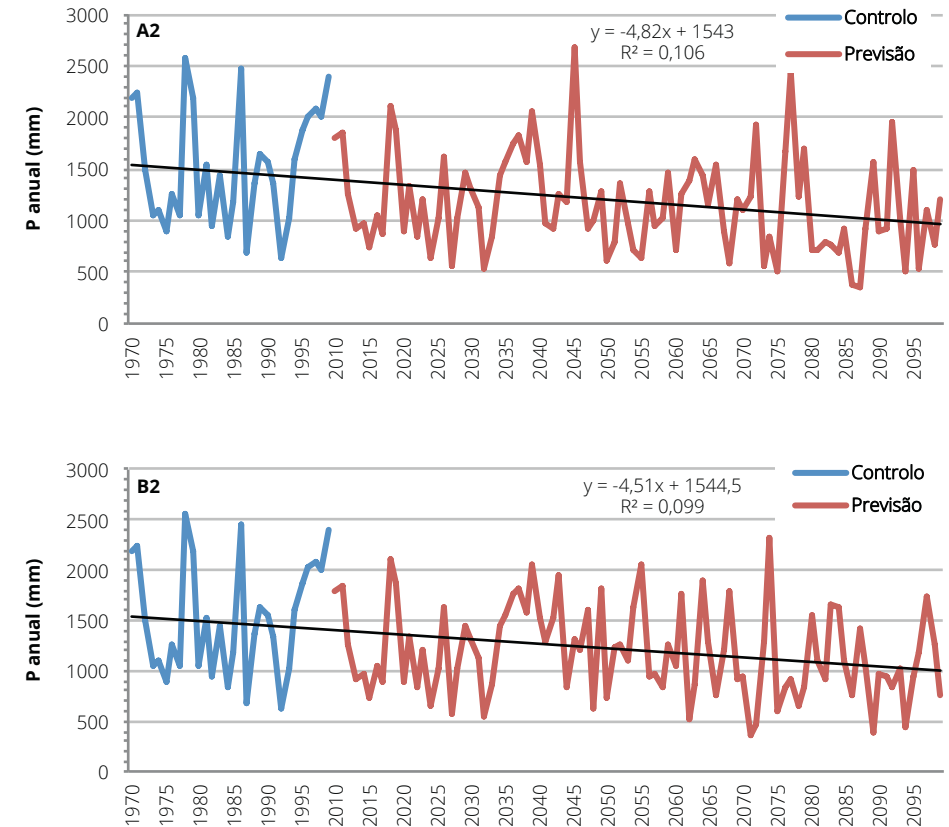


Figura 4 – Precipitação anual (mm) modelada para o período de controlo e os três períodos futuros, de acordo com os dois cenários IPCC considerados (A2 e B2).

Esta variação apresenta um padrão espacial claro, tal como é possível constatar quando se considera a diferença entre os valores médios anuais para o período de controlo e para os restantes períodos em relação a cada uma das células de 1 km em que o modelo atmosférico adotado estrutura o espaço da ilha. A Figura 5 apresenta esta variação em relação aos períodos de curto (2010-2039) e de longo prazo (2070-2099), tornando claro que as reduções mais significativas tenderão a ocorrer nos locais de maior altitude da ilha, onde os quantitativos anuais de precipitação são mais elevados.

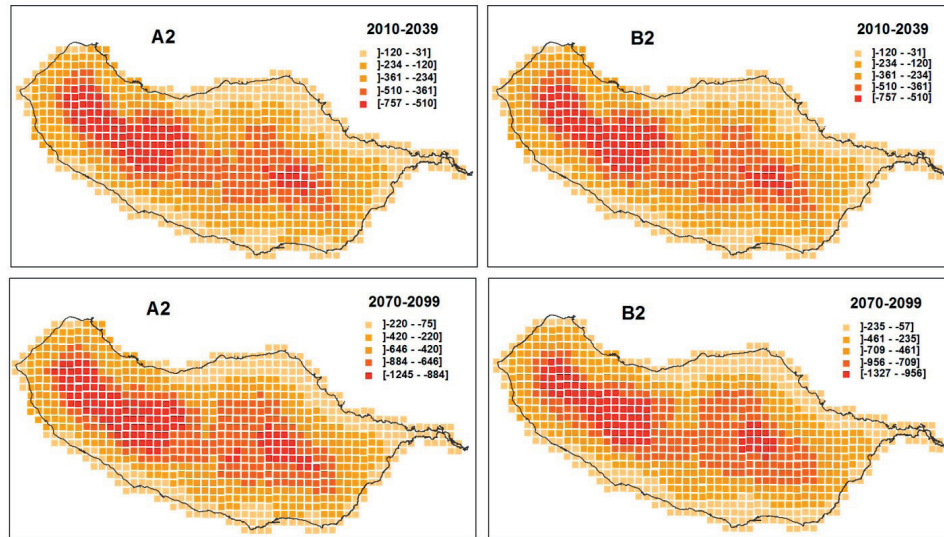


Figura 5 – Variação na precipitação anual média (mm) entre o período de controlo e os períodos de curto (2010-2039) e longo prazo (2070-2099) para os cenários A2 e B2.

2.3. A Precipitação Diária

Procurou-se depois focar a análise dos valores modelados nos dias de precipitações relativamente elevadas, assumindo-se, na indisponibilidade de dados sub-diários, que estes serão também aqueles dias em que ocorrem os episódios de maior intensidade. Na Figura 6 apresenta-se, para cada um dos cenários IPCC considerados e ao longo do período abrangido pelo projeto, a evolução do Percentil 90 da precipitação diária por ano, i.e. o valor de precipitação abaixo do qual estão 90% dos dias de cada ano. O decréscimo progressivo dos valores é evidente, mostrando que, até ao fim do século XXI, será de esperar que os dias com precipitações mais elevadas ocorram com frequência cada vez menor.

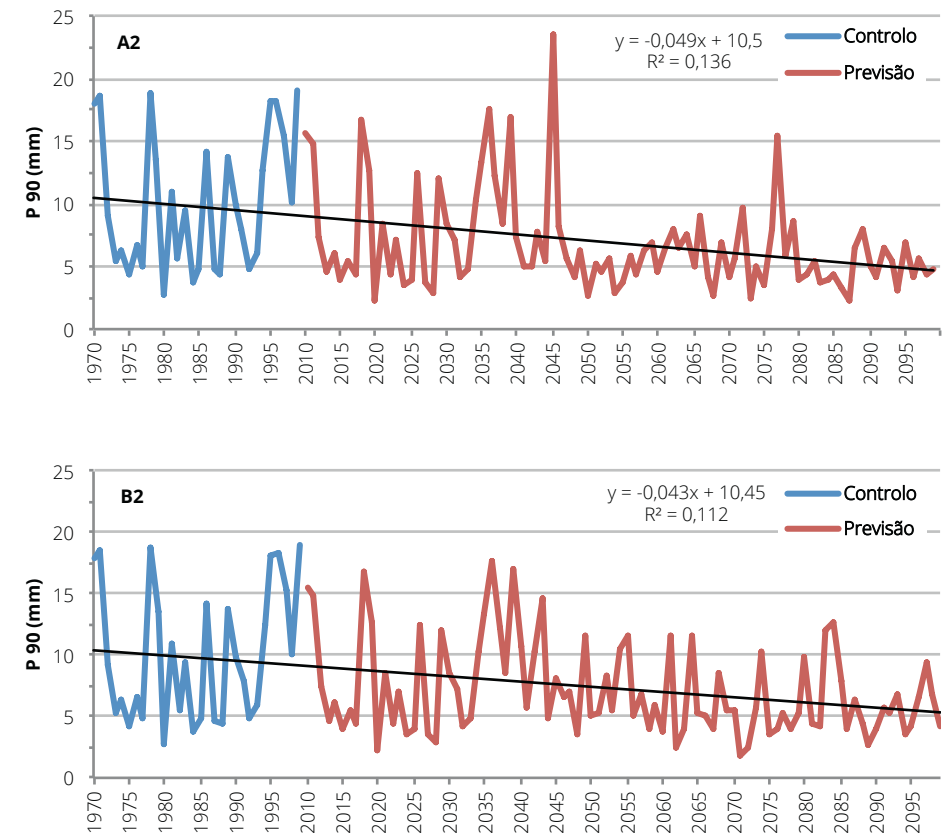


Figura 6 – Evolução do Percentil 90 da precipitação diária em cada ano para os quatro períodos considerados (Controlo: 1970-1999; Curto Prazo: 2010-2039; Médio Prazo: 2040-2069; Longo Prazo: 2070-2099), e para os dois cenários IPCC (A2 e B2).

A variação espacial dessa diminuição parece estar em consonância com a variação para os valores anuais, já descrita anteriormente (Figura 5), com alterações quase irrelevantes (em termos absolutos) na faixa costeira (< 4 mm), mas com diminuição importante (> 18 mm) nas áreas interiores de maior altitude da ilha da Madeira (Figura 7).

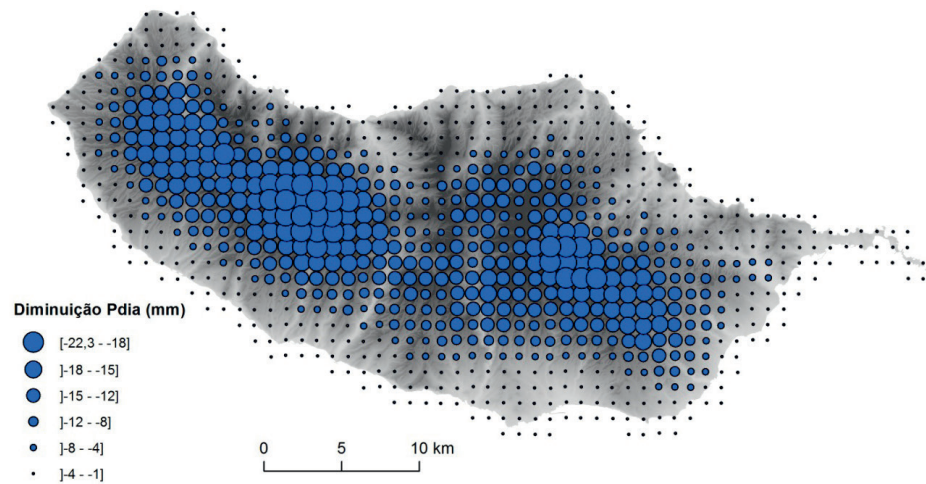


Figura 7 – Variação espacial do Percentil 90 da precipitação diária (mm) entre o período de controlo (1970 a 1999) e o período de médio prazo (2040-2069) para o cenário A2.

As análises realizadas até este ponto permitiram chegar a duas conclusões essenciais. Por um lado, os valores de precipitação anual, bem como os quantitativos mensais para os meses mais chuvosos, não evidenciam ao longo do período de controlo uma tendência clara. Por outro, há uma evidente tendência decrescente quando se consideram conjuntamente o período de controlo e os três períodos futuros, independentemente do cenário IPCC em causa. Dado este aparente contraste entre valores reais e previstos, e levando em conta a incerteza inerente à modelação de valores diários de precipitação (aumentando com a distância temporal entre os dados conhecidos e as previsões), considerou-se importante procurar validar em alguma medida a tendência decrescente de longo prazo encontrada. Para isso, recorreu-se a séries tão longas quanto possível de valores diários registados em um conjunto de estações meteorológicas da Região Autónoma da Madeira (identificadas no Quadro 1), com vista a aferir em que medida os dados reais estão em sintonia com a tendência decrescente detetada nos valores modelados.

Quadro 1 – O conjunto de estações meteorológicas utilizado e os períodos abrangidos pelas séries de valores diários.

ESTAÇÃO	LATITUDE (GRAUS)	LONGITUDE (GRAUS)	ALTITUDE (m)	PERÍODO ABRANGIDO	ENTIDADE RESPONSÁVEL
Sta. Catarina/Aeroporto	32,69	-16,78	49	1961-2013	IPMA
Funchal/Observatório	32,65	-16,89	58	1960-2013	
Porto Santo/Aeroporto	33,08	-16,35	78	1961-2013	
Bica da Cana	32,76	-17,06	1560	1961-2009	
Santana	32,81	-16,89	380	1960-2009	
Santo da Serra	32,73	-16,82	660	1970-2009	
Ponta do Sol/Lugar de Baixo	32,68	-17,09	40	1961-2001	
Areeiro	32,72	-16,92	1590	1961-1994	

As análises das séries, algumas abrangendo mais de cinquenta anos, mostraram invariavelmente um decréscimo claro dos valores do Percentil 90 da precipitação diária ao longo do tempo, confirmando a tendência acima descrita para os valores modelados. É também de salientar que a série de valores para a única estação na ilha de Porto Santo apresentou uma tendência idêntica, permitindo assumir a inexistência de contrastes entre tendências climáticas para diferentes ilhas. Dois exemplos são apresentados na Figura 8.

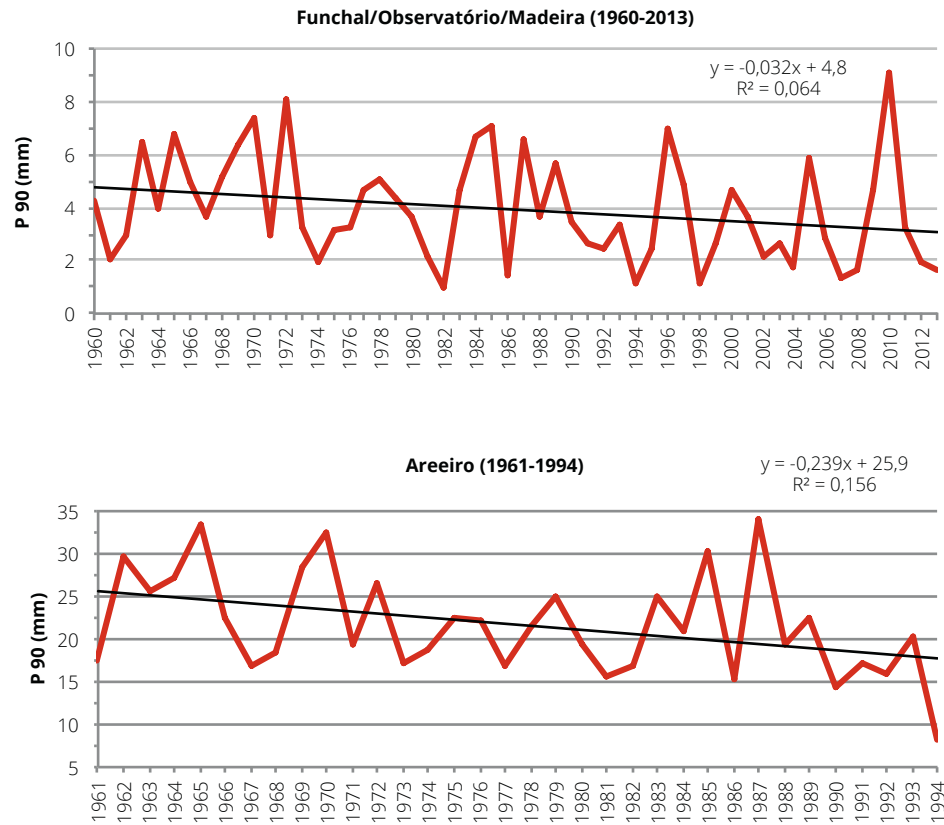


Figura 8 – Evolução do Percentil 90 da precipitação diária em cada ano para duas das séries analisadas, respetivamente com 54 e 34 anos. A tendência decrescente é clara.

Em conclusão, espera-se uma diminuição progressiva dos valores de precipitação anual ao longo das próximas décadas. Esta diminuição será mais marcada nos locais de altitude mais elevada, correspondendo aos setores mais a montante na rede hidrográfica, e terá expressão numa menor frequência de dias de precipitações abundantes.

3. Cheias e Aluviões

A ilha da Madeira possui, graças aos contextos orográfico e climático, uma propensão natural para a ocorrência de cheias rápidas (nas quais se incluem as “aluviões”). Bacias hidrográficas pequenas com declives acentuados originam tempos de concentração reduzidos, a que se juntam precipitações com elevada intensidade para originar com frequência elevados caudais de ponta de cheia (SRA/INAG, 2003: 82). Estas situações podem ser agravadas pelo rebentamento accidental de grandes condutas adutoras e pela obstrução accidental de canais de transporte de água (levadas), e são promovidas pela deficiente ação sistemática de desobstrução e limpeza dos leitos (Decreto Legislativo Regional nº38/2008/4, Diário da República nº16/2008, Série I, de 20/08/2008).

Ao longo dos pontos seguintes, efetua-se a caracterização da sua distribuição espacial e temporal com base nas ocorrências registadas (com uma breve referência ao montante de indemnizações), a caracterização da suscetibilidade e vulnerabilidade de acordo com as condições atuais e, na parte final, avaliam-se os possíveis impactos futuros das alterações climáticas sobre as cheias e aluviões.

3.1. Histórico das Cheias e Aluviões na Ilha da Madeira

3.1.1. Metodologia

Neste ponto procurou-se definir, com base em ocorrências registadas, a distribuição mensal das ocorrências de cheia, bem como a sua incidência espacial.

O levantamento de ocorrências registadas assentou na consulta de três fontes. Quintal (1999) centrou-se no fenómeno das aluviões, já definidas como cheias rápidas em que o fluxo adquire uma componente sólida muito significativa, incluindo detritos de grandes dimensões. Este autor refere 31 eventos, entre 9 de Outubro de 1803 e 6 de Março de 2001. Silva (2010) realizou um levantamento de episódios de cheias/aluviões, movimentos de vertente e situações de danos causados pela ondulação (entre outros fenómenos originadores de perdas) estendendo-se desde 1593 até à aluvião de 20 de Fevereiro de 2010. Finalmente, Fernandes (2009) realizou um levantamento histórico semelhante, abrangendo o período entre 1601 e Dezembro de 2008.

A análise destas fontes permitiu construir uma tabela de síntese para cada tipo de fenómeno (vd. Também 4.1 e 5.1), associando a cada evento referenciado a data de ocorrência e, sempre que possível, as áreas afetadas, adotando a freguesia como unidade espacial de referência. Nos casos em que a informação se revelou generalizada ao nível do município, assumiu-se uma referência a todas as freguesias desse município.

A título de exemplo, um evento de cheia referido como afetando as freguesias de Ribeira Brava e Serra de Água teria sido contabilizado como uma ocorrência a cada uma destas freguesias. Um evento referido como afetando sobretudo os concelhos de Ribeira Brava e Câmara de Lobos teria sido contabilizado como uma referência a cada uma das quatro freguesias do município da Ribeira Brava e das cinco freguesias do município de Câmara de Lobos.

A análise das tabelas assim construídas permitiu descrever a frequência característica das ocorrências ao longo dos meses do ano e, através da soma do número de referências associado a cada freguesia, estabelecer uma aproximação àquelas que tendem a ser mais afetadas pelos fenómenos aqui considerados.

É importante levar em conta as limitações de uma análise deste tipo. Por um lado, os eventos registados são tendencialmente os que afetaram áreas mais densamente habitadas. Como tal, se um elevado número de referências indica claramente uma incidência elevada do fenómeno considerado numa dada freguesia, a inexistência de muitas referências só indicaria o oposto de forma clara caso ambas as freguesias tivessem densidades populacionais equivalentes e distribuições da ocupação humana semelhantes.

Por outro lado, é necessário levar em conta a generalização espacial das referências aos eventos, por vezes referindo apenas os municípios mais afetados no contexto de determinadas condições meteorológicas. A interpretação destas situações como uma referência a cada uma das respetivas freguesias implica a assunção de que todas foram igualmente afetadas, o que evidentemente não é comprovável.

Finalmente, é importante referir a generalização relativa à própria natureza dos eventos considerados; neste caso, o fenómeno das cheias foi assim considerado juntamente com o das aluviões.

3.1.2. Resultados

Em relação aos resultados obtidos para as cheias/aluviões, no período 1601-2010 considerado, os eventos tenderam a concentrar-se no trimestre de Outubro a Dezembro, com respetivamente 25% e 23,3% das ocorrências concentradas nestes dois meses específicos (63% do total) (Figura 9).

A Figura 10 mostra a quantidade de ocorrências de cheias/aluviões registadas por freguesia, observando-se uma maior concentração no sul e leste da Ilha, que afetou sobretudo as freguesias do Funchal (com valores entre 25 e 26 ocorrências registadas para o período 1803-2010 considerado), Machico (valores entre 11 e 13 ocorrências) e a freguesia da Ribeira Brava (11 ocorrências). Não se encontrou qualquer ocorrência registada para as freguesias de Porto Moniz

e Ribeira da Janela. A ilha de Porto Santo (não representada no mapa por uma questão de escala) apresentou apenas duas ocorrências registadas (classe 1 a 5).

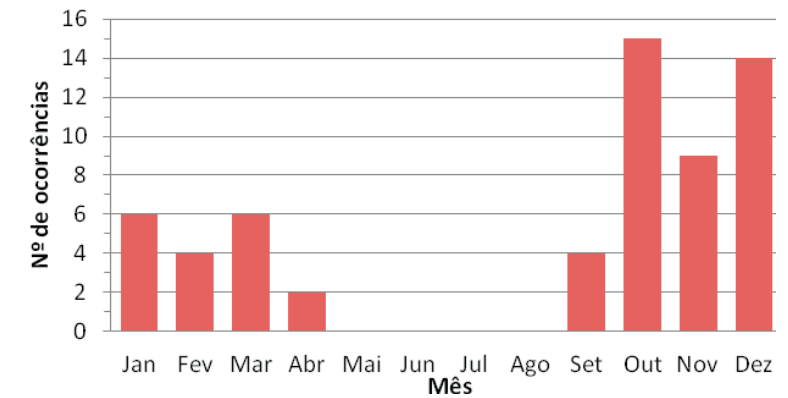


Figura 9 – Número de ocorrências de cheia referenciadas por mês (1601-2010).

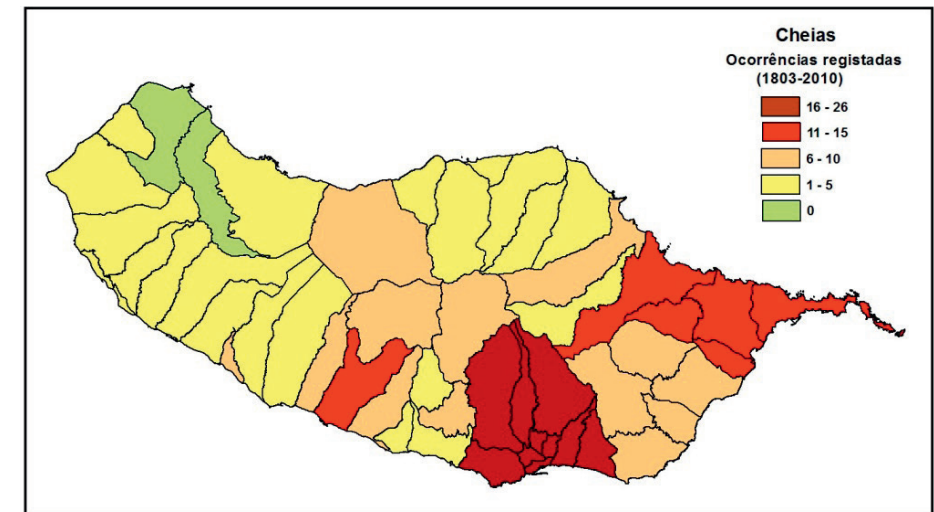


Figura 10 – Ocorrências de cheias registadas por freguesia (1803-2010).

De acordo com a Associação Portuguesa de Seguradores (APS, 2014), o total de indemnizações associadas a estes fenómenos, no período 2000 a 2011, correspondeu a 7.454.872 euros, dos quais 98,7% pertencem aos anos mais recentes, de 2008 a 2011 (Figura 11).

De realçar o ano 2010 (essencialmente ligado ao evento de fevereiro), que foi responsável por 94,6% (7052757 euros) do valor das indemnizações do período 2000 a 2011.

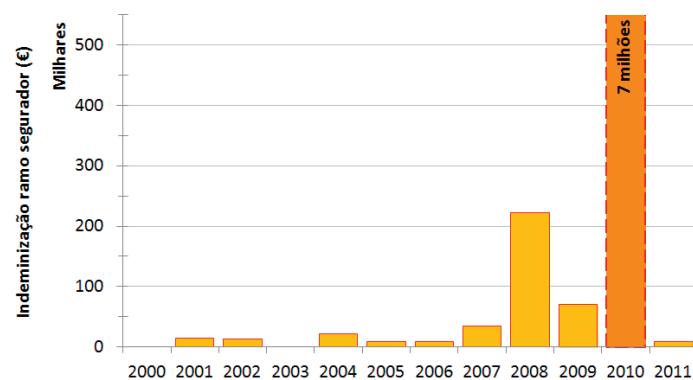


Figura 11 – Indemnizações no ramo segurador associadas a cheias e aluviões, na R. A. da Madeira, para o período 2000 a 2011 (APS, 2014).

3.2. Fatores e Caracterização das condições atuais

A incidência de cheias rápidas caracteriza a ilha da Madeira em geral, afetando os troços terminais das principais ribeiras e ocorrendo com maior frequência nos setores Sul e Sudoeste da ilha. O Plano Regional da Água da Madeira (PRAM) (SRA/INAG, 2003) identifica os locais afetados com maior frequência, referindo a baixa do Funchal (ribeiras de Santa Luzia e de João Gomes), a Ribeira Brava, as ribeiras da Madalena e dos Socorridos, o Machico e Santa Cruz (na vertente Sul) e as ribeiras de S. Vicente, Seca, da Metade e de Maçapez (na vertente Norte) (op.cit.: 84). A ilha de Porto Santo (em particular, a cidade) é também afetada por cheias, embora com menor relevância.

O mesmo PRAM, no respetivo Anexo Cartográfico (p. 65 e 66) identifica os “leitos de enxurrada” e as “áreas com risco de inundação”, assim como a sua frequência classificada, baseados em Quintal (1999) e Pereira (1989). Em relação aos primeiros, são identificados 7 troços de cursos de água com aquelas características, a saber: os setores jusante das ribeiras da Janela, da Madalena, dos Socorridos, da Metade/Faial, de S. Jorge e de S. Vicente; e o setor intermédio da ribeira do Seixal. Em relação às áreas afetadas por inundações, são identificados 32 locais correspondentes a cerca de 90 ocorrências; destes registos destaca-se o facto da grande maioria se situar ao longo da parte sul da ilha da Madeira, entre a Calheta e Machico (27 locais), e estarem bastante próximo da desembocadura dos respetivos cursos de água (cerca de 2/3 dos locais e de 4/5 das ocorrências).

Pelo que se percebe pelo parágrafo anterior, em paralelo com a propensão para a ocorrência de caudais elevados, os vales encaixados que caracterizam a rede hidrográfica da Madeira constroem a disponibilidade de áreas planas adequadas à expansão urbana ou industrial. A ocupação

humana tendeu, por conseguinte, a privilegiar ao longo do tempo os setores terminais (cones de dejeção) das ribeiras, expostos a perigos significativos, sendo este o caso das principais localidades e áreas urbanas consolidadas da ilha (IST/UM/LREC, 2010: 8).

Em contraste com as cheias que normalmente afetam o restante do território nacional, este fenómeno distingue-se com frequência na Madeira pela importância da componente sólida do escoamento. Ao ser acompanhada pela ocorrência de movimentos de vertente tipo escoada e pela mobilização de materiais disponíveis nas vertentes e leitos das ribeiras, a subida rápida dos caudais origina escoamentos mistos água-sólido com concentrações de detritos de grandes dimensões, que podem constituir 80% do fluxo em movimento. Estas escoadas, regionalmente designadas como *aluviões*, têm um historial registado de danos e vítimas mortais na ilha que recua pelo menos ao ano de 1803 (e.g. IST/UM/LREC, 2010: 6; Quintal e Policarpo, 2012: 58).

O transporte sólido resultante da erosão hídrica, que afeta vastas áreas na Madeira (SRA/INAG, 2003: 198), constitui um importante fator condicionante das cheias e aluviões (para mais informações sobre este assunto, ver o ponto 4). Este condicionamento ocorre, por um lado, através do assoreamento de sectores pouco declivosos dos leitos das ribeiras, provocando estrangulamentos nas linhas de água. Por outro, através da criação dos já referidos depósitos facilmente mobilizáveis pelo escoamento. O estudo detalhado que foi dedicado ao risco de aluviões na ilha da Madeira na sequência do grave evento de 20 de Fevereiro de 2010 (responsável por dezenas de vítimas mortais e elevados danos materiais) indicou que diferentes tipos de depósitos (aluvionares, de cobertura, de vertente e de aterro) constituíram a maioria do material mobilizado durante o evento referido, e constituem a maior fonte de material a ser mobilizado em eventos futuros (IST/UM/LREC, 2010: 15). Neste contexto, e para além dos fatores por detrás do comportamento hidrológico das bacias (morfometria, topografia, litologia, tipo de solos, vegetação, contexto climático, ação humana) os fatores de controlo da erosão hídrica e da destabilização dos materiais nas vertentes constituem-se como fatores adicionais de controlo (indireto) sobre a ocorrência de cheias/aluviões.

No caso da erosão hídrica, salientam-se os acentuados declives e a erodibilidade dos solos, bem como a deflorestação e a recessão da atividade agrícola, associada à degradação de estruturas de contenção dos solos (*poios*) construídas ao longo de séculos (SRA/INAG, 2003: 198). É aqui de salientar que o PRAM salienta a pastorícia excessiva em algumas zonas e a ocorrência de incêndios florestais como fatores causadores de diminuição da capacidade de infiltração nos sectores de cabeceira das bacias hidrográficas, e consequentemente da aceleração das pontas de cheia (SRA/INAG, 2003: 125).

Face à inexistência de cartografia de áreas inundáveis para a totalidade da Ilha, utilizou-se uma abordagem relativamente expedita à distribuição espacial da suscetibilidade à ocorrência de cheias. O modelo utilizado (Figura 12) encontra-se descrito em Reis (2011).

O objetivo da utilização deste modelo não foi, neste caso, identificar de forma exaustiva as áreas inundáveis (o último passo do modelo não foi considerado), nem tampouco todos os troços da

rede hidrográfica que podem originar cheias, mas apenas realçar os troços dos cursos de água que, segundo esta abordagem, apresentaram maiores valores do índice de susceptibilidade.

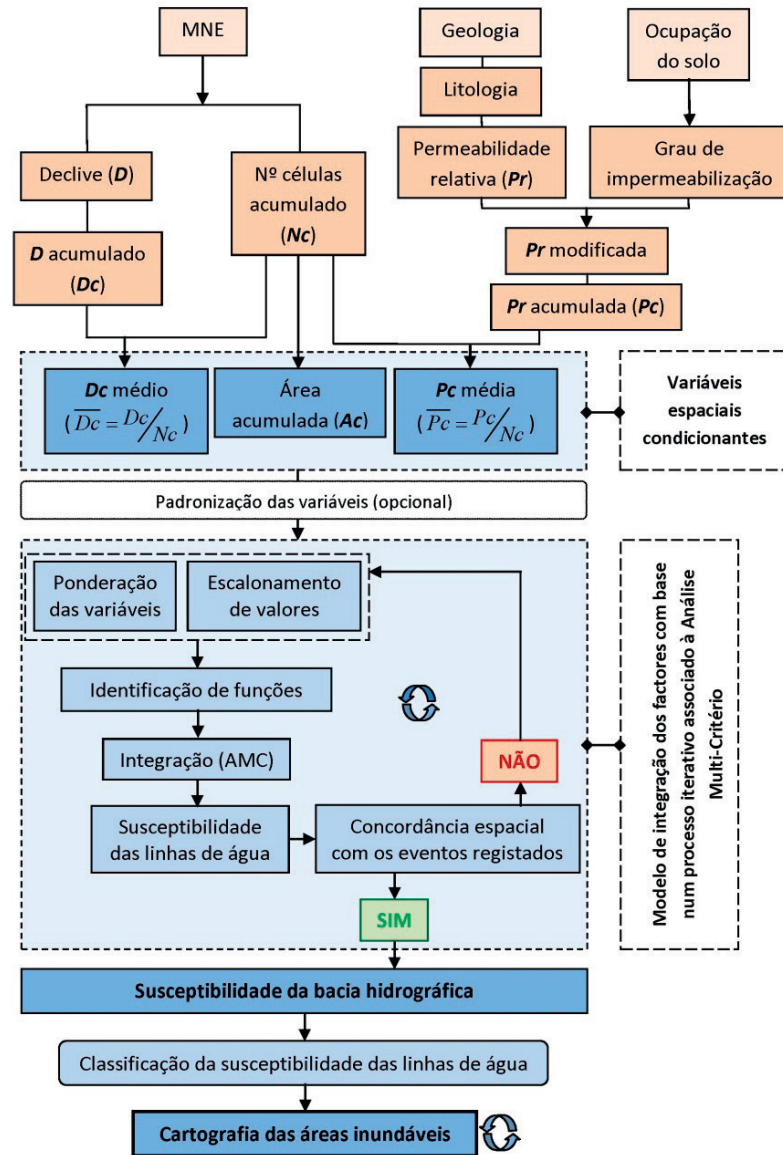


Figura 12 – Modelo de avaliação da susceptibilidade à ocorrência de cheias na ilha da Madeira (extraído de Reis, 2011: 5).

Os resultados da aplicação do modelo, de acordo com os critérios definidos, estão presentes na Figura 13. Como seria de esperar, não há uma correspondência total entre os resultados do modelo e as freguesias mais afetadas por cheias (ver ponto 3.1.2; Figura 10). De facto, a ribeira da Janela, na parte noroeste da Ilha, apesar da susceptibilidade muito elevada do seu troço jusante, escoa pelas duas únicas freguesias em que não foram encontrados registos de ocorrências de cheias; pelo contrário, na parte sul, na área do Funchal, as ribeiras de São João, Santa Luzia e de João Gomes, embora com susceptibilidade moderada e enquadradas em bacias hidrográficas de pequena dimensão, têm sido responsáveis por grande parte das ocorrências registadas na ilha da Madeira. Este contraste explica-se, como é óbvio, pelo facto da ribeira da Janela atravessar áreas com ocupação humana pouco densa e situada, quase sempre, fora do leito de inundação (embora a susceptibilidade seja elevada, a falta de elementos expostos leva à falta de registos), enquanto em grande parte da faixa litoral sul, com ocupação humana muito mais densa, acontece exatamente o contrário.

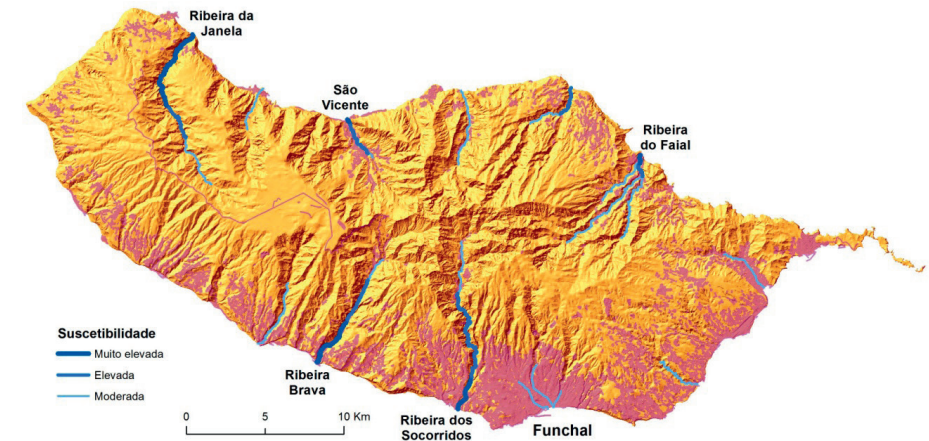


Figura 13 – Suscetibilidade à ocorrência de cheias na ilha da Madeira (apenas estão identificados os troços da rede hidrográfica com susceptibilidade mais elevada); as manchas a violeta representam todas as áreas construídas de acordo com a COS 2007.

Esta situação põe em evidência a importância das questões ligadas ao ordenamento do território, como forma de diminuir o risco associado às cheias, mas também a necessidade de conhecer, previamente, as condições que explicam o funcionamento dos sistemas fluviais, de forma a evitar novas ocupações desajustadas.

Neste sentido, a gestão do risco de cheia na Madeira é complicada por lacunas importantes ao nível da informação. Conforme salientado no Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Arquipélago da Madeira (PGRHAM) (NEMUS/HIDROMOD, 2014: 1068), estas lacunas têm expressão na reduzida densidade da rede hidrométrica (concentrada na vertente norte da ilha da Madeira e

inexistente em Porto Santo) e na reduzida extensão das séries de dados históricas (a maioria das estações tem menos de 5 anos de dados). Ao nível da climatologia, as lacunas prendem-se com a reduzida densidade das três redes existentes, sob gestão da IGA (Investimentos e Gestão da Água, S.A.), do Instituto Português do Mar e da Atmosfera e do Laboratório Regional de Engenharia Civil, face à complexidade topográfica da ilha. Acresce o facto de, no que concerne à precipitação, as estações medirem apenas totais diários, constituindo exceção a estação do Funchal (da responsabilidade do IPMA). Esta limitação adquire relevância considerando que a maioria das precipitações intensas na Madeira se concentra em períodos relativamente curtos: os autores do Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira basearam-se em dados horários da estação do Funchal para constatar que, quase independentemente do período de retorno, as precipitações máximas em 1, 3 e 6 horas representam cerca de 40, 60 e 75% da respetiva precipitação diária (IST/UM/LREC, 2010: 52).

O PRAM salienta adicionalmente a inexistência de uma rede sedimentológica que possibilite obter conhecimentos relevantes sobre o transporte sólido associado às cheias e ao fenómeno da erosão hídrica (SRA/INAG, 2003: 199). Ao mesmo tempo, sublinha o desconhecimento da situação em termos de estrangulamento dos cursos de água, cujas consequências se fazem sentir no agravamento das situações de inundações (op.cit.: 87, 197). Também no contexto da erosão hídrica, o Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Arquipélago da Madeira (NEMUS/HIDROMOD, 2014: 1068) refere as limitações dos dados existentes sobre as propriedades físicas dos solos da ilha (textura e profundidade).

Em suma, as atuais limitações ao nível das redes de monitorização fazem com que não haja informação de base (meteorológica, hidrométrica, sedimentológica) que permita modelar e prever convenientemente os processos relacionados com o escoamento fluvial e os seus efeitos (SRA/INAG, 2003: 120). De acordo com estas condicionantes, as abordagens passadas ao estudo das cheias na madeira têm assentado em grande parte no cálculo de caudais de ponta de cheia com determinados períodos de retorno anos para diferentes bacias, a partir de dados de precipitação (op.cit.: 82; Faria e Godinho, 1983). O estudo realizado na sequência do evento de 20 de Fevereiro de 2010 incluiu esta abordagem em ordem a estimar os caudais de ponta atingidos a partir do conhecimento dos tempos de concentração e da intensidade das precipitações registadas (IST/UM/LREC, 2010: 85).

3.3. Impactos Futuros sobre as Cheias e Aluviões

A articulação da evolução prevista para as próximas décadas em termos pluviométricos (2.2 e 2.3) com o enquadramento relativo ao fenómeno das cheias (3.1 e 3.2) torna claro que, considerando apenas a precipitação como fator, os impactos a esperar não são no sentido do agravamento do fenómeno. Uma diminuição dos valores diários mais elevados atingidos e da frequência dos dias com precipitações elevadas implica, se considerados constantes os restantes fatores, uma diminuição da frequência dos episódios de cheia/aluviões.

É importante ter presente que as cheias na Região Autónoma da Madeira estão normalmente associadas a episódios de precipitação intensa em períodos de apenas algumas horas. Importa portanto explicitar que as considerações aqui tecidas, com base em valores diários, implicam a assunção de que uma diminuição futura da frequência de dias com precipitações elevadas implica uma diminuição da frequência de episódios sub-diários com precipitações elevadas (eventualmente, na proporção definida para a estação do Funchal, no estudo de IST/UM/LREC, 2010, referido no ponto anterior). Esta assunção torna-se necessária pelo facto de os modelos climáticos atuais não permitirem obter resultados fiáveis para durações inferiores ao dia (cf. Santos e Aguiar, 2006: 49), e, mesmo para períodos diários, oferecerem ainda bastantes dúvidas.

Ao mesmo tempo, porém, é fundamental considerar que, embora menos frequentes, os episódios de precipitação elevada continuarão a ocorrer. Importa, portanto, manter a ênfase na aquisição de informação já antes salientada em instrumentos de planeamento territorial, seja na forma de dados hidrométricos, climáticos e sedimentológicos, seja através da monitorização dos estrangulamentos nos leitos fluviais (SRA/INAG, 2003: 197, 200).

Em segundo lugar, importa considerar que uma menor frequência de eventos de precipitação elevada implica potencialmente uma acumulação superior de depósitos nas vertentes e nos leitos fluviais, podendo fazer com que as cheias/aluviões que efetivamente venham a ocorrer aquando dessas precipitações adquiram uma severidade aumentada, não só pela quantidade de material disponível como pelo efeito de estrangulamento dos leitos. A evolução futura da erosão do solo poderá também ter um papel relevante neste contexto.

Em terceiro lugar, é importante ter presente que, embora se espere uma menor frequência dos eventos de cheia, os sectores terminais das ribeiras continuarão a ser, por natureza, locais de elevada suscetibilidade. É fundamental que este facto continue a ser levado em conta no planeamento dos usos a atribuir a estas áreas.

Finalmente, importa considerar que, tal como ficou implícito no enquadramento sintético das cheias realizado em 2.2., este fenómeno é influenciado pelo coberto vegetal, sobretudo através do seu efeito sobre os movimentos de massa associados às aluviões. A evolução futura dos setores florestal e agrícola poderá, portanto, contrariar a ocorrência do fenómeno (aumentando a área florestada ou coberta por vegetação densa) ou promovê-la (diminuindo a área florestada e aumentando as áreas de reduzido coberto vegetal). A evolução futura da frequência e

intensidade dos incêndios florestais é também um fator a ter em conta neste contexto, dada a sua capacidade para alterar de forma drástica o coberto vegetal em áreas extensas.

Em resumo, como afirmam Santos e Aguiar (2006), não é possível concluir sobre uma tendência acerca da perigosidade das cheias, pois os modelos climáticos subestimam os valores elevados de precipitação em curtos períodos de tempo (horários, por exemplo). Por outro lado, é esperado um aumento das cheias e movimentos de vertente na ilha da Madeira, mais ligados à atividade humana do que a fatores naturais (Baioni, 2011).

Deste modo, revela-se fundamental uma articulação permanente, em contexto de bacia hidrográfica, entre diversos setores de atividade: ações ou acontecimentos que possam induzir modificações no sistema, quer ao nível da impermeabilização quer ao nível da disponibilidade de sedimentos para os cursos de água (alterações de uso do solo, incêndios, etc.), devem levar a uma reavaliação imediata das condições de escoamento fluvial, com vista a salvaguardar os setores mais suscetíveis a aluviões.

Neste sentido, a na sequência do já referido anteriormente (2.3), torna-se justificável (e, em alguns casos, até premente) a implementação de sistemas de alerta, que incorporem estações pluviométricas (e, adicionalmente, quando se justifique, estações hidrométricas), com base nas quais as entidades responsáveis possam acompanhar a situação em tempo real nas situações que possam envolver maior risco para as populações.

Para além disso, tendo em conta as condições da dinâmica fluvial na maior parte das bacias hidrográficas da ilha da Madeira, assim como as características de ocupação do território, e na impossibilidade prática de proceder à realocação de pessoas e infraestruturas, justificam-se intervenções pesadas nos setores montante e intermédio das bacias hidrográficas mais perigosas e que envolvem maior risco para as populações. Estas intervenções têm como objetivo a retenção de material sólido de diferentes dimensões, impedindo-o de alcançar os setores jusante das bacias hidrográficas, tal como já está previsto para as obras de reabilitação e regularização das três principais ribeiras do Funchal (Ribeira de João Gomes, Ribeira de Santa Luzia e Ribeira de São João), da responsabilidade da Secretaria Regional do Equipamento Social, através da Direção Regional de Infraestruturas e Equipamentos.

A construção destas infraestruturas (açudes, barreiras fendidas, muros de proteção, etc.), desde que devidamente localizados e dimensionados, terão, certamente, um papel importante na diminuição das vulnerabilidades.

4. Movimentos de Massa em Vertentes

Tal como em relação às cheias rápidas, a ilha da Madeira possui uma propensão natural para a ocorrência de movimentos de massa em vertentes.

Os movimentos de vertente que afetam o território madeirense dividem-se por cinco tipologias essenciais (NEMUS/HIDROMOD, 2014: 45). De acordo com a terminologia proposta pela UNESCO (WPWLI, 1993), estas são:

- › Desabamentos, bastante comuns e distribuindo-se em geral por toda a ilha; ocorrem com mais expressão sobretudo nas arribas costeiras (correspondendo às *quebradas* na terminologia regional), ou ao longo dos vales mais encaixados;
- › Tombamentos, associados em grande parte a áreas de desenvolvimentos de escoadas vulcânicas com disjunção prismática bem desenvolvida (com particular expressão no Paúl da Serra);
- › Deslizamentos, ocorrendo ao longo dos vales e na faixa costeira, podendo ser de grandes dimensões;
- › Escoadas, que adquirem particular magnitude e incidência na ilha da Madeira, ocorrendo sobretudo em associação a períodos intensos de precipitação.

Estes movimentos assumem, na sua maioria, importância a dois níveis: por um lado, pelo impacto potencialmente danoso que provocam no local de ocorrência; por outro, pelo contributo fundamental que têm na produção de material sólido, de diversas dimensões, que chega aos fundos de vale e alimenta os caudais durante os períodos de precipitações intensas. Neste último nível, as escoadas constituem em grande parte a componente sólida dos eventos de escoamento extraordinário designados “aluviões”, e considerados no contexto das cheias no capítulo anterior. Assim, esta análise centra-se neste tipo de movimentos e nos deslizamentos, distinguindo tipologias sempre que os trabalhos citados o permitam.

Ao longo dos pontos seguintes, efetua-se a caracterização da sua distribuição espacial e temporal com base nas ocorrências registadas, a caracterização da suscetibilidade e vulnerabilidade de

acordo com as condições atuais e, na parte final, avaliam-se os possíveis impactos futuros das alterações climáticas sobre os deslizamentos e as escoadas.

4.1. Histórico dos Movimentos de Vertente na Ilha da Madeira

A metodologia utilizada para o conhecimento das ocorrências registadas de movimentos de vertente, com vista ao conhecimento da sua distribuição mensal e da sua incidência espacial, seguiu o que já foi descrito para o caso das cheias/aluviões (ver 3.1.1), tendo por base duas das três fontes referidas (Silva, 2010; Fernandes, 2009).

Todavia, numerosos movimentos de vertente estiveram associados a troços de estrada e não a povoações ou lugares facilmente referenciáveis a uma freguesia, pelo que não foram considerados. A inclusão destes eventos no levantamento realizado implicaria uma investigação mais aprofundada do local específico da ocorrência, com recurso a fontes documentais (e.g. jornais), registos das associações de bombeiros e/ou do Serviço Regional de Proteção Civil, que ultrapassa o objetivo relativamente generalizado da presente análise. Assumiu-se, portanto, que a sua inclusão não alteraria significativamente os padrões espaciais e temporais encontrados, mas apenas a sua frequência.

É de referir, ainda, que a generalização relativa à própria natureza dos eventos considerados levou a que as diferentes tipologias de movimentos de massa (e.g. escoadas, deslizamentos, desabamentos) fossem consideradas conjuntamente, não sendo possível, na maioria dos casos, fazer a sua distinção.

Quando comparados com as cheias, os registos de movimentos de vertente apresentam uma distribuição mais dispersa ao longo do ano (Figura 14), com uma clara concentração no semestre de Outubro a Março (74% dos eventos registados), mas com ocorrências em todos os meses.

Do ponto de vista geográfico, os movimentos de vertente mostram uma concentração mais marcada no setor sul da ilha da Madeira (Figura 15), afetando sobretudo as freguesias dos municípios do Funchal, Câmara de Lobos e Ribeira Brava, embora com exceções (freguesia do Campanário, município da Ribeira Brava). Salientam-se também as freguesias do Porto da Cruz (Machico) e Camacha (Santa Cruz), ambas com 11 ocorrências registadas. Não se encontrou qualquer registo relativo a Porto Santo.

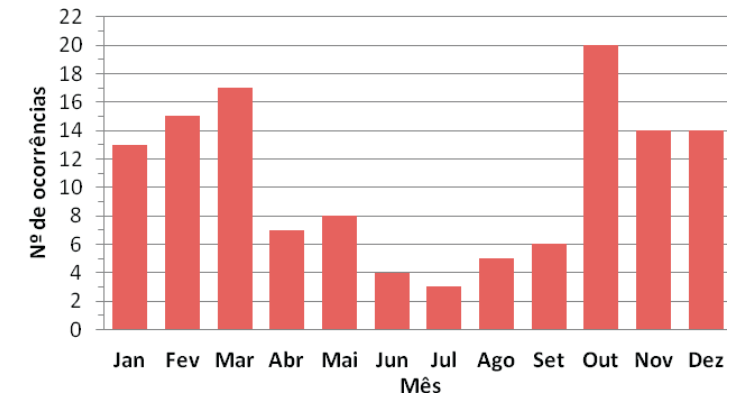


Figura 14 – Número de ocorrências de movimentos de vertente referenciadas por mês (1856-2010).

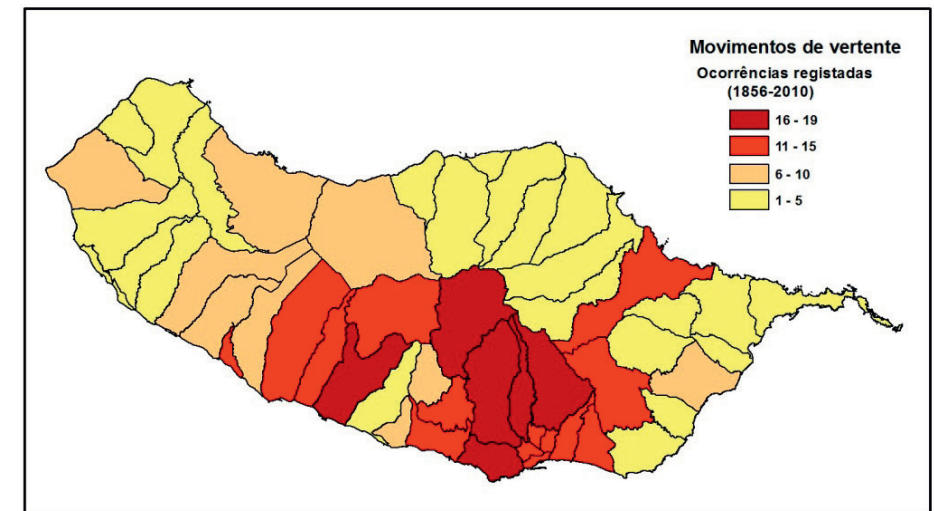


Figura 15 – Ocorrências de movimentos de vertente registadas por freguesia (1856-2010).

4.2. Fatores e Caracterização das condições atuais

Na consideração dos fatores associados à ocorrência de movimentos de massa, importa desde o início definir dois grupos: fatores condicionantes, que definem o grau de predisposição do material para a instabilidade; e fatores desencadeantes, efetivamente despoletando o movimento. Conforme Julião *et al.* (2009: 64), os movimentos de vertente em Portugal são geralmente desencadeados pela precipitação, por sismos ou por redefinição topográfica. É assim evidente que, num contexto de alterações climáticas, a precipitação será o parâmetro a ter em conta.

No que diz respeito aos fatores condicionantes, salientam-se a litologia, as formações superficiais, o declive, a exposição e a curvatura das vertentes, e a natureza do coberto vegetal/uso do solo (op.cit.: 64). No contexto específico da Madeira, o Plano Regional da Água (SRA/INAG, 2003: 88) salienta como fatores a litologia, práticas agrícolas pouco adequadas, o abandono dos campos, pastorícia excessiva em algumas zonas e incêndios florestais. É notória a importância dada implicitamente ao coberto vegetal/uso do solo, salientando o seu controlo sobre o teor em água das formações sub-superficiais e o efeito das raízes sobre a sua resistência mecânica. Ao mesmo tempo, o Plano refere como único fator desencadeante a ocorrência de precipitações intensas.

O Plano de Gestão da Região Hidrográfica da Madeira (NEMUS/HIDROMOD, 2014: 44) salienta como fatores condicionantes a litologia (incluindo a alternância de formações com diferentes resistências, fracturação e espessura), os declives significativos e a atividade humana. Presumivelmente, este último fator engloba as intervenções nas vertentes (e.g. construção de vias de comunicação, desaterros) e os usos do solo. Como fator desencadeante, é novamente salientada a precipitação, ocorrendo de forma intensa em períodos curtos.

No Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira (IST/UM/LREC, 2010: 100) foi realizado um levantamento, através da interpretação de imagens de satélite e ortofotomapas, dos deslizamentos em várias bacias dos concelhos do Funchal (Ribeira de João Gomes, Ribeira de Sta. Luzia, Ribeira de São João) e da Ribeira Brava (Ribeira Brava, Ribeira da Tábua) originados em função do evento de 20 de Fevereiro de 2010. Foi assim possível delimitar cerca de 8400 deslizamentos, num total de área deslizada de mais de 100 ha, evidenciando bem a propensão do território da ilha para ser afetado por este fenómeno. Estes movimentos foram depois analisados conjuntamente com uma série de fatores a fim de investigar relações. Os resultados mostraram que, numa perspetiva geral, as áreas mais afetadas tenderam a apresentar cobertos vegetais quase ou totalmente desprovidos de árvores. Ao mesmo tempo, observou-se uma relação entre deslizamentos e declives elevados, sendo esta apontada para explicar parcialmente o facto de as bacias da Ribeira Brava (declives 30-45 graus) apresentarem quase o dobro dos deslizamentos das bacias do Funchal, apesar de terem uma área apenas 20% superior. Em simulações hidrológicas realizadas para dois tipos de depósitos superficiais, foi possível determinar que, em condições de escoamento e infiltração abundante, as resistências tangenciais se reduzem significativamente, potenciando a ocorrência de colapsos (op.cit.: 96).

Numa abordagem ao fator desencadeante, os autores compararam mapas do número de horas com precipitação superior a 10 e a 30 mm com o mapa das áreas afetadas, sugerindo uma associação entre o desencadeamento de deslizamentos e a ocorrência de precipitações superiores a 30 mm num período superior a 3 horas (op.cit.: 132).

Por seu lado, Neves (2010:30) salienta a litologia, na forma de basaltos altamente fraturados. O estudo dedicado ao evento de 20 de Fevereiro de 2010 (IST/UM/LREC, 2010) incluiu a modelação das condições hidrológicas ocorridas em dois tipos de depósitos frequentes na Ilha. Foi assim possível associar, num dos tipos, contextos de grandes chuvadas à formação de tensões intersticiais positivas, reduzindo a resistência tangencial. No outro, contrastes na capacidade de infiltração com a profundidade permitiram prever diminuições das tensões efetivas nas camadas superficiais, promovendo deslizamentos pouco profundos (op.cit.: 96). Além do comportamento mecânico dos materiais nas vertentes, o mesmo estudo permitiu associar uma maior quantidade de área deslizada a topografia com declives elevados (op.cit.: 125) e a classes de uso do solo cujo coberto vegetal é quase ou totalmente desprovido de árvores (op.cit.: 121), salientando o papel da vegetação na resistência tangencial dos materiais. De forma análoga, o PRAM salienta as “práticas agrícolas pouco adequadas”, a pastorícia excessiva em algumas zonas e a ocorrência de incêndios florestais como fatores de ocorrência de deslizamentos (SRA/INAG, 2003: 329), estes dois últimos também já referidos como importantes para a aceleração das pontas de cheia (op.cit.: 125), por provocarem a diminuição da capacidade de infiltração nos setores de cabeceira das bacias hidrográficas.

Num trabalho mais recente, Almeida (2013) centrou-se nos concelhos de Porto Moniz, Ribeira Brava, Santana e São Vicente, delimitando através de foto-interpretção 1257 deslizamentos, num total de 31,3 ha de área deslizada. A análise das relações entre as áreas afetadas e diferentes fatores permitiu confirmar a importância dos declives (74% da área deslizada situou-se em declives iguais ou superiores a 35 graus) e da litologia, associando deslizamentos a materiais pouco consolidados e muito alterados, e portanto mais brandos e menos resistentes (e.g. rochas máficas alteradas e depósitos piroclásticos).

Em suma, os trabalhos referidos deixam claro que os eventos de precipitação relativamente intensa são o fator desencadeante essencial da ocorrência de movimentos de vertente na Madeira. Ao mesmo tempo, há um conjunto de fatores condicionantes do fenómeno que inclui entre os principais o declive, as características dos materiais (superficiais e sub-superficiais), e o coberto vegetal.

Tal como realizado para as cheias, procurou-se mostrar a distribuição espacial da suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos na ilha da Madeira (Figura 16), refletindo os fatores condicionantes (Filipe, 2015). Adicionalmente, e tendo sido possível estabelecer a forte relação entre escoadas e deslizamentos no setor central da ilha da Madeira (Simões, 2015), apresenta-se, também, e para essa área, a suscetibilidade à ocorrência de escoadas (Figura 17).

Os mapas apresentados, devidamente validados com base nas ocorrências inventariadas,

refletem claramente a distribuição dos declives mais levados e a presença de formações superficiais pouco consolidadas, pelo que a distribuição espacial da suscetibilidade à ocorrência destes dois tipos de movimentos de vertente deve ser tida em conta, em contexto de bacia hidrográfica, na avaliação do potencial de transporte sólido em situação de cheias rápidas.

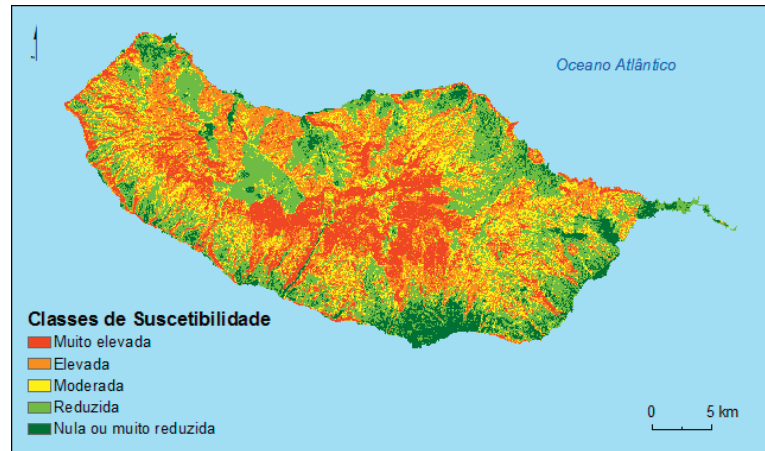


Figura 16 – Suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos (superiores a 100 m²) para ilha a Madeira (extraído de Filipe, 2015).

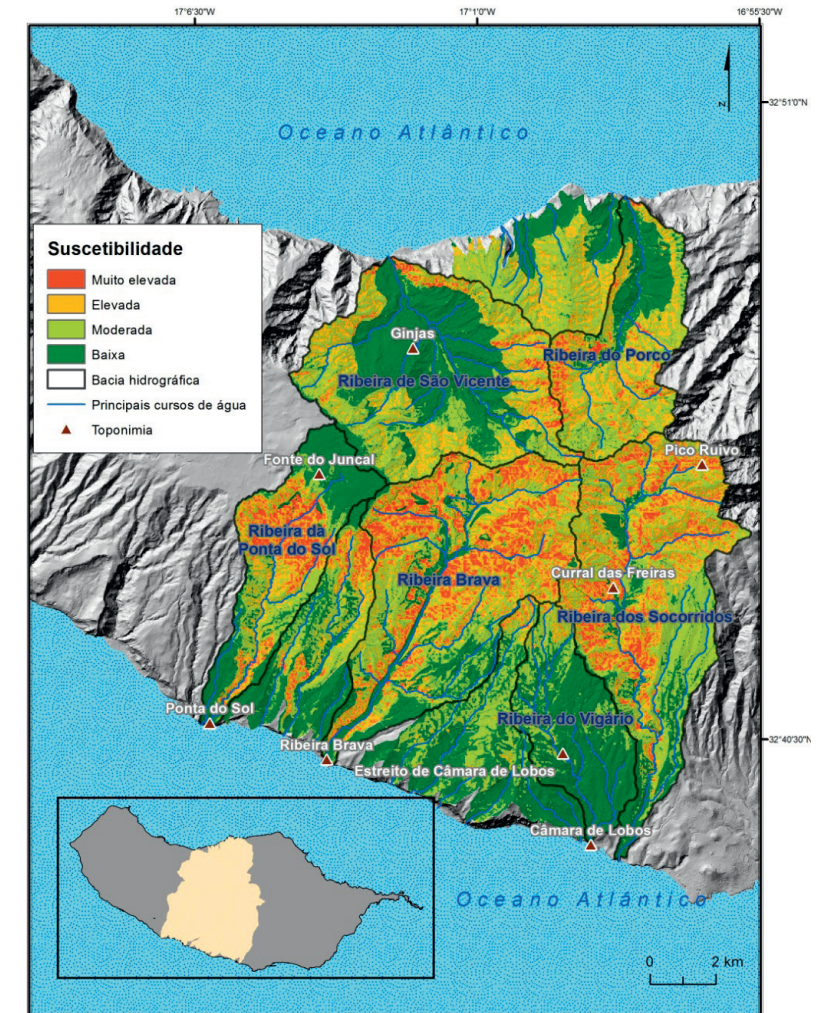


Figura 17 – Suscetibilidade à ocorrência de escoadas associadas a deslizamentos, no setor central da ilha da Madeira (extraído de Filipe, 2015)

4.3. Impactos Futuros sobre os Movimentos De Vertente

Com base na consideração da evolução prevista para as próximas décadas em termos pluviométricos (2.1) pode assumir-se que, com a diminuição da frequência dos dias com precipitações elevadas, será de esperar uma diminuição dos quantitativos de precipitação registados em intervalos sub-diários (a justificação para esta assunção foi já dada com relação aos impactos sobre as cheias; vd. 3.3). Por outras palavras, para a mesma frequência e duração, será de esperar uma diminuição dos valores atingidos por episódio de precipitação. Uma vez que a forte precipitação acumulada, conjugada com a ocorrência de episódios de precipitação intensa, é o fator desencadeante essencial para os movimentos de vertente na Madeira, os impactos a esperar serão, em igualdade dos restantes fatores, no sentido de uma diminuição da frequência deste fenómeno.

Tal como foi considerado com relação às cheias, importa levar em conta que, apesar da menor frequência expectável, os episódios de precipitações intensas capazes de desencadear movimentos de vertente continuarão a ocorrer. Neste sentido, não deve descurar-se a necessidade da elaboração de cartografia de risco, em harmonia com o Objetivo Estrutural 40 (O.E.40) definido no âmbito do Plano Regional da Água da Madeira: *realizar cartografia de riscos geológicos/geotécnicos para a minimização dos riscos de deslizamento ou de queda de blocos para as ribeiras, para os sistemas de levadas ou outros sistemas de adução e de tratamento de águas residuais* (SRA/INAG, 2003: 201).

Em igual paralelo com as considerações tecidas em relação às cheias, é também de relevar a evolução futura do coberto vegetal enquanto fator condicionante passível de reforçar (através do aumento da resistência tangencial do material) ou contrariar (através da sua diminuição) o efeito da diminuição esperada da precipitação. Chama-se assim novamente a atenção para os setores florestal e agrícola, bem como para o fenómeno dos incêndios florestais.

5. Impactos da subida do Nível Médio das Águas do Mar

5.1. Histórico dos Galgamentos Oceânicos na Ilha da Madeira

Com relação à subida do nível médio do mar, consideraram-se as referências à ocorrência de galgamentos costeiros, partindo do princípio de que os locais atualmente mais afetados em contextos de ondulação forte serão os mais propensos ao intensificar desta ação num contexto de subida do nível médio das águas do mar.

A metodologia utilizada para o conhecimento das ocorrências registadas de galgamentos, com vista ao conhecimento da sua distribuição mensal e da sua incidência espacial, seguiu o que já foi descrito para o caso das cheias/aluviões (ver 3.1.1), tendo por base duas das três fontes referidas (Silva, 2010; Fernandes, 2009).

As ocorrências de galgamento costeiro apresentam uma marcada concentração no mês de Dezembro (41% de todas as ocorrências registadas), não havendo qualquer registo de ocorrências nos meses de Maio a Agosto (Figura 18).

Os eventos de galgamentos registados concentram-se de forma descontínua nos setores sul e leste da ilha, sendo a única exceção a freguesia de Porto Moniz (sector NW), com 2 eventos registados (Figura 19). As freguesias mais afetadas ao longo do período considerado (1985-2010) foram a Ribeira Brava (valor máximo registado de 18 ocorrências), Ponta do Sol (8 ocorrências) e São Martinho (município do Funchal), com 6 ocorrências. Não se encontraram referências a Porto Santo.

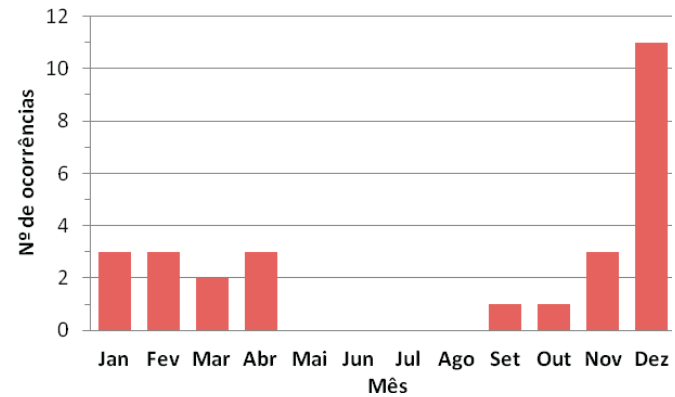


Figura 18 – Número de ocorrências de galgamentos costeiros referenciadas por mês (1926–2010).

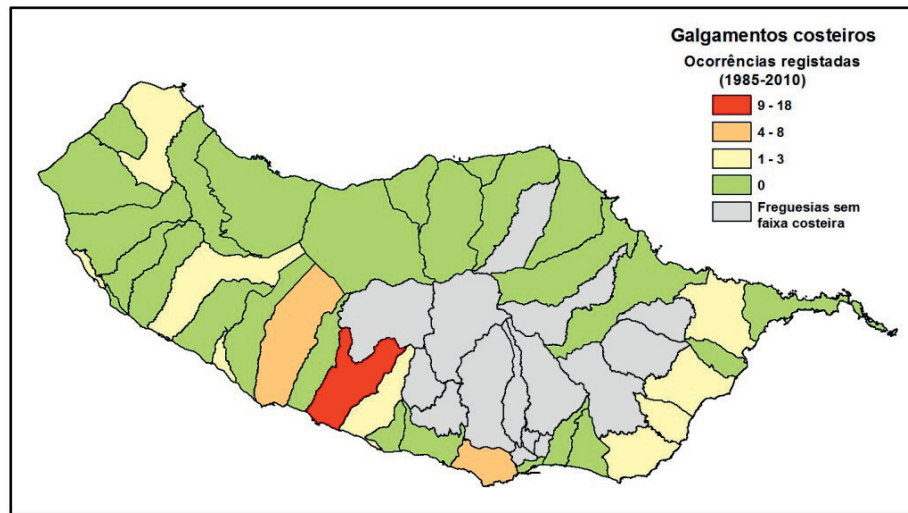


Figura 19 – Ocorrências de galgamentos costeiros registadas por freguesia (1985–2010).

5.2. Caracterização das condições atuais e Impactos futuros

O PRAM (SRA/INAG, 2003) não leva em conta uma subida potencial do nível do mar. Considera apenas as inundações por ação do mar, referindo que as tempestades fustigam habitualmente o litoral em conjugação com a precipitação, originando que o mar inunde as zonas baixas (p.201). Por outro lado, o PGHRAM (NEMUS/HIDROMOD, 2014) refere que não existe um estudo específico do efeito das alterações climáticas sobre o nível médio do mar observado no Arquipélago da Madeira.

Duma forma geral, os cenários climáticos para a região da Madeira preveem uma subida do nível médio do mar de 35 cm até final deste século (IPCC, 2007, *in* EC, 2014). No contexto do projeto CLIMAAT II, os autores consideraram razoável assumir um aumento de 50 cm até ao final do séc. XXI (Santos e Aguiar, 2006: 46).

Não obstante a falta de contextualização num cenário de subida do nível do mar, o PRAM (SRA/INAG, 2003) define como um problema de grande severidade a vulnerabilidade às inundações nos concelhos da Ribeira Brava e do Machico, onde as áreas urbanas costeiras se situam a cotas muito baixas, sem possibilidade de escoamento de águas em períodos de precipitação intensa e de marés vivas (p.119). Subsequentemente, é definido como objetivo estrutural (O.E. 42; p.201) a minimização dos efeitos das inundações nas vilas ribeirinhas.

Esta situação poderá acentuar-se em períodos em que haja coincidência temporal e espacial de tempestades marítimas e cheias, em que esta interação levará à intensificação dos impactos destas últimas nos aglomerados urbanos costeiros atravessados por ribeiras.

Por isso, e embora no contexto regional os impactos das alterações climáticas na subida do nível do mar e nas inundações costeiras associadas sejam ainda desconhecidos, este fenómeno tem constituído uma grande preocupação para a Madeira, visto os maiores aglomerados urbanos do Arquipélago (Funchal, Ribeira Brava, Ponta do Sol, São Vicente, Machico e Santa Cruz) e a maioria das infraestruturas se situarem em áreas junto à costa (Santos e Aguiar, 2006; EC, 2014). Uma constatação deste facto advém de, no período 1998 a 2008, terem sido gastos mais de 135 milhões de euros em obras de proteção costeira em áreas portuárias na Madeira (EC, 2014).

A avaliação dos impactos da subida do nível da água do mar sobre a costa, considerando um contexto de elevação dentro dos valores anteriormente referidos (35 a 50 cm até final do séc. XXI), deverá ser feita, obviamente, com um nível de detalhe compatível com o fenómeno em causa. Embora a subida do nível do mar seja relativamente lenta, a estratégia deverá passar, desde já, pela identificação de todos os locais vulneráveis, pela sua classificação de acordo com a importância estratégica e pela definição das ações a tomar a curto e médio prazo, as quais passam, essencialmente, pela construção ou melhoria de estruturas de proteção e pela realocação de infraestruturas, devendo, neste caso, identificarem-se os locais alternativos para a sua construção.

6. Referências bibliográficas

- [1] **Almeida, N.** (2013) – *Avaliação da Susceptibilidade à Ocorrência de Deslizamentos em âmbito Municipal: concelhos de Porto Moniz, Ribeira Brava, Santana e São Vicente (Ilha da Madeira)*. Relatório de estágio do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.
- [2] **APS** (2014) – Cartas de Inundação e Risco em cenários de alterações climáticas. Associação Portuguesa de Seguradores. ISBN: 978-972-98847-5-7. Disponível em <http://cirac.apseguradores.pt/outputs/brochura/brochura-cirac-pt.pdf>
- [3] **Baioni, D.** (2011) – Human activity and damaging landslides and floods on Madeira Island. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 3035-3046, doi:10.5194/nhess-11-3035-2011.
- [4] **European Commission** (2014) – *The economic impact of climate change and adaptation measures in the Outermost Regions, Final Report*. Directorate-General for Regional and Urban policy. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.
- [5] **Faria, J. M.;** Godinho, S. F. (1983) – Intensidade, Duração e Frequência de Precipitação no Arquipélago da Madeira. *O Clima de Portugal*, Fascículo XXIX, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.
- [6] **Fernandes, M. J.** (2009) – *Riscos no Concelho da Ribeira Brava. Movimentos de Vertente, Cheias Rápidas e Inundações*. Dissertação de Mestrado em Dinâmicas Sociais e Riscos Naturais, área de especialização em Riscos Geomorfológicos e Hidrológicos pela Faculdade de Economia, Faculdade de Letras e Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra.
- [7] **Filipe, P.** (2015) – *Avaliação e cartografia da suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos na Ilha da Madeira*. Relatório de estágio do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.

- [8] **IPCC**, 2007 – *IPCC Fourth Assessment Report (AR4)*. Watson, R.T. and the Core Writing Team (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland.
- [9] **IST/UA/LREC** (2010) – *Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha de Madeira. Relatório Base*. Secretaria Regional do Equipamento Social, Funchal.
- [10] **Julião, R. P.**; Nery, F.; Ribeiro, J. L.; Castelo Branco, M.; Zêzere, J. L. (2009) – *Guia Metodológico Para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e Para a Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de Base Municipal*. Autoridade Nacional de Proteção Civil.
- [11] **NEMUS/HIDROMOD** (2014) – *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Arquipélago da Madeira (RH10). Volume 1 – Relatório. Parte 2 – Caracterização e diagnóstico*. Direcção Regional do Ordenamento do Território e Ambiente, Funchal.
- [12] **Neves, D.** (2010) – *Turismo e Riscos na Ilha da Madeira. Avaliação, Percepção, Estratégias de Planeamento e Prevenção*. Dissertação do mestrado em *Dinâmicas Sociais, Riscos Naturais e Tecnológicos*, Departamento de Geografia, Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra.
- [13] **Quintal, R.** (1999) – Aluviões da Madeira. Séculos XIX e XX. *Territorium*, nº6, Minerva, Coimbra. Pp. 31-48.
- [14] **Quintal, R.**; Policarpo, N. (2012) – *Baía do Funchal. Dinâmicas Naturais e Antrópicas*. Esfera do Caos Editores, Lisboa.
- [15] **Reis, E.** (2011) – *Análise de bacias hidrográficas, susceptibilidade à ocorrência de cheias e Sistemas de Informação Geográfica: da definição do quadro conceptual até à proposta de um modelo de avaliação*. VIII Congresso da Geografia Portuguesa, Repensar a Geografia para Novos Desafios, Comunicações, Lisboa, pp. 1 - 6.
- [16] **Santos, D.**; Aguiar, R. (Eds.) (2006) – *Impactos e Medidas de Adaptação às Alterações Climáticas no Arquipélago da Madeira – Projecto CLIMAAT II*. Direcção Regional do Ambiente da Madeira, Funchal.
- [17] **Simões, E.** (2015) – *Análise integrada da dinâmica de deslizamentos e escoadas nas bacias hidrográficas do setor central da Ilha da Madeira*. Dissertação do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.
- [18] **SRA/INAG** (2003) – *Plano Regional da Água da Madeira. Relatório Técnico* (versão para consulta pública). Secretaria Regional do Ambiente e Instituto da Água, Funchal.
- [19] **Silva, J. L.** (2010) – *Desastres Naturais no Arquipélago da Madeira - Resenha Histórica*. Post publicado no blogue “Madeira Gentes e Lugares”. <http://madeira-gentes-lugares.blogspot.pt/2007/08/desastres-naturais-no-arquipelago-da.html> (consultado a 13-1-2015)

- [20] **Working Party for World Landslide Inventory, UNESCO** (1993) – *Multilingual landslide glossary*. Canadian Geotechnical Society, BiTech Publishers, Ltd. Canadá. Disponível em <http://www.cgs.ca/pdf/heritage/Landslide%20Glossary.pdf>.

RISCOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS

adaptação às
alterações climáticas

AUTORES

Eusébio Reis

Rafaello Bergonse

1. Introdução

Após se ter incidido, em relatório anterior, nas vulnerabilidades atuais e futuras da Região Autónoma da Madeira no contexto das alterações climáticas, o presente relatório tem como finalidade avaliar em que medida o arquipélago se tem vindo a preparar e quais as adaptações que devem ser tidas em consideração por forma a diminuir a vulnerabilidade a diversos perigos naturais – cheias, movimentos de massa em vertentes e subida do nível médio das águas do mar.

A primeira parte do relatório incide na revisão das medidas de adaptação definidas em estudos anteriores, que permitam melhorar a capacidade adaptativa do arquipélago. Numa segunda parte, procedeu-se, com um período de referência posterior a 2010, a um levantamento exaustivo das obras ou iniciativas já concluídas, em fase de conclusão ou de projetos já aprovados para execução, que incidissem sobre os três tipos de fenómenos aqui analisados, fazendo a ligação com as medidas de adaptação previstas. Num terceiro ponto, reforçam-se alguns aspetos das medidas de adaptação, resultantes do trabalho efetuado ao longo deste projeto, onde se incluem os contributos fornecidos por vários atores participantes no Workshop “Vulnerabilidade da Região Autónoma da Madeira às Alterações Climáticas” realizado, no contexto do presente projeto, em fevereiro de 2015, no Funchal.

2. Capacidade adaptativa: revisão das medidas de adaptação definidas em estudos anteriores

Realizou-se uma análise dos instrumentos de planeamento de escala regional existentes, designadamente o Plano Regional da Água da Madeira (PRAM; SRA/INAG, 2003) e o Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Arquipélago da Madeira (PGRHAM; NEMUS/HIDROMOD, 2014) a fim de determinar até que ponto as ações por estes propostas face aos fenómenos das cheias/aluviões, movimentos de vertente e galgamentos oceânicos configuram medidas de adaptação ajustadas aos impactos potenciais definidos no presente projeto. Considerou-se adicionalmente o *Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha de Madeira* (IST/UA/LREC, 2010), na medida em que este documento, elaborado em resposta ao evento de 20 de Fevereiro de 2010 para a Secretaria Regional do Equipamento Social da Região Autónoma da Madeira (SRES), constitui o mais completo trabalho realizado sobre o fenómeno das aluviões até à data. Embora o âmbito específico do estudo se circunscreva às cinco bacias mais afetadas pelo referido evento (ribeiras de João Gomes, Santa Luzia, São João, Ribeira Brava e Tábua), este teve um objetivo de extrapolação da análise para todo o território da ilha da Madeira (op.cit.: 148), onde a suscetibilidade à ocorrência de aluviões está amplamente difundida.

Cada um dos três fenómenos estudados é considerado em separado.

2.1. Cheias/aluviões

O PRAM (SRA/INAG, 2003: 197) atribui 11 objetivos operacionais (O.Op.) à problemática das cheias¹, sob o seu Objetivo Estrutural 3.1 de “Prevenir as ocorrências de cheia e minimizar os seus efeitos”. O Plano não dá atenção particular ao fenómeno das aluviões, em que o escoamento se associa a uma carga sólida muito significativa com detritos de grandes dimensões. Assim, incluíram-se na presente consideração os 5 objetivos definidos em relação à Erosão

¹ Do total de 13 objetivos operacionais definidos para as cheias, 2 relacionam-se com a influência de barragens (4.11 e 4.13), não sendo aqui considerados.

Hídrica e o único que foi associado ao Transporte Sólido (op.cit: 198-199), sendo evidente que todos se relacionam de perto com a disponibilização de material necessária à formação de aluviões. Todos os objetivos operacionais são reproduzidos no Quadro 1.

Em 2010, o *Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha de Madeira* (IST/UA/LREC, 2010) veio considerar em profundidade este fenómeno destruidor, produzindo um conjunto alargado de recomendações. Em termos gerais, e do ponto de vista da avaliação do risco e das medidas de proteção, foi recomendado o aprofundamento da avaliação e análise do risco em diferentes bacias hidrográficas da ilha da Madeira, com vista a permitir um melhor conhecimento da distribuição espacial da exposição e das vulnerabilidades associadas ao risco de aluviões. Os autores salientaram também a importância da elaboração de estudos específicos sobre a caracterização probabilística das precipitações e dos escoamentos líquidos.

Estas recomendações de âmbito geral abrangem vários dos objetivos mais específicos já anteriormente definidos no PRAM (Quadro 1: O.Op. 4.2, 4.3, 4.4, 4.6, 4.12), e refletem lacunas importantes do conhecimento relativo às cheias/aluviões e aos seus fatores de controlo, também já focadas no Plano (O.Op. 4.1 e 4.23).

Quadro 1 – Objetivos operacionais definidos no âmbito do PRAM com implicações no fenómeno das cheias/aluviões.

Nº	OBJETIVO OPERACIONAL
CHEIAS	
4.1	Atuação urgente a nível da aquisição de informação, com ênfase para a hidrométrica.
4.2	Aprofundamento dos estudos inerentes à caracterização de cheias e à consequente realização de mapas de inundação.
4.3	Levantamento da situação existente no que respeita à delimitação dos leitos de cheia e à identificação e caracterização das infraestruturas que interferem com o domínio hídrico.
4.4	Levantamento da situação existente no que respeita a obstáculos, naturais e artificiais, responsáveis por estrangulamentos nas linhas de água, com consequente agravamento dos problemas de inundação e elaboração de propostas de atuação.
4.5	Atuação continuada de limpeza e desassoreamento das linhas de água.
4.6	Análise da adequação das redes de drenagem de águas pluviais e seu eventual reequacionamento.
4.7	Análise da viabilidade de implementação de sistemas de vigilância e alerta de cheias e realização de campanhas de sensibilização/educação da população.
4.8	Atuação no sentido de disciplinar e ordenar a ocupação do território e, nomeadamente, do domínio hídrico.
4.9	Estudar a criação de eventuais bacias de retenção, tendo em vista a atenuação dos caudais de ponta de cheia.

Nº	OBJETIVO OPERACIONAL
4.10	Estudar os eventuais efeitos da criação de albufeiras nas principais ribeiras, no controlo das cheias naturais dessas linhas de água, bem como das estruturas de amortecimento de cheias.
4.12	Dar cumprimento ao D.L. nº364/98 que estabelece a obrigatoriedade por parte dos PMOT da elaboração de cartas de Zonas Inundáveis nos municípios com aglomerados urbanos atingidos por cheias.
EROSÃO HÍDRICA	
4.18	Implementar medidas de intervenção prioritárias por bacia hidrográfica.
4.19	Proceder à conservação dos poios e levadas nas bacias com maior risco de erosão.
4.20	Reforço dos programas de reflorestação das bacias hidrográficas onde o risco de erosão é mais elevado, sobretudo no flanco Sul da ilha da Madeira e ilha do Porto Santo e para combate aos fogos florestais.
4.21	Implementar obras de correção nas bacias hidrográficas com maior risco de erosão e desprendimento de terras.
4.22	Incluir recomendações relativamente às áreas críticas de risco a introduzir nos planos de proteção civil.
TRANSPORTE SÓLIDO	
4.23	Melhorar o conhecimento sobre o fenómeno de transporte sólido através da monitorização e análise de dados.

O *Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões* define depois um conjunto de seis princípios orientadores de proteção, cada um destes englobando várias medidas, das quais se apresenta abaixo uma síntese.

Os primeiros dois princípios orientadores prendem-se com a retenção e o controlo do transporte de material sólido nas bacias, e incluem medidas relacionadas com (IST/UA/LREC, 2010: 155):

› o uso do coberto vegetal para promover a estabilização dos taludes e a resistência à erosão de pequenas ravinas e linhas de água;

› a implementação de sistemas de drenagem eficazes em zonas críticas nas vertentes, de forma a impedir concentrações do escoamento superficial promotoras de ravinamentos ou movimentos de massa;

› medidas estruturais, como a modelação do terreno a fim de estabilizar preventivamente as vertentes, a manutenção ativa de zonas de terraços já existentes, e a estabilização de trechos dos leitos das ribeiras particularmente suscetíveis à erosão através de estruturas transversais (diques ou degraus) e da proteção localizada de depósitos marginais por estruturas longitudinais;

› controlo e análise cuidada da colocação de aterros, enquanto fontes potenciais de material facilmente mobilizável, e proteção adequada dos aterros existentes.

Estas medidas englobam os O.Op. 4.20 e 4.21 do PRAM (Quadro 1).

O terceiro princípio orientador é focado na **atenuação da vulnerabilidade das áreas expostas** (op.cit: 160). Inclui um conjunto de medidas destinadas a gerir o risco no sentido de diminuir o grau de perda das estruturas existentes em caso de aluviões. As medidas estão associadas a diferentes tipos de contextos:

› **Zonas urbanas:** medidas possíveis incluem a construção de muros dimensionados de forma a conter um escoamento excecional de referência (é indicado como referência o evento de 20/2/2010) e a reavaliação das condições de vazão de secções críticas de trechos das ribeiras já canalizados.

› **Habitacões e instalações dispersas:** o conjunto de medidas proposto inclui a remoção de habitacões isoladas que tenham sofrido danos graves no evento de referência de 20/2/2010 ou que estejam em zonas de inundação e de impacto previsível com elevado risco; o desvio do escoamento ou a melhoria das suas condições junto de infraestruturas em risco, e a construção de muros de proteção ou a colocação de estruturas de retenção “leves” ou de desvio de sólidos para a proteção contra o impacto direto em habitacões ou instalações estratégicas.

› **Áreas suscetíveis de instabilização geotécnica:** as medidas propostas incluem a consolidação ou estabilização de taludes, a implementação de sistemas de drenagem eficazes, a promoção de um coberto vegetal estabilizador, o controlo de novas construções tendo em conta o risco geotécnico, e mesmo a remoção de habitacões consideradas em situação de risco intolerável.

› **Vias de comunicação:** o estudo propõe várias medidas destinadas a reduzir a vulnerabilidade das vias rodoviárias em zonas suscetíveis de ocorrência de aluviões. Estas centram-se na adaptação da situação atual às características específicas dos escoamentos de referência (associados ao evento de 20/2/2010), e incidem sobre as características das próprias vias (adaptação das cotas da rasante às cotas máximas previsíveis para o escoamento em vias que marginam ou atravessam trechos críticos de linhas de água; adaptação das secções hidráulicas de passagem sob as vias às características do escoamento); sobre os taludes onde assentam (proteção face à capacidade erosiva do escoamento e eventual substituição por soluções estruturais em pilares); e sobre taludes marginais suscetíveis de deslizamento (recurso a barreiras de retenção ou de desvio).

É ainda sugerida a implementação de um sistema automático de aviso e interrupção da circulação em trechos de vias rodoviárias particularmente sensíveis durante períodos de crise.

O quarto princípio orientador incide sobre o **controlo da exposição ao risco** através de medidas passivas de prevenção, sustentadas num aprofundamento da avaliação e análise do risco nas diferentes bacias (op.cit: 165). Sob este princípio geral, são propostas várias medidas:

› Elaboração e aplicação de cartas de zonamento da vulnerabilidade e do risco, em particular nas áreas em desenvolvimento ou de expansão urbanística, a fim de orientar o tipo de ocupação do território;

› Definição de critérios de ocupação de zonas perigosas tendo em conta o conceito de *risco tolerável máximo*. Este conceito pressupõe, nos casos em que uma maior redução do risco não seja socialmente justificável ou suportável, a aceitação condicionada de determinados tipos de ocupação (na condição de não agravamento do risco para jusante);

› Deslocação de infraestruturas e bens sensíveis que, estando em zonas críticas (de risco considerado intolerável), não possam ser protegidas a um custo razoável.

A necessidade geral de atuar no sentido de disciplinar e ordenar a ocupação do território (e em particular o domínio hídrico) já tinha sido definida como um dos Objetivos Operacionais do PRAM (O.Op. 4.8). No mesmo contexto, aquele Plano já salientara a importância da realização de estudos relativos à caracterização de cheias que permitissem produzir mapas de inundação (O.Op. 4.2), a importância da delimitação dos leitos de cheia e da identificação/caracterização das infraestruturas em interferência com o domínio hídrico (O.Op. 4.3) e a necessidade de dar cumprimento ao D.L. 364/98, estabelecendo a obrigatoriedade por parte dos PMOT da elaboração de cartas de zonas inundáveis nos municípios com aglomerados urbanos atingidos por cheias (O.Op. 4.12)².

O quinto princípio orientador centra-se na gestão do risco através de um **sistema de previsão e aviso ou alerta precoce** que possibilite a mobilização atempada das autoridades competentes e agentes da proteção civil e, em caso de eventos excecionais, a evacuação da população de áreas expostas (op.cit: 167). Ressalvando que já existe um sistema de aviso meteorológico na ilha da Madeira em ligação com os serviços de Proteção Civil, o estudo indica um conjunto de medidas necessárias à implementação de tal sistema para o fenómeno das aluviões, incidindo estas medidas sobre a monitorização do comportamento das bacias, o tratamento dos dados resultantes e a calibração de modelos de simulação. Apesar de o estudo incidir em particular sobre as aluviões, as medidas são condicionadas por lacunas de conhecimento comuns ao fenómeno das cheias, já salientadas no PRAM (O.Op. 4.1 e 4.23). A implementação de um sistema análogo focado nas cheias em geral já tinha sido considerada no O.Op. 4.7 do PRAM.

Por último, o sexto princípio orientador relaciona-se com a **formação e informação ao público**, e assenta na noção de que, em ordem a lidar com a incidência de aluviões, a população deverá possuir uma perceção adequada do fenómeno e dos processos associados, o que permitirá uma prevenção mais eficiente (op.cit: 170). A formação proposta deverá abranger diferentes níveis de ensino, por um lado capacitando os serviços envolvidos em atividades de gestão do risco, e por outro permitindo aos cidadãos, eventualmente expostos, enfrentar de modo adequado as

² Juntamente com este diploma, o D.L. 115/2010 de 22 de Outubro (que estabelece um quadro para a avaliação e gestão dos riscos de inundação, com o objetivo de reduzir as suas consequências prejudiciais) transpõe para a legislação nacional a Diretiva Comunitária 2007/60/CE no contexto dos recursos hídricos.

situações de crise, compreendendo e apoiando as medidas de proteção que venham a ser propostas e implementadas. A formação deverá ser complementada com campanhas de informação, incluindo por exemplo a afixação de painéis ou cartazes nas áreas mais perigosas.

A necessidade de educação e sensibilização das populações (em relação às cheias em geral) já tinha sido anteriormente alvo do O.Op. 4.7 do PRAM.

Mais recentemente, e na sequência dos dois trabalhos acima considerados, o Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Arquipélago da Madeira (NEMUS/HIDROMOD, 2014) veio estabelecer em relação ao fenómeno das cheias/aluviões um diagnóstico atualizado. A análise deste documento permite constatar que:

› Persistem as lacunas de conhecimento referentes à hidrografia e hidrologia, bem como a inexistência de uma rede sedimentológica que permita caracterizar a componente sólida dos eventos de cheia (op.cit., Parte 2, Cap.7, p.1-2);

› Existem Planos Municipais de Emergência de Proteção Civil para os concelhos do Funchal, Ribeira Brava e Santana (op.cit., Parte 2, Cap. 6, p.62);

› Existem delimitações de zonas inundáveis em alguns municípios (não são especificados), permitindo condicionar o licenciamento de operações de loteamento, de obras de urbanização ou particulares. Neste contexto, as ações previstas nos D.L. 364/98 de 21 de Novembro e 115/2010 de 22 de Outubro são definidas como estando parcialmente cumpridas, sendo que, à data de 2013, estudos específicos estão ainda em curso (op.cit., Parte 2, Cap.6, p.52). A este respeito, é salientado que o *Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha de Madeira* (IST/UA/LREC, 2010) incluiu já a elaboração de vários dos elementos constituintes da avaliação preliminar de riscos de inundações estipulada no D.L.115/2010 (NEMUS/HIDROMOD, 2014: Parte 2, Cap.2.9, p.24).

Por último, o PGRHAM identifica algumas oportunidades a explorar face ao fenómeno das cheias, que repetem e só vêm reforçar medidas já propostas nos documentos anteriormente analisados (medidas estruturais e não estruturais; ações de formação e informação, conduzindo a uma perceção adequada do risco de aluviões; criação de um sistema regional de previsão e proteção contra aluviões; definição de indicadores de previsão e de alarme calibrados para as condições locais da ilha da Madeira).

2.2. Movimentos de Massa em Vertentes

O Plano Regional da Água da Madeira (PRAM) dedica o seu Objetivo Operacional 4.27 aos movimentos de vertente (SRA/INAG, 2003: 201):

“Realizar cartografia de riscos geológicos/geotécnicos para a minimização do risco de deslizamento ou de queda de blocos para as ribeiras, para os sistemas de levadas ou outros sistemas de adução e tratamento de água residuais”

Em ordem a atingir este objetivo, definido como sendo de curto prazo (implementação até 2006), o PRAM definiu como projeto o estudo e controlo de zonas de risco de deslizamentos (op.cit: 246).

Mais recentemente, o PGRHAM (NEMUS/HIDROMOD, 2014: Parte 2, Cap.7, p.5), no seu diagnóstico referente à análise de riscos, veio salientar que não existe ainda na Região Autónoma da Madeira um zonamento do risco de instabilidade, seja em relação a vertentes ou a arribas, e que não está implementado um programa sistemático de monitorização de zonas com maior suscetibilidade à instabilidade de vertentes. O objetivo operacional definido no PRAM mantém-se, portanto, atual.

2.3. Galgamentos oceânicos

Tal como para os movimentos de massa, o PRAM define um único objetivo operacional (O.Op.4.25) relacionado com os galgamentos oceânicos, ou inundações por ação do mar (SRA/INAG, 2003: 201):

“Desenvolver estudos sobre os efeitos das inundações nas áreas ribeirinhas por ação do mar”

De acordo com o PRAM, este é um objetivo de Médio/Longo prazo, tendo como referência um horizonte temporal até 2020. Este tipo de inundações é abrangido pelo já referido D.L. 115/2010 de 22 de Outubro, devendo estar refletido na cartografia e nos planos de gestão do risco de inundações a produzir.

Ao contrário do que ocorre com os fenómenos das cheias e dos movimentos de vertente, o PGRHAM não considera especificamente os galgamentos oceânicos, assumindo-se que a necessidade de obtenção de conhecimento através da realização de estudos salientada no PRAM se mantém pertinente.

3. Identificação e distribuição espacial das medidas de adaptação consumadas ou em curso

Enumeraram-se no capítulo anterior as medidas de adaptação consideradas relevantes no âmbito dos instrumentos de planeamento territorial em vigor (PRAM, PGRHAM) e do Estudo de Risco de Aluviões do Arquipélago da Madeira. De forma complementar, pretendeu-se no presente capítulo identificar ações com consequências territoriais diretas ou indiretas que, tendo sido levadas a cabo nos últimos anos ou estando atualmente em curso, possam ter vindo em maior ou menor grau contribuir para tornar tais medidas efetivas. Consideraram-se de igual forma medidas planeadas para o futuro próximo, desde que tornadas explícitas de forma oficial pelo Governo Regional³.

A análise realizada organizou-se em duas fases. Na primeira, foi realizado um levantamento das ações realizadas, em curso ou planeadas, bem como a caracterização destas ações. Numa segunda fase, as ações identificadas foram comparadas com as medidas de adaptação consideradas relevantes no âmbito do PRAM, do PGRHAM e do Estudo de Risco de Aluviões do Arquipélago da Madeira (enumeradas no capítulo anterior) a fim de definir em que medida vieram ou virão a contribuir total ou parcialmente para a sua implementação.

3.1. Levantamento das ações realizadas, em curso ou planeadas

O levantamento assentou em três tipos de fontes: (1) sítios digitais e páginas da administração regional (Governo Regional, Vice-Presidência do Governo Regional, Municípios e organismos públicos como a Secretaria Regional dos Equipamentos Sociais (SRES) ou o Laboratório Regional de Engenharia Civil (LREC)), incluindo publicações oficiais em redes sociais (*Facebook*); (2) notícias publicadas, tanto por periódicos de natureza privada (e.g. *Jornal da Madeira*) como pública (*Jornal Oficial da Região Autónoma da Madeira*); e (3) outros documentos, designadamente Relatórios de Contas de empresas responsáveis por intervenções.

³ Incluem-se nesta categoria as medidas previstas no Plano e Programa de Investimentos e Despesas de Desenvolvimento do Arquipélago da Madeira (PIDDAR) para 2015.

O levantamento permitiu identificar um total de 65 ações concluídas, em curso ou planeadas (identificadas no Anexo 1). Esta informação foi depois caracterizada em função de três critérios fundamentais. Em primeiro lugar, levou-se em consideração a natureza de cada intervenção (e.g. canalização de linha de água, estabilização de vertente) a fim de definir as principais tipologias. Em segundo lugar, cada ação foi associada ao fenómeno ou fenómenos perigosos sobre o qual incide (cheias/aluviões, movimentos de vertente e galgamentos oceânicos). Finalmente, foi definida a incidência espacial de cada ação, tendo como unidade de referência o município. Pretendeu-se assim aferir em que medida os diferentes fenómenos foram alvo de maior ou menor atenção, e ao mesmo tempo definir o carácter disperso ou concentrado destas intervenções através do território regional, sem prejuízo do facto de várias das ações definidas incidirem sobre a sua totalidade.

A análise conjunta das ações identificadas permitiu distinguir um conjunto de 9 tipologias, na sua maior parte relacionadas com o fenómeno das cheias/aluviões (Quadro 2). Destas, a tipologia mais frequente consiste em intervenções sobre os leitos e canais fluviais, incluindo a sua regularização, o redimensionamento das secções hidráulicas e/ou a canalização de linhas de água, a reconstrução de passagens hidráulicas, operações de desassoreamento, ou mesmo o desvio do próprio curso da linha de água.

As restantes tipologias incluíram ações centradas na retenção de sedimentos (construção de estruturas de retenção), no controlo da erosão/torrencialidade (florestação de sectores de cabeceira), na implementação de sistemas de vigilância e alerta (centrados no comportamento hidrológico de ribeiras e na previsão de cheias/aluviões), na espacialização do risco ou perigosidade como medida de apoio à decisão (implementação de Sistemas de Informação Geográfica e elaboração de cartografia), e finalmente na sensibilização/formação da população em relação ao fenómeno das aluviões.

Quadro 2 – N° de ações relacionadas com o fenómeno das cheias/aluviões, por tipologia.

TIPOLOGIA	N° AÇÕES
Intervenção sobre leitos/canais fluviais	40
Retenção de sedimentos	3
Controlo da erosão/torrencialidade	1
Sistemas de vigilância/alerta	3
Sensibilização/Formação	1
Espacialização do risco ou perigosidade/apoio à decisão	4
Total	52

Em comparação com as cheias/aluviões, os restantes fenómenos têm sido o alvo de um número reduzido de ações. Os movimentos de vertente incluíram apenas duas tipologias de ação: estabilização de vertentes (11 ações identificadas), e espacialização do risco ou perigosidade como medida de apoio à decisão (2 ações incluindo, tal como para as cheias/aluviões, a elaboração de um Sistema de Informação Geográfica e de mapas de perigosidade).

Finalmente, o fenómeno dos galgamentos oceânicos foi apenas alvo de uma tipologia (obras de proteção da frente marítima), associada a 2 ações.

Num balanço geral, identificaram-se 52 ações relacionadas com cheias/aluviões, 13 com movimentos de vertente, e apenas 2 centradas nos galgamentos oceânicos. O total (67) excede o valor anteriormente referido por duas ações, já que duas das intervenções identificadas incidiram em simultâneo sobre dois fenómenos distintos. Foi o caso das obras realizadas sobre a zona litoral e dos sectores terminais das ribeiras de João Gomes e Santa Luzia (cheias/aluviões e galgamentos oceânicos) e da intenção do Governo Regional de construir, durante 2015, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) centrado nos riscos geológicos e geomorfológicos (cheias/aluviões e movimentos de vertente), manifestada na proposta do Plano e Programa de Investimentos e Despesas de Desenvolvimento da Região Autónoma da Madeira (PIDDAR) para 2015.

A distribuição espacial das ações identificadas é sintetizada no Quadro 3 por tipo de fenómeno considerado e tendo como unidade espacial de referência o município⁴. A sua análise torna claro o predomínio das ações centradas nas cheias/aluviões – 79% –, com os movimentos de vertente associados a 18% e os galgamentos oceânicos a apenas 3%.

Quadro 3 – N° de ações identificadas por âmbito espacial e tipo de fenómeno. As ações incidentes sobre mais do que um município estão assinaladas num tom mais escuro.

ÂMBITO ESPACIAL	FENÓMENO			TOTAL
	Cheias/ Aluviões	Movimentos de Vertente	Galgamentos Oceânicos	
Funchal	16		1	17
Santa Cruz	13			13
Ribeira Brava	6	1		7
Ponta do Sol	2	3		5
Câmara de Lobos	3	2		5
Calheta		1	1	2

⁴ É de notar que o número total de ações é de 68, por oposição aos 67 no Quadro 2, porque uma das ações incide sobre dois municípios (implementação do sistema automático de monitorização das Ribeiras de João Gomes, Santa Luzia, São João e Ribeira Brava), tendo sido desagregada em duas para esta análise de âmbito espacial.

ÂMBITO ESPACIAL	FENÓMENO			TOTAL
	Cheias/ Aluviões	Movimentos de Vertente	Galgamentos Oceânicos	
Porto Moniz	1	1		2
Machico	1	1		2
São Vicente	1			1
Santana		1		1
Madeira em geral	10	2		12
Paul da Serra, zona sobranceira ao Funchal e Porto Santo	1			1
Total	54	12	2	68

No que diz respeito ao padrão espacial das ações, há uma concentração evidente nos municípios do Funchal (17 ações) e Santa Cruz (13), seguidos pela Ribeira Brava (7), Ponta do Sol e Câmara de Lobos (5 ações cada). A Calheta, Porto Moniz e o Machico registaram 2 ações cada, com os municípios de São Vicente e Santana a apresentarem apenas uma ação.

É importante referir que, em paralelo com as intervenções já realizadas ou em curso em municípios específicos, numerosas ações têm como âmbito espacial a generalidade do território madeirense. Este é o caso das medidas previstas na Proposta do Plano e Programa de Investimentos e Despesas de Desenvolvimento da Região Autónoma da Madeira (PIDDAR) para 2015, tendo estas como única exceção a ação de florestação de sectores de cabeceira destinada a controlar a erosão e a torrencialidade das linhas de água que está prevista para o Paul da Serra, para a zona sobranceira ao Funchal e para Porto Santo.

3.2. Ações identificadas e medidas de adaptação propostas: análise comparativa

As 65 ações de intervenção identificadas, discriminadas no Anexo 1, foram comparadas com as medidas consideradas relevantes no âmbito do Plano Regional da Água da Madeira (SRA/INAG, 2003), do Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Arquipélago da Madeira (NEMUS/HIDRO-MOD, 2014), e do Estudo de Risco de Aluviões do Arquipélago da Madeira (IST/UA/LREC, 2010), já descritas anteriormente. A comparação mostra que uma boa parte das medidas propostas nestes documentos foi já cumprida em alguma medida.

3.2.1. Cheias/Aluviões

No que concerne às cheias/aluviões, as ações realizadas ou a realizar consistem sobretudo em intervenções sobre os leitos e canais fluviais, seja canalizando o escoamento e redimensionando as secções e passagens hidráulicas, seja removendo obstruções ao escoamento. A continuação destas ações de forma sistemática está prevista a (cf. Anexo 1, ação nº 53). As ações a realizar incidem ainda sobre o controlo da produção de carga sólida a montante, através da reflorestação de sectores de cabeceira em áreas particularmente suscetíveis.

Uma parte das ações identificadas está centrada na aquisição de conhecimentos sobre o fenómeno das cheias/aluviões e na gestão do risco respetivo. Estas ações incidem especificamente sobre a educação/sensibilização da população, a monitorização do comportamento hidrológico das ribeiras mais vulneráveis às cheias rápidas, a distribuição espacial do risco de cheias/aluviões, e a criação de sistemas de alerta precoce.

De forma a facilitar as comparações, apresentam-se no Quadro 4 as medidas previstas (na forma de objetivos operacionais) no Plano Regional da Água da Madeira em relação às cheias/aluviões (já mostradas no Quadro 1), bem como a sua correspondência face às ações de adaptação ao fenómeno já implementadas ou a implementar, identificadas no Anexo 1.

Fica claro que uma parte significativa das medidas foi já alvo de alguma ação, embora muitas se mantenham ainda por cumprir.

Considerando de seguida as numerosas medidas previstas no Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões do Arquipélago da Madeira (IST/UA/LREC, 2010), fica claro que muitas das propostas foram já alvo de consideração, encontrando-se outras ainda por efetivar. Para além da estabilização de secções das vertentes (taludes) e de secções das vias rodoviárias e do uso da vegetação para controlar a produção de sedimentos (ações 41 a 51, Anexo 1), as medidas que foram alvo de consideração incluem a criação de um sistema de previsão e alerta precoce (ações nºs 10 e 57), parcialmente assente no conhecimento do comportamento hidrológico das ribeiras (ação nº 61), e a consciencialização da população face ao fenómeno (ação nº 55).

Quadro 4 – Correspondência entre as medidas de adaptação às cheias/aluviões previstas no PRAM (designados como “Objetivos Operacionais”) e as ações de adaptação ao fenómeno identificadas. O número das ações (Nº) tem correspondência no Anexo 1.

Nº	OBJETIVOS OPERACIONAIS	AÇÕES REALIZADAS OU A REALIZAR
CHEIAS		
4.1	Atuação urgente a nível da aquisição de informação, com ênfase para a hidrométrica	61
4.2	Aprofundamento dos estudos inerentes à caracterização de cheias e à consequente realização de mapas de inundação	54; 56; 61
4.3	Levantamento da situação existente no que respeita à delimitação dos leitos de cheia e à identificação e caracterização das infraestruturas que interferem com o domínio hídrico	54; 56; 61
4.4	Levantamento da situação existente no que respeita a obstáculos, naturais e artificiais, responsáveis por estrangulamentos nas linhas de água, com consequente agravamento dos problemas de inundação e elaboração de propostas de atuação	54; 61
4.5	Atuação continuada de limpeza e desassoreamento das linhas de água	60; 62
4.6	Análise da adequação das redes de drenagem de águas pluviais e seu eventual reequacionamento	
4.7	Análise da viabilidade de implementação de sistemas de vigilância e alerta de cheias e realização de campanhas de sensibilização/educação da população	10; 55; 57
4.8	Atuação no sentido de disciplinar e ordenar a ocupação do território e, nomeadamente, do domínio hídrico	55; 63
4.9	Estudar a criação de eventuais bacias de retenção, tendo em vista a atenuação dos caudais de ponta de cheia	
4.10	Estudar os eventuais efeitos da criação de albufeiras nas principais ribeiras, no controlo das cheias naturais dessas linhas de água, bem como das estruturas de amortecimento de cheias	
4.12	Dar cumprimento ao D.L. nº364/98 que estabelece a obrigatoriedade por parte dos PMOT da elaboração de cartas de Zonas Inundáveis nos municípios com aglomerados urbanos atingidos por cheias	54; 56
EROSÃO HÍDRICA		
4.18	Implementar medidas de intervenção prioritárias por bacia hidrográfica	64
4.19	Proceder à conservação dos poios e levadas nas bacias com maior risco de erosão	

Nº	OBJETIVOS OPERACIONAIS	AÇÕES REALIZADAS OU A REALIZAR
4.20	Reforço dos programas de reflorestação das bacias hidrográficas onde o risco de erosão é mais elevado, sobretudo no flanco Sul da ilha da Madeira e ilha do Porto Santo e para combate aos fogos florestais	59
4.21	Implementar obras de correção nas bacias hidrográficas com maior risco de erosão e desprendimento de terras	
4.22	Incluir recomendações relativamente às áreas críticas de risco a introduzir nos planos de proteção civil	
TRANSPORTE SÓLIDO		
4.23	Melhorar o conhecimento sobre o fenómeno de transporte sólido através da monitorização e análise de dados	61

Código de cores: Verde – ações cumprem a medida na totalidade; Amarelo: ações cumprem parcialmente a medida; Vermelho – Não há qualquer correspondência entre a medida e as ações identificadas.

Parece particularmente relevante a intenção de estender a avaliação do risco de aluviões (realizada pelo Estudo apenas para as cinco ribeiras mais afetadas pelo evento de 20/02/2010) a toda a Madeira (ação 56). Juntamente com a intenção manifesta pelo Governo Regional de construir um SIG centrado nos riscos geológicos/geomorfológicos (ação 54), esta medida deverá contribuir significativamente para um conhecimento aprofundado e integrado da distribuição do risco de cheias/aluviões no território madeirense, permitindo (em harmonia com as medidas propostas no Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões no Arquipélago da Madeira), orientar o tipo de ocupação do território, definir critérios de ocupação de zonas perigosas de acordo com o risco associado, e eventualmente deslocar infraestruturas e bens sensíveis que, estando em zonas críticas, não possam ser protegidas a um custo razoável. Em suma, o conhecimento possibilitado por estas duas medidas específicas deverá permitir delimitar para a generalidade do território madeirense zonas inundáveis, leitos de cheia e infraestruturas em interferência com o domínio hídrico (objetivos operacionais 4.2 e 4.3; Quadro 1), e finalmente construir a cartografia de zonas inundáveis cuja obrigatoriedade para os municípios afetados por cheias está prevista na lei (D.L. 364/98, de 21 de Novembro) e contemplada pelo objetivo operacional 4.12 do PRAM.

3.2.2. Movimentos de massa em vertentes

No caso dos movimentos de vertente, as ações nºs 54 e 58 (Anexo 1) vêm cumprir na totalidade o único Objetivo Operacional estabelecido no PRAM (O.Op. 4.27), centrado na realização de cartografia de riscos geológicos/geotécnicos. As ações acima referidas, ambas constantes do PIDDAR 2015, incluem não só a intenção de elaboração de mapas de perigosidade de deslizamentos, mas também a integração deste risco com as cheias/aluviões num único SIG, com evidentes benefícios num contexto de apoio à decisão.

3.2.3. Galgamentos

O único Objetivo Operacional do PRAM relativo aos galgamentos oceânicos prende-se com a necessidade de “desenvolver estudos sobre os efeitos das inundações nas áreas ribeirinhas por ação do mar”. As duas ações identificadas relativamente a este fenómeno consistem ambas em obras de reforço da proteção da frente marítima (no Funchal e na Calheta; ações nºs 2 e 52 no Anexo 1), pelo que este objetivo é cumprido apenas marginalmente. Não há indicação de qualquer intenção de desenvolvimento de estudos sistemáticos.

4. Propostas para reforço da capacidade de adaptação

Como se depreende do levantamento efetuado nos capítulos anteriores, os diversos estudos efetuados, particularmente após o evento de fevereiro de 2010 (IST/UA/LREC, 2010; NEMUS/HIDROMOD, 2014), incorporam já um conjunto relevante de propostas que, devidamente implementadas, poderiam constituir avanços significativos no processo adaptativo da Região Autónoma da Madeira às alterações climáticas. Como se verificou, também, muitas dessas propostas, particularmente as de natureza estrutural, quase todas focadas nos cursos de água, foram já concretizadas no terreno, faltando, no entanto, avaliar a sua capacidade efetiva de cumprir os propósitos para que foram construídas.

Da avaliação das vulnerabilidades atuais e futuras, emerge a noção clara que é fundamental investir no aprofundamento dos conhecimentos e na monitorização dos processos; aliás, esta necessidade está já presente em estudos anteriores, mas, ao contrário das obras mais “pesadas”, está ainda longe de ser cumprida. Destacam-se, de seguida, as medidas de adaptação consideradas mais relevantes para responder aos desafios ambientais atuais e futuros nas ilhas da Madeira e de Porto Santo. Tendo em conta a diversidade de propostas já enquadradas em estudos anteriores, mais do que apresentação de novas ações de adaptação, retomam-se algumas das já efetuadas, em alguns casos amplificando-as e aprofundando-as, numa perspetiva integrada que se considera essencial no contexto dos fenómenos naturais aqui analisados.

Estudos de dinâmicas de vertentes, sedimentar e fluvial

Considera-se imprescindível a intensificação e aprofundamento dos estudos de dinâmica fluvial, numa perspetiva sistémica, interrelacionando os processos de erosão hídrica, dinâmica de massa em vertentes, transporte sedimentar e escoamento fluvial. Na verdade, vários estudos referem a importância dos movimentos de vertente – **deslizamentos** e **escoadas** – na quantidade de sedimentos que alimentam o escoamento fluvial em período de cheias, dando origem às **aluviões**. Outros, mais recentes (Simões, 2015), confirmam a grande importância dos deslizamentos no desencadeamento das escoadas, que se propagam até aos fundos de vale.

Os estudos dos **movimentos de massa em vertentes** devem centrar-se em duas abordagens complementares: por um lado, a avaliação das condições do território, com vista à **identificação das áreas com maior suscetibilidade**; por outro, a **identificação de limiares de precipitação**, que permitam antecipar a sua ocorrência.

No primeiro caso, o cálculo da suscetibilidade permite obter a sua distribuição no território, identificando as infraestruturas mais vulneráveis (habitações, estradas, *levadas*, etc.), de forma a permitir uma gestão mais eficaz do perigo. Adicionalmente, permitirá uma atuação mais direcionada e eficaz através de **medidas de prevenção e de implantação de estruturas de proteção** (reflorestação, estabilização de vertentes, localização de barreiras de retenção de sedimentos, etc.). A identificação de áreas com grande propensão para gerar sedimentos deverá ser **enquadrada em cada bacia hidrográfica**, dando relevância às medidas de adaptação naquelas que coincidam com setores em que a dinâmica fluvial é elevada e propiciadora da ocorrência de cheias, com vista a diminuir o impacto das aluviões.

No segundo caso, é exigido um acompanhamento (automático ou não) das vertentes, identificando o seu comportamento em confronto com os registos de precipitação acumulada. Para tal, é necessário **investimento em estações pluviométricas**, estrategicamente localizadas, e com registos contínuos, idealmente com transmissão de dados por telemetria, que poderão estar enquadradas em um sistema mais amplo de alerta à ocorrência de movimentos de massa em vertentes e cheias (referido mais adiante).

Em qualquer dos casos, e para os diversos fenómenos – deslizamentos, escoadas, cheias e aluviões –, seria importante uma **recolha sistemática e metódica de ocorrências** associadas a cada evento meteorológico, baseada em diversas fontes de informação, em que se procedesse ao levantamento da data de ocorrência, localização mais aproximada possível e identificação dos impactos associados.

Como se verifica de seguida, o conhecimento resultante dos diversos estudos servirá, também, para suportar medidas nos domínios da socioeconomia, da governança e da tecnologia.

Estudos de dinâmica marítima

A subida do nível médio das águas do mar constitui um dos factos mais seguros, no contexto das alterações climáticas. Os valores de referência encontrados nos diversos estudos, na ordem de 40 a 50 cm de elevação até final do presente século, embora possam ser considerados moderados, vão, certamente, levar a uma alteração das condições da dinâmica marítima e a um reajustamento das atividades humanas junto à costa. Neste sentido, será importante desenvolver **estudos de modelação da dinâmica marítima para vários cenários futuros**, identificar as atividades e as infraestruturas que possam vir a ser, de alguma forma, afetadas e, nesta sequência, avaliar as medidas a tomar, que poderão passar pelo reforço das estruturas de proteção costeira, realocação de infraestruturas e, em alguns casos, abandono das atividades, quando a relação custo-benefício assim o determinar.

Neste contexto, deve ser dada **atenção particular à ilha de Porto Santo**, devido à existência de condições litorais específicas, com uma faixa costeira de praia e dunas, de muito baixa altitude, que se estende ao longo da maior parte do setor sudeste da ilha.

Sistema de alerta contra as cheias e movimentos de vertentes

Tendo em conta as condições naturais e humanas da ilha da Madeira, que se traduzem em bacias hidrográficas com tempos de resposta e tempos de concentração muito pequenos, fortes dinâmicas do escoamento e grande abundância de transporte de material sólido dos cursos de água, a existência de um **sistema de alerta contra cheias e movimentos de massa em vertente** assume-se como imprescindível. Devido aos **tempos de concentração muito baixos** da generalidade das bacias hidrográficas da ilha da Madeira, na maior parte inferiores a 2h, mas frequentemente com apenas cerca de 1h, tal como acontece com a maioria das pequenas bacias que drenam para a costa sul da ilha, nas quais se destacam as que drenam para o Funchal (IST/UA/LREC, 2010), **este sistema de alerta deve revestir-se de algumas especificidades**. Neste contexto, tão ou mais importante do que o conhecimento em tempo real dos quantitativos de precipitação sobre as bacias hidrográficas ou dos caudais em diversas secções dos cursos de água, é a **capacidade para antever, em algumas horas, a aproximação de sistemas atmosféricos depressionários capazes de gerar precipitações muito intensas na ilha da Madeira**. Neste sentido, e sem diminuir a importância da existência de estações hidrométricas e pluviométricas neste sistema de alerta, deve ser analisada a inclusão de um **Radar Meteorológico** com vista a fornecer uma informação relativamente precisa e fiável, com a antecipação de apenas algumas horas, em complemento com as previsões mais alargadas (superiores a 1 dia), igualmente importantes, que podem ser obtidas a partir de **modelos de previsão numéricos com resolução adequada**, da responsabilidade do IPMA.

Obviamente, um sistema de acompanhamento e alerta deve funcionar assente no conhecimento dos mecanismos geotécnicos e hidrológicos que gerem os movimentos de massa em vertentes e a dinâmica do escoamento nas bacias hidrográficas, pelo que o seu enquadramento no conhecimento obtido a partir dos estudos das dinâmicas de vertentes, sedimentar e fluvial (referidos anteriormente) é imprescindível para garantir uma otimização dos recursos tecnológicos e para alcançar os resultados pretendidos.

Construção de estruturas de proteção

A curto prazo, as obras de proteção em vertentes, nas ribeiras e na faixa costeira podem ser consideradas essenciais para corrigir problemas graves detetados com base no funcionamento recente dos sistemas. Em todo o caso, como se comprova pelo Anexo 1 e em vários documentos disponíveis (veja-se, por exemplo, o Jornal da Madeira, de 4 de dezembro de 2014⁵), as várias dezenas de ações desde fevereiro de 2010 têm incidido maioritariamente em obras de proteção costeira (2 ações), de estabilização de vertentes (11 ações) e, principalmente, associadas aos

5 <http://www.jornaldamadeira.pt/flips/frentemar/FLASH/index.html>.

curtos de água (44 ações), em que se destaca claramente a Intervenção sobre leitos/canais fluviais (40 das anteriores).

Tendo em conta o referido, o conhecimento do funcionamento dos sistemas naturais, quer nas condições atuais quer em contexto de alterações climáticas (tal como descrito em ponto anteriores), permitirá, a curto e médio prazo, **ações direcionadas e com maior capacidade de efeito adaptativo às condições atuais e futuras**. Por exemplo, a colocação de estruturas de retenção de sedimentos nos leitos das ribeiras terá um efeito mais eficaz se for conhecida previamente, com base na modelação e análise de suscetibilidade, onde se localizam os setores das bacias hidrográficas mais propensos para a cedência de material sólido, quer através de erosão hídrica quer através de movimentos de massa em vertentes.

Conservação e alteração do uso e ocupação do solo

As medidas de conservação ou de alteração de usos do solo podem constituir ações importantes no sentido de diminuir a erosão hídrica do solo e, em alguma medida, os movimentos superficiais de massa em vertentes, atenuando assim a quantidade de sedimentos transportados para os cursos de água. Incluem-se aqui duas ações: medidas de **apoio à agricultura com vista à manutenção dos poios**; medidas de **reflorestação**. Neste último caso, devem previamente ser feitos estudos no sentido de **avaliar as espécies e as formações vegetais mais adequadas**, ou seja, que fornecem uma maior proteção ao solo.

Formação e sensibilização das populações para a perceção do risco

A **educação da população para o risco** deve englobar um conjunto de ações muito diversificadas, particularmente transversal a toda a sociedade madeirense. Um desses níveis constitui a **(re)educação de técnicos com vista à sensibilização para as questões de riscos naturais na Região Autónoma da Madeira**; este nível é particularmente importante, pois são, muitas vezes, estes técnicos que funcionam como agentes transmissores de informação entre as entidades oficiais e os indivíduos e como agentes que controlam as ações destes indivíduos no terreno.

Outro nível incide nas **ações de formação e sensibilização das populações quanto às áreas de risco**. Este nível pretende chegar à sociedade em geral, através de grupos de indivíduos, mas considerando, em última análise, **cada pessoa como um ator fundamental no processo de proteção civil**, quer no que diz respeito ao conhecimento dos fatores de risco quer no que diz respeito ao reconhecimento das condições que antecipam a sua ocorrência. Neste contexto, e como complemento, aconselha-se a intensificação destas **ações de perceção do risco em determinadas populações-alvo**, ou seja, em pequenos grupos de risco selecionados (crianças em escolas, idosos, etc.), tendo por base, numa primeira fase, populações amostrais (determinado conjunto de indivíduos em contexto de riscos específicos) que possam ser extrapoladas para o resto do território.

5. Referências bibliográficas

- › IST/UA/LREC (2010) – *Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha de Madeira. Relatório Base*. Secretaria Regional do Equipamento Social, Funchal.
- › NEMUS/HIDROMOD (2014) – *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Arquipélago da Madeira (RH10). Volume 1 – Relatório. Parte 2 – Caracterização e diagnóstico*. Direção Regional do Ordenamento do Território e Ambiente, Funchal.
- › Simões, E. (2015) – *Análise integrada da dinâmica de deslizamentos e escoadas nas bacias hidrográficas do sector central da Ilha da Madeira*. Dissertação do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.
- › SRA/INAG (2003) – *Plano Regional da Água da Madeira. Relatório Técnico* (versão para consulta pública). Secretaria Regional do Ambiente e Instituto da Água, Funchal.

Anexo 1

Ações de adaptação aos fenómenos (FEN) das cheias/ aluviões (CH), movimentos de vertente (MV) e galgamentos oceânicos (GA) concluídas, em curso ou previstas (1). As ações incidentes sobre mais do que um município são colocadas em baixo, com fundo cinzento.

Nº	FEN	MEDIDA	TIPOLOGIA	MUNICÍPIO	NOTAS
1	CH	Obras de proteção da frente marítima do Funchal - troço terminal da ribeira de S. João. A obra incluiu reposicionamento, aprofundamento e reforço do leito	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Funchal	Concluída. Inaugurada a 28/11/14
2	CH/ GA	Obras da zona litoral da empreitada dos troços terminais das ribeiras de João Gomes e Santa Luzia	Intervenções sobre leitos/canais fluviais; Proteção de frente marítima	Funchal	Concluída
3	CH	Construção de 4 estruturas de retenção (açudes) na ribeira de S. João	Retenção de sedimentos	Funchal	Concluída (inauguração a 17/10/2014)
4	CH	Construção de 4 estruturas de retenção (açudes) na ribeira de Sta. Luzia	Retenção de sedimentos	Funchal	Concluída (inauguração a 18/9/2013)
5	CH	Construção de 4 estruturas de retenção (açudes) na ribeira de João Gomes	Retenção de sedimentos	Funchal	Concluída (inauguração a 13/09/2013)
6	CH	Regularização e canalização da Ribeira da Vargem	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	S. Vicente	Concluída em 5/2014
7	CH	Regularização e canalização da Ribeira do Vasco Gil	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Funchal	Concluída em 5/2014

Nº	FEN	MEDIDA	TIPOLOGIA	MUNICÍPIO	NOTAS
8	CH	Canalização da ribeira da Tábua	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Ribeira Brava	Ribeira está canalizada até ao sector terminal em 3/2014. Intervenção específica na foz inaugurada em 18/11/2014
9	CH	Regularização e canalização da ribeira da Ribeira Brava	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Ribeira Brava	Conclusão prevista: Março 2015
10	CH	Implementação de um sistema automático de monitorização das ribeiras de João Gomes, Santa Luzia, S. João e Ribeira Brava.	Sistemas de vigilância e alerta	Funchal, Ribeira Brava	Ativa desde Outubro 2014
11	CH	Regularização e canalização do Ribeiro do Monte a montante do Largo da Fonte	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Funchal	Despesa autorizada a 7/8/2014
12	CH	Regularização da canalização da ribeira da Tábua a montante da E.R.222, no sítio da Terça	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Ribeira Brava	Despesa autorizada a 7/8/2014
13	CH	Regularização e canalização das ribeiras da Fajã das Éguas, da Pereira e da Eirinha	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Ribeira Brava	Despesa autorizada a 7/8/2014
14	CH	Regularização e canalização do troço final da ribeira da Madalena do Mar	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Ponta do Sol	Despesa autorizada a 7/8/2014
15	CH	Regularização e canalização do ribeiro de Santana e do ribeiro da Água de Mel, desde as zonas altas de São Roque até à Penteadá.	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Funchal	Concluídas. Inauguradas em 02/10/2014
16	CH	Reconstrução da passagem hidráulica e muros de canalização do 1.º ribeiro do Lazareto - S. Gonçalo.	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Funchal	Concluída em 07/2011
17	CH	Regularização e canalização do ribeiro da Carne Azeda, a jusante da rua Dr. Ângelo Augusto Silva - Funchal.	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Funchal	Concluída em 07/2013
18	CH	Canalização do ribeiro da Chega, na Vereda das Lajes	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Funchal	Concluída em 09/2013
19	CH	Regularização e canalização do ribeiro da Capela, no Curral das Freiras.	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Câmara de Lobos	Concluída. Inaugurada em 18/09/2013
20	CH	Regularização e canalização dos ribeiros do caminho do Lombo do Moleiro - Serra de Água.	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Ribeira Brava	Em curso. Expropriação declarada de utilidade pública em 21/10/2014
21	CH	Regularização e canalização de um afluente do ribeiro Serrão na Ponte de Pau, na Camacha - Santa Cruz.	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Santa Cruz	Em curso. Expropriação declarada de utilidade pública em 21/10/2014
22	CH	Regularização e canalização da ribeira do Vigário - Câmara de Lobos.	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Câmara de Lobos	Em curso. Repartição dos encargos orçamentais com expropriação autorizada a 27/07/2014

Nº	FEN	MEDIDA	TIPOLOGIA	MUNICÍPIO	NOTAS
23	CH	Regularização e canalização do ribeiro da Corujeira - 2.ª fase - Monte, Funchal.	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Funchal	Em curso. Expropriação declarada de utilidade pública em 29/07/2014
24	CH	Regularização e Canalização da Ribeira da Janela	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Porto Moniz	Concluída. Inaugurada a 23/10/2014
25	CH	Obra de desvio do Ribeiro da Pena para a Ribeira de João Gomes	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Funchal	Concluída em 06/2011
26	CH	Canalização e alargamento do ribeiro das Babosas	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Funchal	Concluída em 06/2011
27	CH	Desvio do ribeiro da Quinta das Freiras - Caniço	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Santa Cruz	Em curso. Repartição dos encargos orçamentais com expropriação autorizada a 29/07/2014
28	CH	Regularização e canalização do ribeiro das Eiras - Caniço	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Santa Cruz	1º Fase concluída em 09/2013
29	CH	Execução de muros de canalização e travessões no Ribeiro do Vale Paraíso	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Santa Cruz	Concluída em 07/2011
30	CH	Intervenção na secção de vazão, construção de muros e soleiras no Ribeiro do Palheiro Ferreiro	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Santa Cruz	Concluída em 07/2011
31	CH	Reconstrução da passagem hidráulica, muros de canalização e outras intervenções no Ribeiro Seco	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Santa Cruz	Concluída em 07/2011
32	CH	Canalização do ribeiro Serrão	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Santa Cruz	Concluída em 07/2011
33	CH	Desassoreamento, construção de muros de canalização no ribeiro Lareão	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Santa Cruz	Concluída em 07/2011
34	CH	Construção de muros e da rede de esgotos na ribeira dos Bois	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Santa Cruz	Concluída em 07/2011
35	CH	Execução de passagens hidráulicas, muros e travessões na ribeira do Castelejo	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Santa Cruz	Concluída em 07/2011
36	CH	Execução de muros de canalização, travessões e um pontão na ribeira de Boaventura	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Santa Cruz	Concluída em 07/2011
37	CH	Ribeira de Santa Cruz - Reforço das fundações da muralha, construção de travessões e proteção dos muros e dos apoios de ponte.	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Santa Cruz	Concluída em 07/2011
38	CH	Ribeira de Machico, Ribeiros do Caramachão, Pestana, Lajes e Pico Queimado - reforço de fundações, construção de muros de canalização e de travessões	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Machico	Concluídas a 08/2011
39	CH	Reconstrução de passagens hidráulicas e muros de canalização no ribeiro do Tareco	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Ponta do Sol	Concluída em 2011

Nº	FEN	MEDIDA	TIPOLOGIA	MUNICÍPIO	NOTAS
40	CH	Regularização e canalização do ribeiro da Abegoaria	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Santa Cruz	Contratada a 18/12/2014. Finalização prevista para 07/2015
41	MV	Consolidação do talude das Balseiras	Estabilização de vertentes	Câmara de Lobos	Concluída em 2011
42	MV	Estabilização do talude do Garachico, em Câmara de Lobos	Estabilização de vertentes	Câmara de Lobos	Concluídas em 07/2013
43	MV	Fixação do talude da Maiata	Estabilização de vertentes	Machico	Concluídas em 08/2011
44	MV	Estabilização da plataforma rodoviária de um troço da Estrada Regional 107	Estabilização de vertentes	Câmara de Lobos	Em curso. Expropriação declarada de utilidade pública a 25/06/2014
45	MV	Estabilização do talude marginal à ribeira da Fajã das Éguas	Estabilização de vertentes	Ribeira Brava	Concluída desde 01/2012
46	MV	Estabilização do talude da E.R.222 - Moledos	Estabilização de vertentes	Ponta do Sol	Em curso. Despesa autorizada pelo Gov. Regional em 22/05/2014
47	MV	Consolidação do talude leste da estrada de acesso à vila da Ponta do Sol	Estabilização de vertentes	Ponta do Sol	Concluída a 07/2011
48	MV	Estabilização do talude sobranceiro ao cais da Ponta do Sol	Estabilização de vertentes	Ponta do Sol	Concluída
49	MV	Estabilização da Estrada Regional 101 - Quebradas - Arco de São Jorge	Estabilização de vertentes	Santana	Concluída em 2011
50	MV	Estabilização da escarpa sobranceira à Marginal da Calheta-1ª Fase	Estabilização de vertentes	Calheta	Concluída em 2012
51	MV	Estabilização da Estrada Regional 221 - Seixal	Estabilização de vertentes	Porto Moniz	Concluída
52	GA	Reforço da proteção marítima da praia da Calheta	Proteção de frente marítima	Calheta	Concluída

Nº	FEN	MEDIDA	TIPOLOGIA	MUNICÍPIO	NOTAS
53	CH	Intenções de redimensionar passagens hidráulicas e linhas de água de menor dimensão	Intervenções sobre leitos/canais fluviais		
54	CH/ MV	Intenções de construir um SIG centrado nos riscos geológicos e geomorfológicos para 2015 (cheias/aluviões/movimentos de vertente)	Espacialização do risco ou perigosidade/apoio à decisão		
55	CH	Intenções de desenvolvimento de ações de divulgação pública e formação sobre o risco de aluviões	Sensibilização/Formação	Madeira em geral	
56	CH	Intenções de estender a avaliação do risco de aluviões realizada pelo IST a toda a ilha da Madeira	Espacialização do risco ou perigosidade/apoio à decisão		
57	CH	Intenção de conceber o sistema de previsão e alerta de aluviões	Sistemas de vigilância e alerta		
58	MV	Intenção de elaboração de mapas de perigosidade de deslizamentos	Espacialização do risco ou perigosidade/apoio à decisão		
59	CH	Intenção de prosseguimento das ações de controlo da erosão e torrencialidade nos sectores de cabeceira, recorrendo a reflorestação	Controlo da erosão/torrencialidade	Paul da Serra, zonas sobranceiras ao Funchal, Porto Santo	Medidas previstas no Plano e Programa de Investimentos e Despesas de Desenvolvimento da Região Autónoma da Madeira (PIDAR) 2015
60	CH	Intenções de prosseguimento das ações de limpeza e gestão preventiva das ribeiras, incluindo o redimensionamento de passagens hidráulicas	Intervenções sobre leitos/canais fluviais		
61	CH	Intenções de monitorização hidrológica das bacias hidrográficas com maior grau de vulnerabilidade às cheias rápidas	Sistemas de vigilância e alerta		
62	CH	Monitorização do funcionamento das infraestruturas hidráulicas de controlo do transporte de material sólido e manutenção e limpeza das mesmas (açudes e outras estruturas de retenção);	Intervenções sobre leitos/canais fluviais	Madeira em geral	
63	CH	Intenções de avaliar os condicionamentos sociais na prevenção do risco de aluviões	Espacialização do risco ou perigosidade/apoio à decisão		
64	CH	Elaboração de Cartas de Erosão Específica para a Ilha da Madeira	Espacialização do risco ou perigosidade/apoio à decisão		

⁽¹⁾ Foi ainda ser considerada a "Recuperação e canalização dos ribeiros do Trapiche e do Laranjal, em Santo António no Funchal (Bacia hidrográfica de São João) e respetivas passagens hidráulicas", que se encontra contabilizada nas estatísticas presentes neste relatório.

