

Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira - Fase 2

Nota técnica F1

Sistema de modelação hidrológica

Dezembro de 2017



Sistema de Modelação Hidrológica

Ficha do documento	
Projecto	Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira - Fase 2
Coordenação	António Betâmio da Almeida (IST), Rodrigo Proença de Oliveira (IST), Paulo França (UMa)
Cliente	Governo Regional da Madeira / Direcção-Regional de Infra-estruturas e equipamentos
Documento	Nota técnica F1: Sistema de Modelação Hidrológica
Autores	Rodrigo Proença de Oliveira, António Betâmio de Almeida
Data	Dezembro de 2017
Versão	Versão para divulgação publica



Sistema de Modelação Hidrológica

Índice de texto

Índice de texto.....	iii
Índice de figuras	iii
Índice de quadros.....	iii
1 Enquadramento	5
2 Descrição geral do sistema de modelação hidrológica	6
3 Breve descrição do modelo de funcionamento do HEC-HMS	7
3.1 Descrição geral e apresentação dos eventos incluídos nos ficheiros entregues	7
3.2 Simulação de outros eventos hipotéticos associados a outros períodos de retorno	9
3.3 Simulação de eventos reais.....	9
4 Identificação e caracterização das bacias hidrográficas objeto de simulação hidrológica....	10
5 Estimativas dos hietogramas e dos hidrogramas.....	13
6 Considerações finais.....	18
7 Referências Bibliográficas	18
8 Anexo A - Tempo de concentração e lag-time das várias bacias hidrográficas	19
9 Anexo B - Estimativas da precipitação diária máxima anual (mm).....	22
10 Anexo C – Estimativas do caudal de ponta de cheia de eventos históricos	23

Índice de figuras

Figura 1: Interface do HEC-HMS.....	9
Figura 2: Hietograma de projeto genérico.	14

Índice de quadros

Quadro 1: Bacias hidrográficas incluídas nos sistema de modelação hidrológica.....	11
Quadro 2: Valores mínimos, máximos, médios e medianos dos ratios de precipitação referentes às durações de 1h, 3h, 6h, 12h e 24h.....	14

Quadro 3: Estimativas dos valores máximos anuais da precipitação em 6 horas, obtidos pelo método de interpolação espacial de krigging (mm).	14
Quadro 4: Estimativas de caudal de ponta de cheia	16
Quadro 5: Tempo de concentração e lag time, para cada bacia, consoante as fórmulas de Giandotti, Kirpich, Temez e SCS.	20
Quadro 6: Estimativas da precipitação diária máxima anual (mm).	22
Quadro 7: Estimativas de caudais de ponta de cheia de eventos históricos, de acordo com simulações realizadas no HEC – HMS (Caetano, 2014).....	23
Quadro 8: Comparação das estimativas de caudais de ponta de cheia resultantes das simulações no HEC – HMS (Caetano, 2014) com estudos anteriores.....	23

Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira - Fase 2

1 Enquadramento

Este documento foi produzido no âmbito da 2ª fase do Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira (EARAM2), um projeto desenvolvido para o Governo Regional da Madeira por um consórcio constituído pelo Instituto Superior Técnico (IST), pela Associação para o Desenvolvimento do IST (ADIST) e pela Universidade da Madeira (UMa).

O EARAM2 vem na sequência da 1ª fase do Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira, lançado pela Secretaria Regional do Equipamento Social da Região Autónoma da Madeira (SRES) após o acontecimento hidrológico ocorrido em 20 de fevereiro de 2010. Os trabalhos da referida 1ª Fase decorreram entre 1 de maio e 31 de dezembro de 2010 e tiveram os seguintes objetivos gerais:

- Caracterização fenomenológica do evento de 20 de fevereiro;
- Avaliação dos riscos associados às aluviões na Ilha da Madeira;
- Estabelecimento de princípios gerais de orientação das intervenções de prevenção e proteção.

O âmbito geográfico desta 1ª fase compreendeu a área abrangida pelas bacias hidrográficas mais afetadas pelo evento de 20 de fevereiro de 2010: as bacias das ribeiras de João Gomes, Santa Luzia e São João, do Concelho do Funchal, e as bacias das ribeiras da Ribeira Brava e Tabua, do Concelho da Ribeira Brava.

A descrição dos estudos efetuados, as principais conclusões obtidas e os princípios orientadores propostos foram apresentados no Relatório Final (dezembro de 2010), no Relatório-Síntese (novembro de 2010) e no relatório com os Princípios Orientadores (agosto de 2010).

O EARAM2 complementa os trabalhos da 1ª fase do projeto e tem os seguintes objetivos estratégicos:

- Aprofundar o conhecimento sobre o fenómeno das aluviões, melhorar a metodologia para avaliação do risco e contribuir para a implementação da Diretiva da EU sobre cheias e inundações (Diretiva 2007/60/CE) à Região Autónoma da Madeira;
- Estender a avaliação do risco a toda a ilha da Madeira;
- Conceber o sistema de previsão e aviso de aluviões;
- Avaliar os condicionalismos sociais na prevenção do risco de aluviões
- Desenvolver ações de divulgação pública e de formação sobre este tipo de risco.

Este documento é um dos produtos intermédios do EARAM2 e tem por principal objetivo servir de apoio ao sistema de modelação hidrológica fornecido à região e, numa primeira fase, instalado no LREC.

Este documento pode ser objeto de revisão e atualização frequente e deve, por isso, ser lido como um elemento de trabalho. A versão final do documento será integrada no relatório final do projeto.

2 Descrição geral do sistema de modelação hidrológica

O sistema de modelação hidrológica é baseado no pacote de modelação HEC-HMS (v.4.2), desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center* dos EUA. Este software oferece várias opções para simular o processo de transformação da precipitação em escoamento durante eventos pluviosos isolados.

O site <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/> disponibiliza o software de modelação e vários elementos de apoio à sua aprendizagem e utilização.

O sistema de modelação hidrológica entregue pode ser utilizado para estimar o hidrograma de cheia resultantes de:

1. hietogramas de projeto associados a uma determinada probabilidade de ocorrência (ou período de retorno) (simulação para efeitos de análises de risco ou dimensionamento de infraestruturas);
2. eventos de precipitação reais ocorridos no passado (simulação de situações históricas);
3. eventos de precipitação que estejam a ocorrer ou que se prevê que venha a ocorrer (simulação em tempo real).

Os ficheiros entregues dizem respeito à situação 1, mas podem ser alterados para se analisarem as situações 2 e 3, bastando para isso alterar os dados relativos à precipitação.

O sistema foi configurado para estimar os hidrogramas de cheia de 26 bacias hidrográficas identificadas no capítulo 3. Os ficheiros entregues estão organizados em 26 diretorias, cada uma respeitante a uma destas bacias hidrográficas. Cada diretoria inclui vários ficheiros criados e geridos pela aplicação HEC-HMS, devendo o utilizador abrir o ficheiro com extensão *hms*. Todos os restantes ficheiros são geridos pelo HEC-HMS.

Para efeitos de simulação cada bacia-hidrográfica foi dividida entre uma e quatro sub-bacias, consoante a sua dimensão. Esta subdivisão permite definir valores de precipitação distintos para cada uma das sub-bacias e obter valores de caudal em secções intermédias da rede hidrográfica da bacia hidrográfica.

Entre as opções de simulações disponíveis, optou-se por adotar a metodologia proposta pelo *Soil Conservation Service* (SCS) para o cálculo da infiltração e definição do hidrograma unitário. Nesta metodologia cada sub-bacia é caracterizada pela sua área, o seu número de escoamento (CN) e o seu tempo de atraso (*lag time*). Assume-se que o *lag-time* é 60% do tempo de

concentração. O Quadro 1 apresenta as características das bacias hidrográficas e de suas sub-bacias.

Os hietogramas de projeto para os vários períodos de retorno foram calculados a partir de mapas de precipitação diária máxima anual para os períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos obtidos por interpolação de valores pontuais associados a 66 estações udométricas. Os hietogramas de projeto assumem uma duração de 6 horas, discretizada em intervalos de 5 minutos. O capítulo 5 descreve o método de cálculo destes hietogramas.

A aplicação da metodologia do *Soil Conservation Service* e dos hietogramas, descritos no capítulo 5, conduz aos valores de caudal de ponta de cheia apresentados no Quadro 4. A incerteza em torno dos valores de precipitação e do processo de transformação da precipitação em escoamento dita que a margem de erro associado a estas estimativas pode ser significativa. O sistema de modelação pode ser utilizado para estimar os valores de caudal de ponta de cheia resultados de outras premissas de cálculo.

3 Breve descrição do modelo de funcionamento do HEC-HMS

3.1 Descrição geral e apresentação dos eventos incluídos nos ficheiros entregues

A descrição completa das funcionalidades do pacote de simulação HEC-HMS pode ser lida no manual disponível em <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>. Este capítulo apenas introduz, de forma muito breve, a estrutura do modelo adotado para a simulação dos eventos de cheia das 26 bacias hidrográficas e como as principais hipóteses de simulação podem ser alteradas.

Os ficheiros referentes a cada bacia estão reunidos numa pasta com o nome da sub-bacia. O programa HEC-HMS deve ser utilizado para abrir o ficheiro *hms*, disponível na *root* de cada pasta. A abertura do ficheiro *hms* relativo a uma bacia hidrográfica faz surgir uma árvore no canto superior esquerdo da interface com os seguintes elementos (Figura 1):

- *Basin models;*
- *Meteorological models;*
- *Control specification;*
- *Time series data.*

O ramo *Basin models* permite consultar e gerir a sub-divisão da bacia hidrográfica em sub-bacias e como estas estão unidas através de um curso de água (*reach*). É também aqui que se define para cada sub-bacia os modelos de infiltração e de transformação (*Loss method* e *Transformation method*) a utilizar no cálculo do hidrograma de cheia a partir da precipitação e o método de transposição do hidrograma de cheia ao longo do curso de água.

Depois de definir o tipo de modelos utilizados é também necessário registar os valores dos parâmetros destes modelos. Nos ficheiros entregues optou-se por adotar modelos propostos pelo *Soil Conservation Service* e uma simples transposição do hidrograma ao longo do curso de

água sem atenuação da ponta de cheia (*Lag method*). Os parâmetros destes modelos são os seguintes

- Modelo de perdas (SCS): Numero de escoamento (CN), valor entre 0 e 100, em que 0 representa uma bacia hidrográfica completamente permeável que não gera escoamento superficial e 100 uma bacia hidrográfica completamente impermeável que não permite infiltração;
- Modelo de transformação (SCS): Tempo de atraso (Lag time), considerado igual a 60% do tempo de concentração;
- Modelo de transposição (Lag): Tempo de atraso ou de escoamento (Lag time), igual ao tempo de percurso do escoamento ao longo do curso de água.

O ramo *Meteorological models* permite definir os eventos pluviosos que se presente simular. Estes eventos são calculados a partir dos dados das séries de tempo registadas no ramo *Time Series Data*. Nos ficheiros entregues estão definidos dois eventos hipotéticos de precipitação com 6 horas de duração e associados a períodos de retorno de 100 e 500 anos. Optou-se por criar uma estação de monitorização associada a cada sub-bacia, sendo que a precipitação sobre cada sub-bacia é calculada como 100% do registo dessa estação. Como se considerou que a distribuição no tempo do valor acumulado da precipitação é idêntica para os dois eventos, no ramo *Meteorological models* apenas se definiu o valor total da precipitação registado em 6 horas.

No ramo *Time Series Data* registam-se a série valores incrementais da precipitação. No caso presente a distribuição de precipitação é idêntica para ambos os eventos.

Finalmente no ramo *Control Specification* são definidas as simulações que se pretende correr, nomeadamente o período de simulação e o intervalo de cálculo.

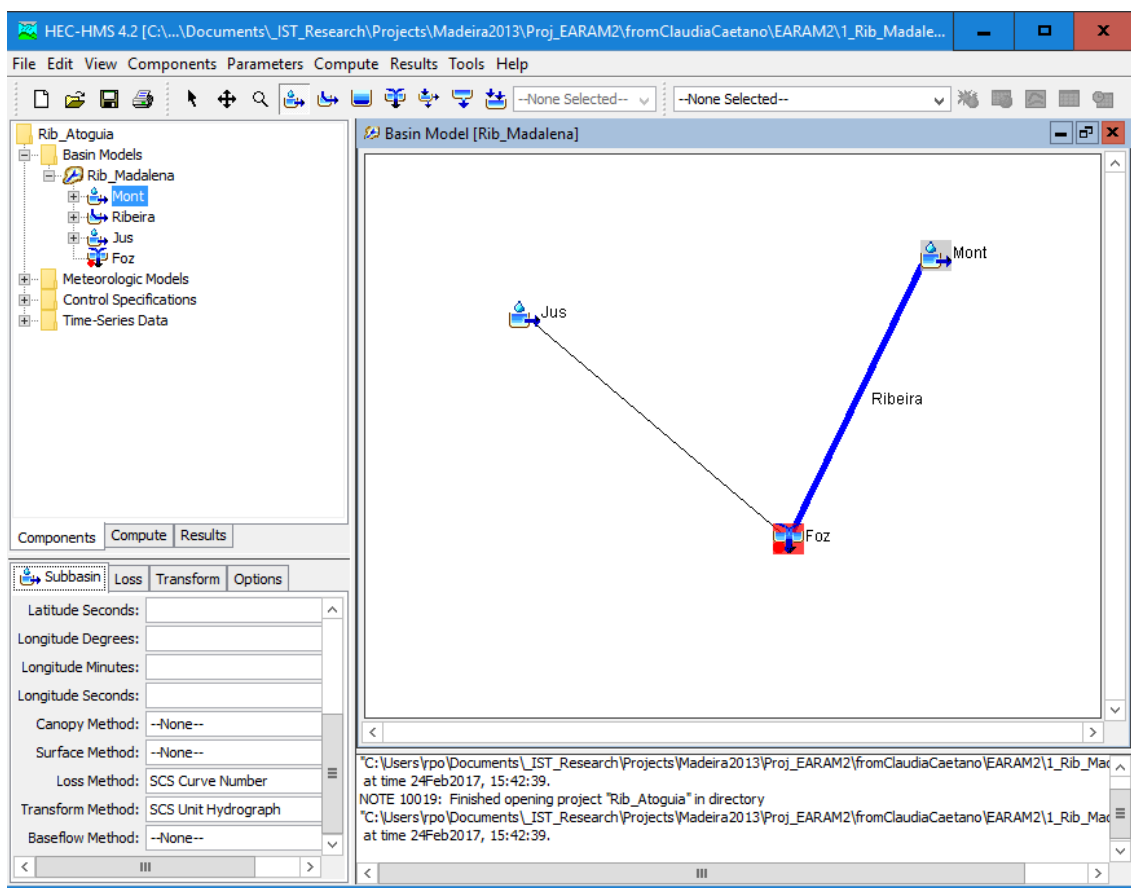


Figura 1: Interface do HEC-HMS

3.2 Simulação de outros eventos hipotéticos associados a outros períodos de retorno

Os ficheiros entregues incluem as simulações de fenómenos hipotéticos de cheia, associados aos períodos de retorno de 100 e 500 anos. É bastante simples simular os fenómenos de cheia associados aos períodos de retorno de 20 e 50 anos, bastando para isso:

- Copiar um dos eventos meteorológicos definido no ramo *Meteorological models*, dando-lhe um nome diferente, por exemplo T=20 e T=50;
- Em cada novo evento, alterar os valores de precipitação acumulados em 6 horas em cada estação udométrica, colocando os valores apresentados no Quadro 3;
- No menu *Compute* criar novas simulações, uma para cada novo evento de precipitação;
- No menu *Compute* correr as novas simulações;
- Em *Results* consultar os resultados.

3.3 Simulação de eventos reais

Para simular eventos reais de precipitação é necessário

- No ramo *Time Series Data*, registar os valores incrementais de precipitação para cada uma das estações de monitorização com registos do evento;

- No ramo *Meteorological models* criar um evento de precipitação, selecionando uma das seguintes opções:
 - Specified hyetograph, se quisermos definir o hietograma de cada sub-bacia apenas em função do registo de uma única estação udográfica;
 - Gage weights, se quisermos definir o hietograma de cada sub-bacia como uma média ponderada dos registos de várias estações udográficas;
- No menu *Compute* criar uma nova simulação, para o novo evento de precipitação;
- No menu *Compute* correr a simulação;
- Em *Results* consultar os resultados.

No anexo C são apresentados algumas estimativas de caudais de ponta de cheia de eventos históricos, retirados de Caetano (2014).

4 Identificação e caracterização das bacias hidrográficas objeto de simulação hidrológica

O Quadro 1 identifica as bacias hidrográficas incluídas no sistema de modelação hidrológica e que coincidem com as 26 zonas críticas identificadas na ilha da Madeira no documento produzido pelo SRA e DROTA “Implementação da Diretiva nº 2007/60/CE, de 23 de outubro, transposta pelo Decreto-Lei nº 115/2010, de 22 de outubro (Diretiva sobre a Avaliação e Gestão dos Riscos de Inundações) na Região Autónoma da Madeira”. São também apresentadas as principais características das bacias hidrográficas e suas sub-bacias hidrográficas, nomeadamente a área e o declive médio da bacia hidrográfica, o número de escoamento para condições de humidade do solo AMCIII, o tempo de concentração estimado através da fórmula do SCS (*Soil Conservation Service*).

Na determinação do número utilizou-se a Carta de Solos da ilha da Madeira (IICT et al., 1992) e a Carta de Uso do Solo da Madeira (COSRAM, 2007), escala 1:10 000, com resolução de 0.25 ha de área mínima cartográfica.

Na estimativa do tempo de concentração, foram estudadas várias fórmulas para estimar o de tempo de concentração, nomeadamente Giandotti, Kirpich, Temez e SCS, tendo-se constatado que as fórmulas de Kirpich e do SCS eram aquelas que propiciam as menores estimativas do tempo de concentração e que, por isso, determinam caudais de ponta de cheia mais elevados. O Anexo A apresenta os cálculos dos valores do tempo de concentração e do tempo de atraso (*lag-time*).

Quadro 1: Bacias hidrográficas incluídas nos sistema de modelação hidrológica

Nº	Bacia hidrográfica	Secção (cota)	Área da bacia (km ²)	Área da sub-bacia (km ²)	Declive médio da bacia (%)	Declive médio da sub-bacia (%)	CN AMIII (-)	Tconc (h)
1	Ribeira da Madalena do Mar	Ribeira da Madalena, entre Casa Velha e Achada da Silva (344m)	9.59	7.54	52.4	46.8	89	0.3
		Foz		2.06		73.0	90	0.6
2	Ribeira da Ponta do Sol	Cruzamento entre Ribeira da Ponta do Sol e Ribeiro Frio, Lombo das Terças (347m)	19.06	13.47	67.3	67.6	89	0.5
		Foz		5.59		66.7	91	0.6
3	Ribeira da Tabua	Ribeira da Tabua, entre Vale Zimbreiro e Ribeiro da Tabua (348m)	8.75	5.57	68.4	68.5	89	0.5
		Foz		3.17		68.3	90	0.3
4	Ribeira Brava	Entre Pereira e Pinheiro, perto da Serra de Água - Este (291m)	41.07	15.45	84.0	89.0	89	0.5
		Entre Pereira e Pinheiro, perto da Serra de Água - Oeste (291m)		5.70		94.0	89	0.3
		Ribeira de Serra de Água, perto de Pomar da Rocha (93m)		15.39		80.6	89	0.4
		Foz		4.54		65.8	89	0.3
5	Ribeira do Vigário	Ribeira da Caixa, entre Furneira e Foro (495m)	15.42	5.46	47.3	51.7	90	0.5
		Foz		9.97		44.8	93	0.5
6	Ribeira dos Socorridos	Cruzamento entre Ribeira do Curral e Ribeira do Cidrão, entre Achada e Poço do Borralho (509m)	38.75	15.78	100.8	112.9	89	0.4
		Foz		22.97		92.6	90	0.8
7	Ribeira do Ribeiro Seco	Foz	2.74		22.8		96	0.5
8	Ribeira de S. João	Ribeira de Santo António, Boieiro (658m)	14.65	4.40	50.0	62.0	89	0.5
		Foz		10.25		44.8	93	0.6
9	Ribeira de Santa Luzia	Ribeira de Santa Luzia, entre Lombo da Ameixeira e Barreira (462m)	14.21	7.35	60.6	73.4	89	0.5

Nº	Bacia hidrográfica	Secção (cota)	Área da bacia (km ²)	Área da sub-bacia (km ²)	Declive médio da bacia (%)	Declive médio da sub-bacia (%)	CN AMIII (-)	Tconc (h)
		Foz		6.86		46.8	93	0.5
10	Ribeira de João Gomes	Ribeira de João Gomes/ Arrebetão (690m)	11.52	4.99	50.5	40.7	89	0.6
		Foz		6.53		57.9	88	0.9
11	Ribeiro da Nora	Foz	1.77		28.2		96	0.4
12	Ribeiro do Lazareto	Foz	3.91		44.2		91	0.5
13	Ribeira da Abegoaria	Foz	2.66		36.6		91	0.7
14	Ribeira do Porto Novo	Ribeira do Porto Novo, entre Cancela e Eiras de Dentro (692 m)	17.04	6.21	48.2	42.8	89	0.5
		Foz		10.83		51.2	90	0.6
15	Ribeira da Boaventura	Ribeiro dos Vinháticos, Eiras Velhas (480m)	10.42	6.17	49.5	44.7	89	0.7
		Foz		4.25		56.5	90	0.4
16	Ribeira de Santa Cruz	Ribeira de Santa Cruz, Poiso (493m)	12.81	7.61	42.1	32.6	89	0.7
		Foz		5.20		56.0	90	0.5
17	Ribeira de Machico	Ribeira de Machico, entre Maroços e Ribeira Grande (176m)	24.37	11.24	51.0	50.8	89	0.5
		Foz		13.12		51.2	91	0.5
18	Ribeira da Maiata	Foz	5.38		68.2		90	0.4
19	Ribeira do Junçal	Foz	4.59		67.1		90	0.5
20	Ribeira do Faial	Ribeiro Frio, perto de Banda da Rocha (319m)	49.82	11.76	83.4	62.2	88	0.7
		Ribeira da Metade, perto de Cova do Rocha Machado (468m)		8.83		116.9	89	0.4
		Ribeira Seca, perto de Fajã dos Pombos (350m)		7.64		104.7	89	0.3
		Foz		21.6		73.7	88	0.5
21	Ribeira de São Jorge	Ribeira de S. Jorge, Achada do Milheiro/Achada do Negro (196m)	32.18	14.32	78.9	97.3	88	0.5
		Foz		17.86		64.2	89	0.5
22	Ribeira do Porco (Boaventura)	Ribeira do Porco, entre Lombo do Urzal e Falca de Cima (350m)	20.12	10.87	101.8	115.4	88	0.5
		Foz		9.25		85.8	89	0.3
23	Ribeira dos Moinhos (Boaventura)	Foz	5.12		72.5		89	0.5

Nº	Bacia hidrográfica	Secção (cota)	Área da bacia (km ²)	Área da sub-bacia (km ²)	Declive médio da bacia (%)	Declive médio da sub-bacia (%)	CN AMIII (-)	Tconc (h)
24	Ribeira de São Vicente	Ribeira de S. Vicente, entre Limoeiro e Corrida (118m)	37.71	25.51	79.2	80.8	89	0.6
		Foz		12.21		76.0	89	0.3
25	Ribeira da Laje	Foz	1.72		84.2		88	0.3
26	Ribeira da Janela	Próximo do cruzamento: Ribeiro dos Bodes e Ribeira da Janela (505m)	51.49	19.24	59.6	39.4	89	1.3
		Foz		32.26		71.7	88	0.5

5 Estimativas dos hietogramas e dos hidrogramas

Os valores pontuais da precipitação diária máxima anual para os vários períodos de retorno foram estimados pela análise dos máximos anuais dos registos de 44 estações, com mais de 29 anos de dados, e pela análise das séries de duração de parcial de 12 estações, com registos entre 10 e 20 anos de dados. No primeiro caso, aplicou-se a função de distribuição de probabilidades generalizada de extremos (GEV) de distribuição, na sequência da avaliação do ajustamento aos registos observados pelas distribuições log-normal de dois parâmetros (lei de Galton), log-normal de três parâmetros, generalizada de extremos (*Generalized Extreme Values*, GEV), Gumbel (GEV tipo I), Pearson tipo III e a log-Pearson tipo III. No segundo caso, selecionou-se um nível de corte x_0 que assegurasse a verificação da hipótese de Poisson e, paralelamente, que os valores superiores a x_0 seguissem uma distribuição generalizada de Pareto.

Os valores de precipitação diária máxima anual de cada sub-bacia, e associados aos vários períodos de retorno, foram calculados mapas de precipitação diária máxima anual para os períodos de retorno de 20, 50, 100 e 500 anos obtidos por interpolação de valores pontuais associados a 66 estações udométricas. No anexo B apresentam-se as estimativas da precipitação diária máxima anual para os diversos períodos de retorno, obtidas por vários métodos de interpolação espacial.

Para permitir o cálculo de precipitações associadas a duração sub-diárias determinaram-se a mediana dos quocientes entre a precipitação máxima anual numa duração d e a precipitação diária máxima anual (Quadro 2). Reconhece-se que estes quocientes podem depender do período de retorno, conforme é o caso de Portugal Continental (Brandão et al., 2001), mas neste estudo não se disponha de dados suficientes para validar essa hipótese.

Quadro 2: Valores mínimos, máximos, médios e medianos dos ratios de precipitação referentes às durações de 1h, 3h, 6h, 12h e 24h.

	Mínimo	Máximo	Média	Mediana
1h/1D	0.17	0.51	0.28	0.27
3h/1D	0.36	0.79	0.52	0.52
6h/1D	0.57	0.87	0.70	0.68
12h/1D	0.76	1.11	0.92	0.90
24h/1D	1.05	1.39	1.18	1.18

Tendo em conta a ordem de grandeza dos tempos de concentração das bacias hidrográficas da ilha da Madeira, considerou-se uma duração de 6 horas para o hietograma de projeto. A Figura 2 apresenta, em forma gráfica, a distribuição temporal da precipitação ao longo das 6 horas.

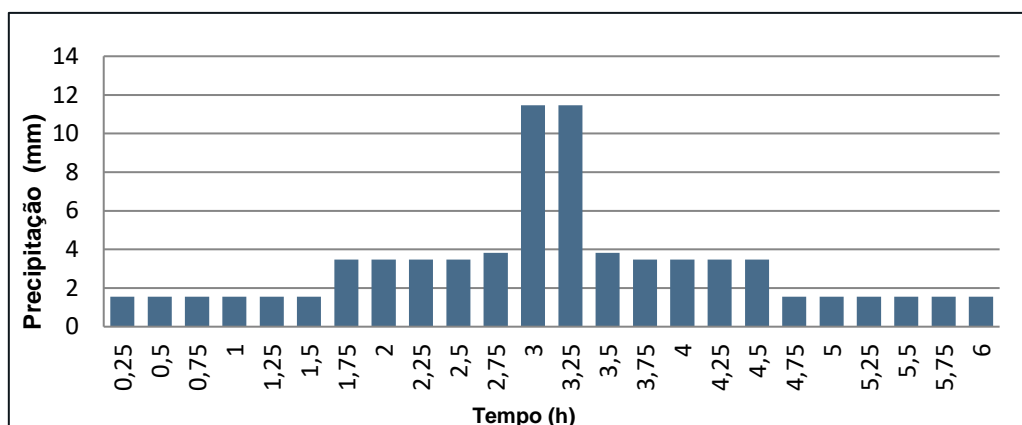


Figura 2: Hietograma de projeto genérico.

O valor total acumulado da precipitação depende do período de retorno. O Quadro 3 apresenta as estimativas dos valores máximos anuais da precipitação em 6 horas para os vários períodos de retorno, obtidos pelo método de interpolação espacial de krigging.

Quadro 3: Estimativas dos valores máximos anuais da precipitação em 6 horas, obtidos pelo método de interpolação espacial de krigging (mm).

Nº	Sub-bacia	Altitude média (m)	T=20 anos	T=50 anos	T=100 anos	T=500 anos
1	Rib. Madalena Jus	391	113	129	141	170
1	Rib. Madalena Mont	1069	123	141	155	190
2	Rib. Pta do Sol Jus	423	116	132	144	173

Nº	Sub-bacia	Altitude média (m)	T=20 anos	T=50 anos	T=100 anos	T=500 anos
2	Rib. Pta do Sol Mont	1166	133	153	168	207
3	Rib. Tabua Jus	362	120	137	149	180
3	Rib. Tabua Mont	925	124	142	156	190
4	Rib. Brava Jus	347	120	138	151	184
4	Rib. Brava M1	933	147	171	191	248
4	Rib. Brava M2	952	139	161	179	228
4	Rib. Brava M3	718	125	144	158	196
5	Rib. Vigário Jus	518	119	138	154	195
5	Rib. Vigário Mont	938	130	150	167	211
6	Rib. Socorridos Jus	772	139	162	180	230
6	Rib. Socorridos Mont	1166	156	182	203	262
7	Rib. do Ribeiro Seco	186	124	141	155	188
8	Rib. S. João Jus	504	130	150	165	205
8	Rib. S. João Mont	1291	150	174	193	243
9	Rib. Sta Luzia Jus	442	129	150	165	203
9	Rib. Sta Luzia Mont	1210	147	170	187	232
10	Rib. João Gomes Jus	665	132	152	167	202
10	Rib. João Gomes Mont	1225	142	162	177	215
11	Ribeiro da Nora	264	130	151	167	207
12	Ribeiro do Lazareto	511	130	151	166	203
13	Rib. da Abegoaria	538	128	147	161	193
14	Rib. Porto Novo Jus	597	129	148	161	194
14	Rib. Porto Novo Mont	1114	142	162	177	213
15	Rib. Boaventura Jus	479	128	147	161	195
15	Rib. Boaventura Mont	959	145	166	181	218
16	Rib. Sta Cruz Jus	475	133	151	165	197
16	Rib. Sta Cruz Mont	812	144	164	179	215
17	Rib. Machico Jus	286	132	151	165	197
17	Rib. Machico Mont	559	138	157	172	206
18	Rib. da Maiata	319	140	161	177	215
19	Rib. do Juncal	400	150	172	189	229
20	Rib. Faial Jus	490	155	180	199	249
20	Rib. Faial M1	1068	151	173	189	227
20	Rib. Faial M2	1151	153	176	193	240
20	Rib. Faial M3	1093	156	181	201	254
21	Rib. S. Jorge Jus	621	146	173	198	272
21	Rib. S. Jorge Mont	948	144	172	197	274
22	Rib. Porco Jus	483	144	174	201	287
22	Rib. Porco Mont	1006	150	178	202	273
23	Rib. Moinhos - Boav	617	147	177	204	289
24	Rib. S. Vicente Jus	615	152	179	201	266

Nº	Sub-bacia	Altitude média (m)	T=20 anos	T=50 anos	T=100 anos	T=500 anos
24	Rib. S. Vicente Mont	824	151	178	201	266
25	Ribeira da Laje	643	139	163	183	239
26	Rib. Janela Jus	748	129	153	172	228
26	Rib. Janela Mont	1257	136	157	174	219

A aplicação da metodologia do *Soil Conservation Service* e dos hietogramas, descritos no capítulo 5, conduz aos valores de caudal de ponta de cheia apresentados no Quadro 4. A leitura dos ficheiros entregues através do HEC-HMS permite consultar uma descrição mais pormenorizada de cada evento, nomeadamente a evolução no tempo da precipitação, infiltração e caudal.

Quadro 4: Estimativas de caudal de ponta de cheia

Nº	Bacia hidrográfica	Secção (cota)	Área da bacia (km ²)	Área da sub bacia (km ²)	CN AMIII (-)	Tconc (h)	Q20 (m ³ /s)	Q50 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	Q500 (m ³ /s)
1	Ribeira da Madalena do Mar	Ribeira da Madalena, entre Casa Velha e Achada da Silva (344m)	9.59	7.54	89	0.3	158	187	209	264
		Foz		2.06	90	0.6	170	200	223	282
2	Ribeira da Ponta do Sol	Cruzamento entre Ribeira da Ponta do Sol e Ribeiro Frio, Lombo das Terças (347m)	19.06	13.47	89	0.5	256	302	337	425
		Foz		5.59	91	0.6	287	337	376	472
3	Ribeira da Tabua	Ribeira da Tabua, entre Vale Zimbreiro e Ribeiro da Tabua (348m)	8.75	5.57	89	0.5	93	109	122	154
		Foz		3.17	90	0.3	112	132	147	184
4	Ribeira Brava	Entre Pereira e Pinheiro, perto da Serra de Água - Este (291m)	41.07	15.45	89	0.5	340	403	457	607
		Entre Pereira e Pinheiro, perto da Serra de Água - Oeste (291m)		5.70	89	0.3	136	161	182	238
		Ribeira de Serra de Água, perto de Pomar da Rocha (93m)		15.39	89	0.4	300	355	398	507
		Foz		4.54	89	0.3	787	933	1051	1369
5	Ribeira do Vigário	Ribeira da Caixa, entre Furneira e Foro (495m)	15.42	5.46	90	0.5	180	213	239	310
		Foz		9.97	93	0.5	206	245	276	359
6	Ribeira dos Socorridos	Cruzamento entre Ribeira do Curral e Ribeira do Cidrão, entre Achada e Poço do Borrvalho (509m)	38.75	15.78	89	0.4	405	482	545	720

Nº	Bacia hidrográfica	Secção (cota)	Área da bacia (km ²)	Área da sub bacia (km ²)	CN AMIII (-)	Tconc (h)	Q20 (m ³ /s)	Q50 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	Q500 (m ³ /s)
		Foz		22.97	90	0.8	527	626	707	929
7	Ribeira do Ribeiro Seco	Foz	2.74		96	0.5	55	63	70	85
8	Ribeira de S. João	Ribeira de Santo António, Boieiro (658m)	14.65	4.40	89	0.5	189	221	246	310
		Foz		10.25	93	0.6	213	251	280	355
9	Ribeira de Santa Luzia	Ribeira de Santa Luzia, entre Lombo da Ameixeira e Barreira (462m)	14.21	7.35	89	0.5	153	181	202	257
		Foz		6.86	93	0.5	200	236	264	333
10	Ribeira de João Gomes	Ribeira de João Gomes/Arrebetão (690m)	11.52	4.99	89	0.6	92	107	119	148
		Foz		6.53	88	0.9	132	155	172	212
11	Ribeiro da Nora	Foz	1.77		96	0.4	41	47	53	66
12	Ribeiro do Lazareto	Foz	3.91		91	0.5	74	88	98	122
13	Ribeira da Abegoaria	Foz	2.66		91	0.7	43	51	56	69
14	Ribeira do Porto Novo	Ribeira do Porto Novo, entre Cancela e Eiras de Dentro (692)	17.04	6.21	89	0.5	126	147	162	199
		Foz		10.83	90	0.6	219	257	286	353
15	Ribeira da Boaventura	Ribeiro dos Vinháticos, Eiras Velhas (480m)	10.42	6.17	89	0.7	110	129	142	175
		Foz		4.25	90	0.4	137	160	177	217
16	Ribeira de Santa Cruz	Ribeira de Santa Cruz, Poiso (493m)	12.81	7.61	89	0.7	133	155	171	209
		Foz		5.20	90	0.5	167	194	215	262
17	Ribeira de Machico	Ribeira de Machico, entre Maroços e Ribeira Grande (176m)	24.37	11.24	89	0.5	221	259	287	352
		Foz		13.12	91	0.5	313	365	403	493
18	Ribeira da Maiata	Foz	5.38		90	0.4	124	145	161	200
19	Ribeira do Junçal	Foz	4.59		90	0.5	99	116	128	159
20	Ribeira do Faial	Ribeiro Frio, perto de Banda da Rocha (319m)	49.82	11.76	88	0.7	223	260	287	355
		Ribeira da Metade, perto de Cova do Rocha Machado (468m)		8.83	89	0.4	207	220	271	345
		Ribeira Seca, perto de Fajã dos Pombos (350m)		7.64	89	0.3	204	230	263	342
		Foz		21.6	88	0.5	771	868	1004	1274
21	Ribeira de São Jorge	Ribeira de S. Jorge, Achada do Milheiro/Achada do Negro (196m)	32.18	14.32	88	0.5	381	467	542	767

Nº	Bacia hidrográfica	Secção (cota)	Área da bacia (km ²)	Área da sub bacia (km ²)	CN AMIII (-)	Tconc (h)	Q20 (m ³ /s)	Q50 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	Q500 (m ³ /s)
		Foz		17.86	89	0.5	454	561	655	938
22	Ribeira do Porco (Boaventura)	Ribeira do Porco, entre Lombo do Urzal e Falca de Cima (350m)	20.12	10.87	88	0.5	224	273	315	439
		Foz		9.25	89	0.3	288	352	410	600
23	Ribeira dos Moinhos (Boaventura)	Foz	5.12		89	0.5	106	132	155	227
24	Ribeira de São Vicente	Ribeira de S. Vicente, entre Limoeiro e Corrida (118m)	37.71	25.51	89	0.6	513	620	711	972
		Foz		12.21	89	0.3	607	733	839	1142
25	Ribeira da Laje	Foz	1.72		88	0.3	41	49	56	76
26	Ribeira da Janela	Próximo do cruzamento: Ribeiro dos Bodes e Ribeira da Janela (505m)	51.49	19.24	89	1.3	234	276	314	409
		Foz		32.26	88	0.5	614	752	868	1196

6 Considerações finais

A incerteza em torno dos valores de precipitação e do processo de transformação da precipitação em escoamento dita que a margem de erro associado às estimativas apresentadas neste relatório pode ser significativa. O sistema de modelação pode ser utilizado para estimar os valores de caudal de ponta de cheia resultantes de outras premissas de cálculo.

7 Referências Bibliográficas

- Brandão, C., Rodrigues, R., & Costa, J. (2001). *Análise de fenómenos extremos. Precipitações intensas em Portugal Continental*. Lisboa, Portugal.
- Caetano, C., (2014), *Avaliação do risco de aluviões das ribeiras da ilha da Madeira, Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente, IST, Lisboa, Portugal*.
- IGP. (2010). *Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal para 2007 (COS2007)* (pp. 17–53). Lisboa, Portugal.
- IICT, CPUTL, UTL, & DRAM. (1992). *Carta dos Solos da Ilha da Madeira*. (J. Paz, A. Constantino, A. Adelino, I. Roseira, E. Salvador, & C. Silva, Eds.). Lisboa, Portugal: Sogapal, Lda.

8 Anexo A - Tempo de concentração e lag-time das várias bacias hidrográficas

O tempo de concentração, t_c , é definido como tempo requerido para que uma gota de água se desloque do ponto cinematicamente mais afastado da secção final da bacia hidrográfica até essa mesma secção final. Considera-se que é uma propriedade intrínseca da bacia hidrográfica, independente da precipitação, podendo ser calculado a partir das características da bacia hidrográfica, nomeadamente a área da bacia, o comprimento do curso de água principal, a altura média da bacia, o declive médio do curso de água principal e ainda da diferença de cotas do curso de água principal.

Para efetuar o cálculo do tempo de concentração das bacias hidrográficas da ilha da Madeira utilizaram-se seguintes fórmulas empíricas: Giandotti, Kirpich, Temez e Soil Conservation Service.

Fórmula de Giandotti

$$t_c = \frac{4 \times \sqrt{A} + 1.5 \times L}{0.8 \times \sqrt{h_m}}$$

t_c – Tempo de concentração (h)

A – Área da bacia hidrográfica (km²)

L – Desenvolvimento do curso de água principal (km)

h_m – Altura média da bacia hidrográfica (m)

Fórmula de Kirpich (segundo Chow)

$$t_c = 0.95 \times \frac{L^{1.155}}{H^{0.385}}$$

t_c – Tempo de concentração (h)

L – Desenvolvimento do curso de água principal (km)

H – Diferença de cotas do curso de água principal (m)

Fórmula de Temez

$$t_c = 0.3 \times \left[\frac{L}{d_m^{0.25}} \right]^{0.76}$$

t_c – Tempo de concentração (h)

L – Desenvolvimento do curso de água principal da bacia (km)

d_m – Declive médio do curso de água principal da bacia (-)

Fórmula do Soil Conservation Service (SCS)

$$t_c = 0.057 \times \frac{L_{SCS}^{0.8}}{i_m^{0.5}} \times \left[\frac{1000}{CN} - 9 \right]^{0.7} \quad (3.5)$$

t_c – Tempo de concentração (h)

L_{SCS} – Distância à secção de referência do ponto cinematicamente mais afastado (km)

i_m – Declive médio da bacia hidrográfica (-)

CN – Número de escoamento da bacia hidrográfica, em condições AMCII e AMCIII (-)

O Quadro 5 apresenta os valores de tempo de concentração e *Lag time* para cada uma das bacias hidrográficas. No caso do método do SCS, são apresentados dois conjuntos de valores de t_c e *Lag time* para as duas condições antecedentes de humidade do solo.

Quadro 5: Tempo de concentração e lag time, para cada bacia, consoante as fórmulas de Giandotti, Kirpich, Temez e SCS.

Bacia	Giandotti		Kirpich		Temez		SCS			
	t_c (h)	Lag time (min)	t_c (h)	Lag time (min)	t_c (h)	Lag time (min)	CN-AMCII		CN-AMCIII	
							t_c (h)	Lag time (min)	t_c (h)	Lag time (min)
Ribeira Brava	1.99	71.50	1.25	44.83	3.35	120.51	1.38	49.62	0.94	34.01
Ribeira da Atouguia	0.74	26.51	0.29	10.29	0.99	35.76	0.79	28.58	0.55	19.71
Ribeira da Boaventura	1.25	45.04	0.87	31.45	2.55	91.64	1.41	50.78	0.98	35.12
Ribeira da Caldeira	0.75	26.84	0.31	11.32	1.00	36.08	0.61	21.86	0.45	16.19
Ribeira da Cruz	0.71	25.69	0.40	14.32	1.30	46.79	0.90	32.53	0.62	22.25
Ribeira da Janela	2.51	90.46	2.00	72.02	5.19	186.78	2.54	91.44	1.73	62.33
Ribeira da Madalena	0.93	33.38	0.54	19.61	1.75	62.98	1.11	40.02	0.76	27.48
Ribeira da Ponta do Sol	1.44	51.69	0.98	35.28	2.90	104.39	1.45	52.14	1.00	35.95
Ribeira da Tabua	1.07	38.48	0.61	22.11	1.92	69.14	1.05	37.69	0.72	25.94
Ribeira das Galinhas	0.66	23.90	0.36	12.88	1.18	42.32	0.87	31.47	0.61	21.95
Ribeira de João Gomes	1.16	41.83	0.79	28.61	2.42	87.20	1.50	53.84	1.02	36.64
Ribeira de Machico	2.27	81.63	1.25	45.16	3.23	116.28	1.57	56.51	1.09	39.21
Ribeira de S. Bartolomeu	1.05	37.76	0.57	20.66	1.74	62.66	0.96	34.49	0.66	23.74
Ribeira de S. Jorge	1.77	63.78	0.96	34.57	2.79	100.47	1.32	47.57	0.90	32.42
Ribeira de Santa Cruz	1.35	48.63	0.88	31.78	2.49	89.61	1.50	54.15	1.04	37.32
Ribeira de Santa Luzia	1.39	49.97	0.82	29.48	2.50	90.00	1.23	44.22	0.88	31.52
Ribeira de Santiago	0.94	33.87	0.58	20.91	1.78	64.17	1.18	42.64	0.82	29.42

Bacia	Giandotti		Kirpich		Temez		SCS			
	t _c (h)	Lag time (min)	t _c (h)	Lag time (min)	t _c (h)	Lag time (min)	CN-AMCII		CN-AMCIII	
							t _c (h)	Lag time (min)	t _c (h)	Lag time (min)
Ribeira de São Gonçalo	0.70	25.30	0.31	11.32	1.00	35.99	0.70	25.12	0.49	17.68
Ribeira de São João	1.49	53.72	0.91	32.62	2.70	97.17	1.32	47.68	0.95	34.30
Ribeira de São Vicente	1.76	63.31	0.79	28.49	2.37	85.15	1.16	41.61	0.79	28.37
Ribeira do Campanário	1.05	37.80	0.64	23.09	1.95	70.12	1.08	38.71	0.75	26.87
Ribeira do Faial	2.03	73.25	1.16	41.62	3.23	116.28	1.45	52.26	0.99	35.52
Ribeira do Inferno	0.66	23.74	0.36	12.99	1.18	42.30	0.55	19.74	0.37	13.36
Ribeira do Juncal	1.02	36.64	0.56	20.25	1.61	57.82	0.75	26.88	0.52	18.58
Ribeira do Porco	1.46	52.55	0.90	32.23	2.56	92.07	1.03	37.18	0.71	25.39
Ribeira do Porto Novo	1.56	55.98	1.12	40.28	3.12	112.32	1.70	61.16	1.18	42.40
Ribeira do Seixal	1.10	39.53	0.76	27.35	2.33	84.00	1.31	47.22	0.89	31.95
Ribeira do Serrado	0.75	26.93	0.32	11.44	0.91	32.73	0.58	20.76	0.40	14.42
Ribeira do Tristão	0.71	25.42	0.34	12.29	1.12	40.18	0.79	28.27	0.54	19.29
Ribeira do Vigário	1.35	48.63	0.74	26.70	2.18	78.48	1.13	40.60	0.80	28.97
Ribeira dos Câmbios	0.67	24.29	0.42	15.18	1.35	48.66	0.97	34.96	0.68	24.34
Ribeira dos Marinheiros	0.78	28.12	0.60	21.45	1.85	66.62	1.11	40.07	0.76	27.51
Ribeira dos Moinhos	1.03	37.00	0.77	27.60	2.25	80.90	1.29	46.30	0.89	32.20
Ribeira dos Socorridos	2.06	74.07	1.55	55.77	4.16	149.60	1.55	55.70	1.07	38.35
Ribeira Funda	0.91	32.60	0.59	21.42	1.81	65.08	1.00	36.12	0.69	24.80
Ribeira Seca	0.89	31.88	0.46	16.51	1.48	53.32	0.99	35.57	0.68	24.55
Ribeiro da Carnisa	0.54	19.49	0.28	10.25	0.96	34.64	0.57	20.44	0.39	13.87
Ribeiro do Caniço	1.01	36.19	0.59	21.12	1.74	62.62	1.13	40.80	0.80	28.73
Ribeiro dos Pregos	0.90	32.24	0.64	23.20	1.86	67.09	1.40	50.29	0.97	34.86

9 Anexo B - Estimativas da precipitação diária máxima anual (mm)

Quadro 6: Estimativas da precipitação diária máxima anual (mm).

Sub-bacia	Altitude média	T = 20 anos					T = 50 anos					T = 100 anos					T = 500 anos				
		Spline	IDW	Kriging	Cokriging (Simple)	Cokriging (Ordinary)	Spline	IDW	Kriging	Cokriging (Simple)	Cokriging (Ordinary)	Spline	IDW	Kriging	Cokriging (Simple)	Cokriging (Ordinary)	Spline	IDW	Kriging	Cokriging (Simple)	Cokriging (Ordinary)
Rib. Boaventura Jus	479,0	207,1	183,0	188,7	166,1	188,0	226,3	206,5	216,4	175,7	214,2	238,8	223,5	237,2	226,1	233,3	263,3	262,4	286,1	295,3	244,3
Rib. Boaventura Mont	959,0	241,5	222,8	213,2	240,7	231,1	275,8	252,9	243,4	285,3	260,4	300,9	274,9	266,1	295,7	281,4	357,6	325,4	320,0	361,9	296,2
Rib. Brava Jus	347,2	119,0	117,2	176,4	111,5	136,4	132,8	133,5	202,6	126,9	161,5	142,3	145,8	222,6	156,2	181,9	161,6	175,2	271,0	225,1	240,0
Rib. Brava M1	932,8	222,9	231,3	216,8	260,3	225,0	251,5	266,4	251,7	374,2	258,5	273,5	294,1	280,9	303,2	285,6	329,2	366,5	364,0	375,3	332,5
Rib. Brava M2	952,5	223,7	227,0	204,6	290,2	248,9	253,1	260,1	236,5	451,2	280,9	273,1	285,4	262,7	317,5	304,5	311,3	347,6	334,8	398,6	285,2
Rib. Brava M3	718,4	170,1	173,7	183,8	162,2	188,2	185,2	198,1	211,1	194,2	214,3	194,2	216,9	232,7	251,9	234,4	266,2	263,4	288,0	329,9	254,5
Rib. da Abegoaria	538,3	150,1	166,3	188,4	148,5	163,0	159,6	183,5	215,7	154,2	185,1	165,0	195,5	236,1	193,6	201,3	173,1	221,5	284,0	264,5	205,2
Rib. da Maiata	318,9	219,7	206,1	206,2	247,8	193,9	251,4	236,8	237,0	286,3	225,0	275,2	260,0	260,3	250,7	248,7	331,7	315,3	315,6	299,1	307,2
Rib. do Junçal	399,9	229,3	220,6	220,5	255,5	192,8	262,5	252,6	253,2	298,9	225,3	287,7	276,8	278,0	258,6	250,7	347,8	334,7	337,1	303,4	332,1
Rib. do Ribeiro Seco	185,5	119,0	150,5	181,7	116,1	134,8	144,8	178,8	207,9	145,4	159,8	166,2	201,5	227,8	178,2	180,1	223,3	259,6	276,3	246,7	257,4
Rib. Faial Jus	490,5	197,8	219,9	228,2	164,9	195,4	218,6	251,6	264,3	166,9	228,8	233,7	275,9	292,7	229,2	255,8	267,8	336,0	366,3	286,5	322,6
Rib. Faial M1	1067,8	258,2	254,2	222,8	283,5	235,8	297,5	293,1	253,8	337,5	268,9	327,1	322,5	277,4	309,0	294,0	397,0	392,7	334,2	363,7	358,3
Rib. Faial M2	1150,5	260,8	246,0	225,3	362,2	243,2	307,8	284,1	258,2	486,4	277,4	346,2	314,3	284,4	344,8	303,9	447,7	391,8	353,3	398,4	364,6
Rib. Faial M3	1092,8	224,9	235,8	229,1	318,4	238,9	263,6	274,9	265,6	428,8	276,6	294,8	306,3	295,0	297,6	306,7	375,6	388,8	373,7	366,9	351,3
Rib. Janela Jus	748,5	164,9	178,8	190,0	162,6	179,7	195,8	216,4	224,3	192,4	212,8	222,3	248,8	253,2	241,4	241,6	299,3	342,9	335,5	315,5	332,0
Rib. Janela Mont	1257,0	198,5	206,1	200,4	271,2	218,0	216,5	231,4	231,5	400,1	249,4	228,7	250,2	256,5	274,6	273,9	253,7	295,0	322,4	360,5	296,9
Rib. João Gomes Jus	664,5	169,0	171,1	193,9	191,4	183,8	193,2	197,2	220,0	224,0	212,2	211,9	217,2	245,0	215,4	234,0	257,9	266,2	297,7	287,2	241,3
Rib. João Gomes Mont	1225,5	249,8	242,3	208,2	250,6	256,2	287,8	278,8	238,1	282,5	288,4	316,7	306,5	260,8	324,4	311,4	386,4	372,9	315,8	393,1	336,8
Rib. Machico Jus	285,5	192,8	178,9	194,0	224,2	163,1	232,9	214,0	221,6	275,9	190,2	265,3	241,8	242,0	224,7	211,1	349,1	311,9	289,6	270,8	284,6
Rib. Machico Mont	558,9	219,2	203,4	202,4	262,8	203,2	250,0	231,5	231,3	310,0	235,4	272,7	252,1	252,9	263,6	259,7	325,5	299,3	303,6	314,9	311,6
Rib. Madalena Jus	390,6	174,9	162,1	166,2	128,9	150,6	201,3	185,1	189,5	133,5	176,4	221,2	202,6	207,2	216,9	197,2	267,3	244,6	250,1	289,3	264,9
Rib. Madalena Mont	1068,5	225,0	200,7	180,4	250,5	203,5	261,0	228,8	206,7	301,7	231,1	288,2	250,1	227,3	289,7	251,8	351,9	300,7	279,6	363,1	287,1
Rib. Moinhos - Boav	617,0	203,1	205,5	216,1	241,8	190,5	269,3	262,7	260,8	395,5	238,4	332,3	315,9	300,7	270,7	283,6	540,1	487,8	425,4	318,9	474,5
Rib. Porco Jus	483,0	192,9	198,4	211,0	193,3	197,8	241,5	243,1	255,4	244,7	247,1	285,9	283,3	295,3	271,4	293,7	428,0	409,3	421,4	336,3	462,8
Rib. Porco Mont	1006,0	216,5	217,5	220,7	237,6	213,7	278,8	271,5	261,7	335,7	254,9	339,1	322,0	297,1	300,1	290,8	543,4	487,1	401,5	360,1	435,4
Rib. Porto Novo Jus	596,9	193,0	179,8	189,8	179,9	189,5	208,9	197,6	217,1	194,6	214,4	219,1	209,8	237,5	222,7	232,4	238,8	235,7	285,4	292,9	252,6
Rib. Porto Novo Mont	1114,5	226,5	222,6	209,5	229,7	246,1	253,7	249,4	238,8	264,8	277,6	272,7	268,3	260,9	293,4	300,3	313,3	309,4	313,1	366,6	320,8
Rib. Pta do Sol Jus	422,9	139,5	127,5	171,0	139,3	142,7	164,7	150,9	194,5	177,3	166,5	184,4	169,8	212,1	194,5	185,4	233,2	219,4	253,7	268,2	251,3
Rib. Pta do Sol Mont	1165,8	213,5	201,4	195,8	330,6	242,0	243,3	229,4	224,7	526,8	273,0	264,7	250,5	247,2	299,6	295,7	310,4	301,3	303,8	385,2	288,0
Rib. S. João Jus	503,9	145,1	163,5	190,6	139,8	168,2	167,5	191,1	220,2	165,5	195,7	184,3	212,5	243,3	216,6	217,6	224,5	265,4	301,5	286,9	280,0
Rib. S. João Mont	1291,1	240,7	228,0	220,0	303,5	244,5	275,7	263,5	255,3	368,5	281,9	303,2	291,8	283,6	321,1	311,0	372,4	365,7	357,6	391,3	361,1
Rib. S. Jorge Jus	620,7	202,9	198,1	214,0	222,4	208,2	237,2	233,8	255,1	266,6	247,1	264,7	264,6	291,0	260,5	280,9	336,0	357,3	400,2	338,4	365,6
Rib. S. Jorge Mont	948,4	202,6	204,2	212,3	230,6	211,3	235,5	243,8	253,5	271,8	254,0	261,3	278,3	289,9	279,0	292,2	324,5	382,7	402,5	358,6	398,8
Rib. S. Vicente Jus	615,2	209,1	217,2	223,4	255,6	195,3	240,5	250,9	262,8	364,7	230,2	267,5	279,1	296,0	257,0	260,1	348,1	359,8	390,5	312,1	364,4
Rib. S. Vicente Mont	824,2	233,6	230,6	222,3	306,6	212,6	278,9	269,0	261,5	465,7	250,3	318,0	300,7	294,9	284,6	282,5	434,0	388,5	391,4	336,2	388,8
Rib. Socorridos Jus	772,2	199,0	196,9	204,1	212,8	190,6	219,9	223,9	237,8	239,8	223,1	236,0	245,7	265,0	240,0	249,8	276,2	304,4	338,1	308,8	325,7
Rib. Socorridos Mont	1165,9	217,6	216,8	229,2	253,1	228,9	260,9	254,6	267,0	316,0	266,8	301,6	289,3	298,3	306,1	298,2	435,8	400,1	385,1	374,4	400,2
Rib. Sta Cruz Jus	475,1	210,0	189,0	194,9	169,9	188,6	231,9	214,5	222,1	185,6	215,0	246,6	233,1	242,3	237,3	234,3	275,9	275,2	289,1	303,3	263,6
Rib. Sta Cruz Mont	812,2	239,3	218,5	212,1	265,4	214,6	273,1	247,2	241,7	322,2	242,4	297,6	268,0	263,9	292,0	262,5	352,9	314,8	316,0	348,9	305,3
Rib. Sta Luzia Jus	441,7	156,9	163,8	190,1	162,5	165,8	188,7	193,7	219,9	213,6	192,9	214,6	217,6	242,9	205,9	214,4	283,2	278,5	298,8	274,0	266,2
Rib. Sta Luzia Mont	1209,7	260,5	246,6	216,2	296,0	258,4	306,4	288,4	249,6	353,3	294,1	342,8	321,3	275,7	342,7	320,7	435,1	404,3	341,7	408,2	355,5
Rib. Tabua Jus	361,5	132,6	121,8	176,1	130,1	122,3	155,3	144,6	201,0	165,7	144,5	173,0	163,1	219,8	157,9	162,9	216,1	211,5	264,3	219,6	239,3
Rib. Tabua Mont	925,4	185,2	175,9	182,2	250,8	200,3	211,0	202,0	208,8	396,6	227,8	229,2	222,1	229,4	253,3	248,6	265,4	271,2	280,0	329,6	279,1
Rib. Vigário Jus	518,4	216,7	181,8	174,4	283,9	164,9	257,9	216,4	203,1	352,9	190,4	291,2	244,3	226,2	261,1	211,1	377,4	317,4	287,4	316,1	274,9
Rib. Vigário Mont	937,6	188,1	185,1	190,7	241,3	181,1	203,4	212,3	221,3	281,4	208,1	213,8	234,1	245,8	259,0	229,7	234,7	291,2	309,9	326,7	281,7
Ribeira da Laje	643,1	167,5	202,5	203,8	180,4	187,5	182,6	236,0	239,2	209,0	217,6	193,9	263,7	268,7	242,1	243,4	223,4	340,1	350,8	309,1	320,5
Ribeiro da Nora	264,5	117,4	121,3	190,7	119,5	133,4	134,4	138,8	221,6	135,4	156,0	147,3	152,0	245,5	164,1	173,7	177,7	182,9	303,8	228,8	202,8
Ribeiro do Lazareto	510,6	131,2	146,6	191,7	129,2	152,0	142,9	166,1	221,4	133,0	174,3	150,5	180,5	244,1	180,6	191,3	165,0	214,1	298,5	249,7	216,6

10 Anexo C – Estimativas do caudal de ponta de cheia de eventos históricos

Quadro 7: Estimativas de caudais de ponta de cheia de eventos históricos, de acordo com simulações realizadas no HEC – HMS (Caetano, 2014).

Evento	Bacia hidrográfica	Simulação		Postos udográficos usados	Caudal de ponta simulado, Q_p (m ³ /s)							
		Início	Fim		Giandotti		Kirpich		Temez		SCS	
					AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII
Outubro de 1993	Ribeira dos Socorridos	28-10-1993 09:00	31-10-1993 09:00	Curral das Freiras (Lapa Branca)	329	374	345	385	302	346	343	387
	Ribeira de S.João	28-10-1993 09:00	29-10-1993 09:00	Areeiro, Funchal-Obs., Sanatório, Sto António	156	195	168	206	117	144	161	197
Março de 2001	Ribeira de S.Vicente	03-03-2001 09:00	09-03-2001 07:00	B. Cana - LREC, S. Vicente – Passo	435	462	487	517	412	434	470	515
Dezembro de 2009	Ribeira de S.Vicente	18-12-2009 09:00	24-12-2009 23:30	Ach. Til-LREC, B.Cana - LREC, Encum.-LREC, Estanquinhos, S. Vicente-PF	370	396	467	501	299	320	381	488
Fevereiro de 2010	Ribeira de João Gomes	17-02-2010 09:00	23-02-2010 23:30	Ach. Grande, Areeiro – IGA, Funchal-Obs., Monte (P.E.F.),	227	237	246	257	199	207	225	254
	Ribeira de Sta Luzia	17-02-2010 09:00	23-02-2010 23:30	Achada Grande, Areeiro - IGA, Monte (P.E.F.)	316	323	334	342	282	289	311	354
	Ribeira de S.João	17-02-2010 09:00	23-02-2010 23:30	Trapiche – LREC	321	328	325	332	275	282	323	352
	Ribeira Brava	17-02-2010 09:00	23-02-2010 23:30	Encumeada - LREC, Trompica	506	579	601	689	486	566	572	686

Quadro 8: Comparação das estimativas de caudais de ponta de cheia resultantes das simulações no HEC – HMS (Caetano, 2014) com estudos anteriores.

Evento	Bacia	Q_p (m ³ /s) Estudos anteriores	Caudal de ponta, Q_p (m ³ /s)				
			Kirpich		SCS		
			AMCII	AMCIII	AMCII	AMCIII	

29 Outubro 1993	Ribeira dos Socorridos ¹	380	345	385	343	386
	Ribeira de S. João ²	250	168	205	160	197
5 e 6 Março 2001	Ribeira de São Vicente	-	486	516	470	515
22 Dezembro 2009	Ribeira de São Vicente	-	467	501	381	488
20 Fevereiro 2010	Ribeira de São João ³	305	324	331	322	351
	Ribeira de Santa Luzia ³	303	334	341	310	353
	Ribeira de João Gomes ³	234	245	256	224	253
	Ribeira Brava ³	663	601	688	572	685

¹ Estudo Hidrológico e Hidráulico da Ribeira dos Socorridos na Madeira (LNEC, 1997)

² Auto Zarco, Ribeira de S. João, Funchal (HP, 1993)

³ Estudo de avaliação do risco de aluviões na Ilha da Madeira, (IST et al., 2010)