



Modelação Hidrológica da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São Francisco – Ilha de Santa Maria

Jaime Braga Bairos

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas
de Informação Geográfica

Modelação Hidrológica da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São Francisco – Ilha de Santa Maria

Projeto orientado por:

Professor Doutor Pedro Cabral

Novembro de 2021

DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE

Declaro que o trabalho contido neste documento é da minha autoria e não de outra pessoa. Toda a assistência recebida de outras pessoas está devidamente assinalada e é efetuada referência a todas as fontes utilizadas (publicadas ou não).

O trabalho não foi anteriormente submetido ou avaliado na NOVA Information Management School ou em qualquer outra instituição.

Vila do Porto, 30 de novembro de 2021

Jaime Braga Bairos

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Pedro Cabral expresso a minha gratidão pelo apoio e orientação no desenvolvimento deste trabalho, e acima de tudo pela disponibilidade na resolução das dúvidas que surgiram ao longo do processo.

Gostaria igualmente de expressar o meu sincero agradecimento, a todos aqueles que me ajudaram na materialização deste trabalho, sobretudo à minha família e em especial à minha irmã, por todo o apoio.

A minha gratidão muito particular à Mónica e à Antónia.

Modelação Hidrológica da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São Francisco – Ilha de Santa Maria

RESUMO

O processo e análise de uma cheia constitui-se como um objeto de considerável importância e de múltiplos interesses, que vão desde a prevenção e mitigação de episódios de cheias até ao dimensionamento de infraestruturas hidráulicas.

O presente trabalho teve por objetivo produzir hidrogramas de cheia relativos aos eventos pluviométricos ocorridos e simulados na bacia hidrográfica de São Francisco, localizada na zona poente da ilha de Santa Maria – Açores, com recurso à combinação do modelo hidrológico com sistemas de informação geográfica.

Para o desenvolvimento deste trabalho fez-se uso de ferramentas que permitiram a realização de uma análise relativamente expedita e significativamente prática. Recorreu-se, concretamente, ao *software* da ESRI ArcGIS 10.6.1, com o auxílio das extensões ArcHydro, GeoHEC-HMS e GeoHEC-RAS, que culminou com a exportação para os *softwares* de modelação hidrológica HEC-RAS e HEC-HMS, onde se procedeu à calibração dos parâmetros e validação dos resultados.

Os dados de entrada definidos para o modelo HEC-HMS compreendem os hidrogramas de precipitação dos postos udométricos das Fontinhas, Praia Formosa e Aeroporto, numa série temporal de cinco anos, compreendidos entre 2015 e 2019, e o estabelecimento dos parâmetros referentes aos métodos de perda e de transformação como *SCS Curve Number* e *SCS Unit Hydrograph*, respetivamente.

Não obstante, o modelo poder ser melhorado com a introdução de mais parâmetros e melhor informação que permita reproduzir todas as condicionantes que caracterizam a bacia, nomeadamente no que se refere à distribuição espacial da precipitação e informação pedológica devidamente normalizada.

Realizada a análise conclui-se que a bacia hidrográfica de São Francisco não apresenta características que conduzam à ocorrência de grandes cenários de cheias, no entanto tal não invalida que estas não ocorram.

Modelação Hidrológica da Bacia Hidrográfica da Ribeira de São Francisco – Ilha de Santa Maria

ABSTRACT

The process and analysis of a flood is an object of considerable importance and multiple interests, ranging from prevention and the mitigation of flood episodes to the design of hydraulic infrastructure.

The present work aimed to produce flood hydrographs related to the pluviometric events that have occurred and were simulated in the hydrographic basin of São Francisco, located in the west zone of the island of Santa Maria – Azores, using the combination of the hydrological model with geographic information systems.

During the development of this work, tools were used to allow a relatively prompt and significantly practical analysis to be carried out. The ESRI ArcGIS 10.6.1 software was specifically used, with the help of the Archydro, GeoHEC-HMS and GeoHEC-RAS extensions, which culminated in the export to the HEC-HMS and HEC-RAS hydrological modeling and software, where the calibration of parameters and validation of results were carried out.

The input data established for the HEC-HMS model covers the hydrograph precepitation of Fontinhas, Praia Formosa and Aeroporto udometric stations, in a time period of five years, between 2015 and 2019, and the establishment of parameters related to the loss methods and transformation such as, SCS Curve Number and SCS Unit Hydrograph, respectively.

Nevertheless, the model can be improved with the introduction of more parameters and better information to allow the reproduction of all the constraints that characterize the basin, namely regarding the spatial distribution of rainfall and duly standardized foot data.

After the analysis, it is concluded that the São Francisco hydrographic basin does not present characteristics that lead to the occurrence of large flood scenarios, however this does not invalidate that these may not occur.

PALAVRAS-CHAVE

Bacia Hidrográfica de São Francisco; Caracterização Fisiográfica; Modelação Hidrológica;

KEYWORDS

São Francisco watershed; physical characterization, Hydrological Modeling.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
PALAVRAS-CHAVE.....	vii
KEYWORDS	viii
ÍNDICE DE QUADROS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ACRÓNIMOS	xiv
1 - INTRODUÇÃO.....	15
1.1 - Enquadramento	15
1.2 - Objetivos	16
1.3 - Organização da dissertação	17
2 - Sistemas de informação geográfica na avaliação física de bacias hidrográficas.....	19
2.1 – Ferramentas de modelação hidrológica.....	20
2.2 - Sistemas hidrológicos.....	23
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 - Enquadramento da área de estudo	26
3.2 - Metodologia.....	37
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
6 - CONCLUSÃO	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXO -A.....	90
ANEXO -B	94
ANEXO -C	96

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 Classificação hidrológica dos solos de acordo com o SCS	44
Quadro 2 Valores de CN para áreas rurais (adaptado de SCS, 1973)	44
Quadro 3 Definição das condições antecedentes de humidade (adaptado de Lencastre & Franco) ..	45
Quadro 4 Correção do número de escoamento (adaptado de SCS, 1973)	45
Quadro 5 Número de escoamento CN do SCS simplificado	47
Quadro 6 Discrção dos postos meteorológicos	48
Quadro 7 Precipitação média da bacia pelo método dos polígonos de Thiessen	49
Quadro 8 Cálculo da intensidade da precipitação para os diversos períodos de retorno e com diferentes tempos de precipitação (mm/h)	50
Quadro 9 Cálculo da precipitação total para os diversos períodos de retorno e com diferentes tempos de precipitação (mm/h).....	51
Quadro 10 Área e comprimento das sub-bacias do modelo	55
Quadro 11 Caraterísticas físicas da bacia processadas e atributos gerados na tabela de atributos ...	58
Quadro 12 Caraterísticas físicas da bacia da ribeira de são Francisco	59
Quadro 13 Caraterísticas morfológicas da bacia hidrográfica de São Francisco	60
Quadro 14 Tabela com os números de escoamento – CN calculados para a bacia hidrográfica de São Francisco.....	61
Quadro 15 Cálculo da precipitação útil para os diversos períodos de retorno e com diferentes tempos de precipitação (mm/h).....	62
Quadro 16 Cálculo das perdas iniciais da precipitação para os diversos períodos de retorno e com diferentes tempos de precipitação (mm/h)	63
Quadro 17 Cálculo dos caudais de ponta para a Ribeira de São Francisco	64
Quadro 18 Rede de drenagem da bacia da ribeira de são Francisco	64
Quadro 19 Resumo dos valores de saída referentes ao evento 1.....	70
Quadro 20 Resumo dos valores de saída referentes ao evento 2.....	73
Quadro 21 Resumo dos valores de saída referentes ao evento 3.....	76
Quadro 22 Resumo dos caudais de pico de drenagem relativamente à secção de vazão da passagem hidráulica	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Enquadramento Geográfico do Arquipélago dos Açores e localização geográfica de Santa Maria.	27
Figura 2 Carta Vulcanológica dos Açores – Ilha de Santa Maria. Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos, Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores.	28
Figura 3 Unidades Geomorfológicas – Ilha de Santa Maria. Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos, Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores.	29
Figura 4 Carta Hipsométrica – Ilha de Santa Maria. Carta elaborada com dados vetoriais disponibilizados pela Direção Regional do Ambiente.	30
Figura 5 Mapa de Declives – Ilha de Santa Maria. Carta elaborada com dados vetoriais disponibilizados pela Direção Regional do Ambiente.	30
Figura 6 Esboço Pedológico da Ilha de Santa Maria. Retirado de Madeira (1981).	31
Figura 7 Carta de Ocupação dos Solos (2018) – Ilha de Santa Maria. Carta elaborada com dados vetoriais disponibilizados pela Direção Regional do Ambiente.	32
Figura 8 Distribuição da Precipitação Média Anual – Ilha de Santa Maria. Carta elaborada com dados vetoriais disponibilizados pela Direção Regional do Ambiente.	33
Figura 9 Rede Hidrográfica – Ilha de Santa Maria. Carta elaborada com dados vetoriais disponibilizados pela Direção Regional do Ambiente.	35
Figura 10 Bacia hidrográfica de São Francisco e rede hidrográfica.	36
Figura 11 Fluxograma das etapas desenvolvidas no GeoHec-HMS.	37
Figura 12 Carta de ocupação do solo da bacia hidrográfica de São Francisco.	46
Figura 13 Distribuição espacial das estações meteorológicas pela unidade geográfica de Santa Maria.	47
Figura 14 Precipitação acumulada verificada nos anos de 2015 a 2019 na estação meteorológica do Aeroporto.	48
Figura 15 Precipitação acumulada verificada nos anos de 2015 a 2019 na estação meteorológica das Fontinhas.	48
Figura 16 Precipitação acumulada verificada nos anos de 2015 a 2019 na estação meteorológica da Praia Formosa.	48
Figura 17 Representação do modelo da bacia hidrográfica de São Francisco em ambiente HEC-HMS.	55
Figura 18 Detalhe do projeto desenvolvido em ambiente ArcGIS.	58
Figura 19 Aplicação do método dos polígonos de Thiessen à bacia hidrográfica de São Francisco.	62
Figura 20 Precipitação útil calculada.	63
Figura 21 Classificação de Strahler das linhas de água da ribeira de São Francisco.	64
Figura 22 Bacia hidrográfica de São Francisco, Curva Hipsométrica.	65

Figura 23 Bacia hidrográfica de São Francisco percentagem da área ocupada por cada intervalo de cotas.	65
Figura 24 Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica de São Francisco.	66
Figura 25 Precipitação registada nas estações udométricas no dia 14/01/2016, referente ao evento 1.....	68
Figura 26 Hietograma de cheia para a sub-bacia de São Francisco (W1100), referente ao evento 1. 68	
Figura 27 Hietograma para a sub-bacia de Banda Além (W870), referente ao evento 1.....	68
Figura 28 Hietograma para a sub-bacia do João Luís (W680), referente ao evento 1.	69
Figura 29 Hietograma para a sub-bacia de São Domingos (W690), referente ao evento 1.	69
Figura 30 Hidrograma de cheia das sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica de São Francisco, referente ao evento 1.....	69
Figura 31 Hidrograma de cheia para a ponto de saída (outlet1), e para os pontos de junção referente ao evento 1.....	70
Figura 32 Precipitação registada nas estações udométricas no dia 14/01/2016, referente ao evento 2.....	71
Figura 33 Hietograma para a sub-bacia de São Francisco (W1100), referente ao evento 2.	71
Figura 34 Hietograma para a sub-bacia de Banda Além (W870), referente ao evento 2.....	71
Figura 35 Hietograma para a sub-bacia do João Luís (W680), referente ao evento 2.	72
Figura 36 Hietograma para a sub-bacia de São Domingos (W690), referente ao evento 2.	72
Figura 37 Hidrograma de cheia das sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica de São Francisco, referente ao evento 2.....	72
Figura 38 Hidrograma de cheia para a ponto de saída (outlet1), e para os pontos de junção referente ao evento 2.....	73
Figura 39 Precipitação registada no posto hidrométrico das Fontinhas no dia 18/abr/2018.	73
Figura 40 Hietograma para a sub-bacia do João Luís (W680), referente ao evento 3.	74
Figura 41 Hietograma para a sub-bacia de São Domingos (W690), referente ao evento 3.	74
Figura 42 Hietograma para a sub-bacia da Banda Além (W870), referente ao evento 3.....	75
Figura 43 Hietograma para a sub-bacia de São Francisco (W1100), referente ao evento 3.	75
Figura 44 Hidrograma de cheia das sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica de São Francisco, referente ao evento 3.....	75
Figura 45 Hidrograma de cheia para a ponto de saída (outlet1), e para os pontos de junção referente ao evento 3.....	76
Figura 46 Carta áreas inundáveis da bacia hidrográfica de São Francisco, gerado em HEC-RAS.	78
Figura 47 Carta da bacia hidrográfica de São Francisco relativa à velocidade dos caudais, gerado em HEC-RAS.....	78
Figura 48 Carta de inundações da bacia hidrográfica de São Francisco relativamente ao edificado. .	79
Figura 49 Pormenor da carta de inundações na zona das Covas em relação ao edificado afetado....	80

Figura 50 | Pormenor da carta de inundações na zona de Valverde em relação ao edificado afetado.81

ACRÓNIMOS

AMC	-	Antecedent Moisture Condition
CN	-	Curve Number
COSA	-	Carta de Ocupação do Solo dos Açores
CVARG	-	Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos
DRA	-	Direção Regional do Ambiente
DSCIG	-	Direção de Serviços de Cartografia e Informação Geográfica
GHS	-	Grupo Hidrológico de Solos
GIS	-	Geographic Information System
HEC-HMS	-	Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System
HEC-RAS	-	Hydrologic Engineering Center - River Analysis System
IDF	-	Intensidade, Duração, Frequência
MDT	-	Modelo Digital de Terreno
NC	-	Número de Curva
SCS	-	Soil Conservation Service
SIG	-	Sistemas de Informação Geográfica
SRAM	-	Secretaria Regional do Ambiente e do Mar
SREA	-	Secretaria Regional de Estatística dos Açores
Tc	-	Tempo de Concentração
TIN	-	Triangular Irregular Network
USDA	-	United States Department of Agriculture

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Enquadramento

A água constitui-se como um recurso económico significativo de grande valor social, isto porque resulta da sua utilização transversal a todos os sectores produtivos. Numa região insular, como é o caso do arquipélago dos Açores, neste caso específico a ilha de Santa Maria, a proteção e valorização dos recursos hídricos é ainda mais importante dada a vulnerabilidade dos ecossistemas aquáticos e a escassez de alternativas.

As bacias hidrográficas são reconhecidas como unidades de análise apropriadas para a adequada gestão dos recursos hídricos, onde a modelação a esta escala permite facultar informações essenciais para a tomada de decisões por quem tem esse poder, i.e., o Governo (Hipólito & Vaz, 2014).

De acordo com Hipólito & Vaz (2014), existem duas abordagens executáveis para modelação ao nível da bacia hidrográfica, sendo elas: a) A simulação – de forma a prever o comportamento dos recursos hídricos, apoiado num determinado conjunto de regras e; 2) A otimização – de forma a otimizar alocações através de uma função-objetivo, subordinada a restrições.

Atualmente verifica-se uma intensa pressão sobre os recursos hídricos que, em casos extremos de episódios pluviométricos, provocam o aumento dos caudais nos cursos de água, fazendo com que estes galguem e ocupem os leitos de cheia, que na sua maioria encontram-se ocupados por atividade antrópica (Zêzere et al., 2006). A unidade geográfica selecionada para ser submetida a análise, a bacia hidrográfica de São Francisco, localizada na ilha de Santa Maria, Arquipélago dos Açores, padece exatamente deste dilema, considerando a escala insular em que se encontra.

As circunstâncias climáticas atuais apontam para cenários do incremento da periodicidade dos eventos meteorológicos extremos, e deste modo, é essencial deter um conhecimento pormenorizado dos fatores condicionantes do território insular (Azevedo, 2001). De acordo com a Plano de Gestão de Riscos de Inundações da Região Autónoma dos Açores (2016), só será possível mitigar estas alterações com sustentabilidade na relação entre o homem, o território e o mar, e inevitavelmente o clima, fatores estes indissociáveis da personalidade insular.

A ocorrência de situações de cheia nos Açores são normalmente originadas por episódios de precipitação muito intensa que, em algumas situações, foram devastadoras, nomeadamente quando estas ocorrem em áreas urbanizadas situadas em leitos de cheia, potenciado pelas características fisiográficas das bacias hidrográficas dos Açores, que na sua maioria são de pequena dimensão e de declive acentuado, com linhas de água de caudal com regime torrencial onde o tempo de concentração é reduzido. Contribuindo assim para o agravamento da perigosidade dos eventos (PGRIA, 2016).

Neste contexto, a ocorrência de cheias rápidas são um perigo natural que ocorre regularmente no território insular açoriano, com consequências trágicas quer a nível material, quer humano, interessa, pois, conhecer a vulnerabilidade dos territórios ribeirinhos a este tipo de fenómeno, particularmente, no que se refere ao território em análise, a bacia hidrográfica de São Francisco.

Os estudos que abordam o tema do escoamento superficial em regiões insulares vulcânicas são poucos, destacando-se os trabalhos publicados por Heras (1974), Heras & Saéns-oiza (1974); Heras et al. (1974), Bravo & Coello (1979) e Falkland & Custodio (1991). Nestes trabalhos é demonstrado que os coeficientes de escoamento superficial são condicionados, principalmente pela pluviosidade, topografia, geologia e coberto vegetal das bacias hidrográficas.

A calibração e validação dos modelos HEC-HMS e HEC-RAS, conjuntamente com o conhecimento das componentes hidrológicas que ocorrem na área de influência de uma bacia hidrográfica, revelam ser de extrema importância para planificação das ações antrópicas que se realizam na sua área de influência. Temos assim a necessidade de conhecer a quantidade de água que está disponível, bem como a sua distribuição temporal. Conhecer os caudais máximos, médios e mínimos permite-nos efetuar o adequado dimensionamento de obras hidráulicas e saber quais as zonas inundáveis que representam perigos para as pessoas e seus bens.

1.2 - Objetivos

A presente dissertação tem como propósito estudar o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica da ribeira de São Francisco, de forma a entender qual o ponto de rutura do sistema hidrológico e compreender a partir de que momento a ocorrência de episódios extremos de precipitação desencadearão a ocorrência de danos, consistindo este processo na modelação hidrológica desta bacia.

Assim, pretende-se especificamente: a) efetuar a simulação de hidrogramas unitário sintéticos associados a diferentes eventos de precipitação, b) comparar os respectivos hidrogramas produzidos, c) ajustar os parâmetros de simulação, e d) determinar as zonas mais suscetíveis à ocorrência de inundações.

1.3 - Organização da dissertação

O presente trabalho é composto por cinco capítulos, a saber: O primeiro capítulo dedicado à introdução, descrição dos objetivos e estruturação do documento produzido.

O segundo capítulo refere-se à revisão bibliográfica onde são tratadas algumas das temáticas e conceitos essenciais à realização deste trabalho de projeto, designadamente os conceitos referentes à utilização dos SIG na avaliação das bacias hidrográficas, o conceito propriamente dito de bacia hidrográfica – caracterização fisiográfica, geoprocessamento com recurso a *software* SIG e aos *softwares* de modelação hidrológica HEC-HMS 4.3 e HEC-RAS 5.0.5.

O terceiro capítulo destina-se aos materiais e métodos onde se efetua o enquadramento geográfico, geológico morfológico, climatológico e a caracterização pedológica dos solos e seus usos, seguido do enquadramento da bacia hidrográfica de São Francisco. Na metodologia é descrito o processo de modelagem em ambiente ArcGIS com o recurso às extensões ArchHydro e GeoHEC-HMS e GeoHEC-RAS, onde é efetuada a manipulação do MDT e definidas as características fisiográficas da bacia hidrográfica e da sua rede de drenagem. Nesse seguimento, proceder-se-á à caracterização morfológica da bacia, apurando-se os índices referentes à compacidade, forma, densidade de drenagem e hídrica, escoamento superficial, sinuosidade, altura e altitude media, coeficiente de massividade e orográfico, declive, tempo de concentração, número de escoamento e cálculo da precipitação. Por último, neste capítulo é efetuada a exportação do modelo criado em ambiente ArcGIS para ambiente HEC-HMS, onde é efetuada a parametrização do modelo a executar, sendo igualmente exportado para o *software* HEC-RAS, onde se procede à modelação da linha de água relativamente à identificação das zonas inundáveis.

No que concerne ao capítulo quarto, são apresentados os resultados e a discussão da execução do modelo hidrológico e hidrodinâmico, onde foram definidos três eventos distintos, sendo os dois primeiros observados e o terceiro simulado.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões obtidas e algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 - Sistemas de informação geográfica na avaliação física de bacias hidrográficas

O estudo dos recursos hídricos, como meio de apoio ao processo de tomada de decisão, tem inevitavelmente de se apoiar em tecnologias da informação e de transferência de dados, de forma a permitir a definição de estratégias eficientes para a gestão dos recursos disponíveis numa correlação direta com o ordenamento do território (Vale & Painho, 1998). Segundo Eastman (1999), *“uma das aplicações mais importantes dos SIG é a análise dos dados para o apoio aos processos de decisão relacionados com o ambiente”*.

Os SIG como ferramenta de produção e manipulação de informação, permitem efetuar a sua extração de acordo com quatro variáveis: (1) decorrente da digitalização de temas, e.g. variáveis qualitativas da rede hidrográfica; (2) decorrentes de técnicas de interpolação espacial, e.g. modelo digital do terreno; (3) decorrentes do processo de classificação de imagem de satélite, e.g. uso/ocupação do solo e; (4) decorrente de processo de operações locais, focais, zonais e incrementais, e.g. geomorfologia (exposição das vertentes, declividade, localização de linha de água). A manipulação da informação é efetuada especificamente em ambiente vetorial (variáveis 1 e 2) e ambiente *raster* (variáveis 3 e 4) (Segurado & Jesus, 1999).

Segundo Pereira & Fonseca (2009), os SIG como ferramenta de análise só se tornaram possíveis a partir do desenvolvimento do computador e dos sistemas informáticos, proporcionando a *“utilização do sistema de desenho automático assistido, do processamento digital de sistemas de gestão de base de dados e de imagens”*. Neste âmbito, os desenvolvimentos dos SIG proporcionaram soluções de otimização das aplicações que, no caso particular da gestão dos recursos hídricos, se traduz num melhor planeamento do território e na definição de quais os impactos ambientais que mais contribuem para os desequilíbrios hidrológicos.

De acordo com Vale & Painho (1998), o planeamento dos recursos hídricos e ordenamento do território é uma ferramenta necessária para o desenvolvimento da sociedade, pois é no planeamento que estão alicerçados os fundamentos para a gestão e interpretação da informação. A identificação de inconsonâncias e a projeção de cenários futuros apoia-se na informação reunida relativamente ao passado e ao presente. Os pressupostos intrinsecamente relacionado com o planeamento exigem a inventariação e a consciencialização da situação atual e das metas que se pretendem atingir, mas nunca desconsiderando as dinâmicas ambientais que interagem e condicionam o meio natural.

2.1–Ferramentas de modelação hidrológica

HEC-HMS

O *Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) é um *software* de modelação hidrológica desenvolvido pelo *US Army Corps of Engineers* em 1998, para simular os processos hidrológicos em bacias hidrográficas (USACE-HEC, 2018). O HEC-HMS permite-nos simular a precipitação e o seu escoamento, identificando os processos hidrológicos associados. Este é um modelo que pode ser classificado como um modelo determinístico e semi-distribuído, onde estão incluídos métodos conceituais e empíricos, estando estes aptos a representar diferentes tipos de bacias.

O modelo desenvolvido neste *software* pode ser aplicado na gestão de recursos hídricos integrados em bacias hidrográficas e estimar picos de cheias na previsão de cheias, sendo igualmente útil nas análises contínuas usando os cálculos da evapotranspiração, do derretimento da neve e da contabilidade da humidade do solo (USACE-HEC, 2010).

O HEC-HMS possui igualmente uma extensão, denominada de HEC-GeoHMS, que nos permite importar dados espaciais da área de estudo, sendo possível optar por diferentes métodos, tendo por base os dados disponíveis e as características da área de estudo, normalmente a partir das sub-bacias localizadas mais a montante, onde os hidrogramas são formados e direcionados. Posteriormente à seleção dos métodos, o HEC-HMS produz resultados de simulação consistentes e confiáveis para o volume de escoamento e os valores de pico, podendo estes serem confrontados com dados observados (Fernandez et al., 2013).

No ciclo hidrológico uma parte considerável da precipitação regressa à atmosfera através da evapotranspiração. Este processo ocorre a partir da vegetação, da superfície dos solos e dos corpos de água que, por sua vez, parte da precipitação que cai sobre a vegetação antes de evaporar, escoando por estas e atingindo o solo onde, uma fração desta precipitação, pode-se infiltrar no solo a partir de superfícies terrestres e corpos d'água. Um modelo da área de estudo é desenvolvido separando este complexo ciclo hidrológico em fragmentos gerenciáveis, onde o HEC-HMS representa qualquer massa ou fluxo com um modelo matemático, simulando os principais mecanismos e conexões entre os processos de cálculo do balanço hídrico (US Army Corps of Engineers, 2000).

O modelo HEC-HMS faculta métodos alternativos para cada um dos diferentes componentes do processo, podendo estes serem classificados de acordo com a abordagem de modelagem. As opções para métodos de volume de escoamento incluem a perda inicial e constante, o SCS-CN, o SCS-CN em grade, entre outros. Por seu turno, os métodos de escoamento direto

(transformação) incluem a hidrografia da unidade especificada pelo utilizador, *Hidrograma Unitário de Clark*, onda cinemática, entre outros. Refira-se também a existência de três métodos para a parametrização do fluxo de base e, cinco diferentes métodos para o percurso da água, sendo estes fornecidos no *software* HEC-HMS. Os detalhes desses métodos podem ser encontrados no Manual do Utilizador do USACE-HEC (2018).

O modelo meteorológico para refletir a precipitação, o derretimento da neve e a evapotranspiração também é criado no *software* HEC-HMS. É sugerido no manual acima referido que o degelo pode ser opcionalmente incluído de acordo com as condições meteorológicas da área de estudo, enquanto a evapotranspiração deve ser incluída se um modelo contínuo for desenvolvido. Para eventos de curta duração, de acordo com Knebl et al. (2005), a evapotranspiração pode ser ignorada.

O HEC-HMS oferece várias opções para os modelos meteorológicos, podendo ir desde o hietograma especificado até precipitação por grelha, além de outros que são sugeridos para parametrização da precipitação. Por outro lado, para a evapotranspiração sugere-se a evaporação anual, média mensal, entre outros, enquanto para o derretimento de neve, são opcionais os índices de temperatura (TI) e o TI em grade.

Aplicações do HEC-HMS

Os modelos HEC-HMS foram testados e calibrados em muitas bacias hidrográficas em todo o mundo, sendo estes desenvolvidos de forma a testar a sua aplicabilidade, empregando diferentes combinações de métodos. Os processos hidrológicos que ocorrem em bacias (precipitação, infiltração e evapotranspiração) estão fortemente dependentes das características da área de estudo, com destaque para a cobertura do solo, a dimensão da área em análise, a topografia, os tipos de solos, as rochas, etc. (Chen et al., 2016).

Investigadores que desenvolveram modelos em diferentes zonas, com diferentes métodos, obtiveram resultados satisfatórios e usaram os seus modelos para estudar mudanças no uso do solo, desmatamento, efeitos das mudanças climáticas, avaliação de risco de inundação, previsões futuras e comparação de modelos e desenvolvimento de ferramentas.

HEC-RAS

O *Hydrologic Engineering Center's - River Analysis System* (HEC-RAS) é um *software* desenvolvido para efetuar análises hidráulicas dos sistemas fluviais. À semelhança com o que se verifica com o *software* HEC-HMS, esta ferramenta foi igualmente desenvolvida pelo *US Army Corps of Engineers*. Divulgado nos meados da década de noventa, o HEC-RAS é um dos

mais conhecidos *softwares* desenvolvidos pelo *US Army Corps of Engineers*, como uma ferramenta de simulação capaz de realizar cálculos para determinar o perfil da superfície da água nos meios fluviais. O HEC-RAS tem registado significativos desenvolvimentos desde a sua criação. As primeiras versões admitiam apenas a realização da análise de estado estacionário 1D. No entanto a versão 3.0, disponibilizada no início de 2001, permitiu efetuar cálculos de fluxo instável 2D. A mais recente versão do HEC-RAS, a versão 5.0 lançada em 2016, permite efetuar análises bidimensionais e cálculos de fluxo instáveis (Brunner & CEIWR-HEC, 2016).

Modelos hidrodinâmicos unidimensionais e bidimensionais no HEC-RAS podem ser usados para simular inundações em sistemas fluviais, no entanto, cada opção de modelação apresenta vantagens e limitações. O principal objetivo do modelo 1D é calcular a elevação da superfície do caudal em locais de interesse para uma determinada condição limite. Os dados de entrada para o modelo incluem dados de fluxo, valores de Manning's, geometria da seção transversal e extensão do curso de água, podendo este modelo lidar com pontes, fluxo de barragem e áreas de armazenamento, ou seja, o procedimento computacional é baseado na solução da equação de energia unidimensional usando o método de etapa padrão. No entanto, o modelo estacionário pode usar cinemática difusiva ou totalmente dinâmica, verticalmente integradas nas equações de massa e momento (Brunner & CEIWR-HEC, 2016).

Existem vários trabalhos que fazem uso dos modelos unidimensionais e bidimensionais para demonstrarem as capacidades da modelação do HEC-RAS. Alguns deles foram realizados para confirmar resultados, enquanto outros foram aplicados para desenvolver mapas de cheias, exemplo disso são os trabalhos desenvolvidos por Ahmad & Simonovic (1999), que efetuou a comparação unidimensional e bidimensional das abordagens da modelação hidrodinâmica, sobre o vale do Rio Vermelho nos estados do Manitoba e Dakota do Norte nos EUA. Heimhuber, Hannemann e Rieger (2015) utilizaram o HEC-RAS para a simulação em Onaville, uma cidade do interior do Haiti que foi construída inicialmente por refugiados da capital Porto Príncipe, um local afastado de grandes centros e com uma população pobre, onde a simulação foi realizada para conhecer uma possível área de abrangência da inundação, para uma futura mitigação dos riscos.

2.2 - Sistemas hidrológicos

Bacias hidrográficas

De acordo com (Hipólito & Vaz, 2013), a bacia hidrográfica é uma unidade fisiográfica delimitada por divisores topográficos onde determinada gota de água, precipita e esco superficialmente ao longo da encosta, de acordo com as linhas de declive, em direção a um curso de água, lago ou linha de costa.

Quando o sistema de drenagem fluvial esco o fluxo do caudal para o exterior, é classificada como bacia exorreica. Por sua vez, se não tiver escoamento para o exterior, é classificado como bacia endorreica e geralmente dá origem a um lago, isto se a impermeabilidade do solo assim o permitir (Hipólito & Vaz, 2013).

As bacias hidrográficas geralmente são dvidas em sub-bacias, sendo estas as unidades de drenagem os tributários do curso de água principal (Luiz et al., 2007). De acordo com Luiz et al. (2007), o conceito de sub-bacia varia consoante o autor, existindo alguns que defendem que estas unidades fisiográficas devem representar áreas entre um conjunto de valores em km², outros apresentam a mesma convicção mas cuja os valores devem ser apresentados em hectares e ainda outros advogam que as bacias devem ser desagregadas num indefinido número de sub-bacias, dependendo unicamente do ponto de saída considerado ao longo do seu canal coletor.

Um a bacia hidrográfica é dividida em três zonas: a) a zona superior da bacia que corresponde às áreas montanhosas ou de cabeceiras dos outeiros, delimitadas na sua parte superior por outra bacia ou outras bacias hidrográficas; b) a zona intermédia que é a zona onde as águas recolhidas das zonas superiores se encontram e na qual o troço principal mantém o canal de escoamento definido e; c) na zona inferior da bacia onde o curso de água flui para linhas de água de maior dimensão ou esco para o estuário (Luiz et al., 2007).

No que se refere à forma da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica, também se verificam variações, predominando, no entanto, a forma dendrítica, a qual deriva da interação clima-geologia em regiões de litologia homogênea, refletindo essencialmente a estrutura geológica local (*Drainage Basin Characteristics*).

Caraterização fisiográfica da bacia hidrográfica

De acordo com (Hipólito & Vaz, 2013), o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica está estreitamente relacionado com as suas caraterísticas fisiográficas. Para

compreender o funcionamento de uma bacia é essencial expor quantitativamente a sua forma, os seus processos e interpelações. Podemos representar a bacia hidrográfica como um coletor natural, cuja função é expulsar parte da água da chuva sob a forma de escoamento. Neste processo de transformação da precipitação em escoamento ocorrem naturalmente perdas, através do deslocamento da água para os processos de evaporação e percolação. Para este modelo de estudos importa não só o volume total de água que abandona a bacia, como igualmente sua distribuição espacial e temporal, sendo para tal indispensável possuir um profundo entendimento das suas características. O movimento da água na natureza é uma função complexa na qual intervêm vários fatores, entre os quais se evidenciam as suas características climáticas e fisiográficas (Hipólito & Vaz, 2013).

A característica geométrica essencial a considerar numa bacia hidrográfica é a sua área de drenagem, sendo esta o resultado da projeção horizontal da superfície da bacia hidrográfica que é automaticamente concretizada a partir da digitalização e poligonização do seu perímetro, através *softwares* SIG (Hipólito & Vaz, 2013).

De acordo com Quintela, (1996), a forma apresentada por uma bacia condiciona o tempo de resposta no qual se processa o escoamento da água nela precipitada e conseqüentemente o formato do hidrograma, resultante de um determinado episódio pluviométrico. A configuração geométrica da bacia projetada num plano horizontal dá-nos informação acerca da maior ou menor propensão para episódios de cheias que essa bacia apresenta.

Tal como as bacias, também os cursos de água podem, individualmente, ser classificados de acordo com o período de tempo durante o qual o fluxo ocorre, distinguindo-se os seguintes tipos de cursos de água: a) são perenes quando há fluxo ao longo de todo ano, ou pelo menos em 90% do ano e quando o canal de escoamento está devidamente definido; b) é intermitente quando o fluxo ocorre durante o maior período de pluviosidade (50% do período ou menos) e; c) é efêmero quando o fluxo ocorre durante precipitações intensas e onde os canais de escoamento não são bem definidos (Hipólito & Vaz, 2013).

De acordo com Costa & Lança (2011), em termos da caracterização do relevo de uma bacia hidrográfica a declividade da bacia, a declividade do curso de água principal e a altitude média, constituem-se como aspetos principais na caracterização da bacia. A relevância de efetuar a caracterização do relevo está no facto de este influenciar expressivamente os fatores hidrológicos da bacia, tais como: i) a velocidade do escoamento superficial e; ii) a variação da precipitação, evaporação e temperatura ao longo das alterações do relevo e conseqüentemente da altitude.

De acordo com Quintela (1996), a curva hipsométrica reproduz o relevo de uma bacia através da representação gráfica da variação da elevação da superfície do terreno (ordenadas), com as áreas das zonas da bacia (abscissas) localizadas acima dessas altitudes. Para Rodrigues et al. (2011), a caracterização hipsométrica reproduz quantitativamente as áreas das classes de altitudes, determinando a distribuição relativa às frequências altimétricas.

Atualmente, com a disponibilização da cartográfica digital, associada às ferramentas disponibilizadas pelos SIG, faz com que a análise da hipsometria de um determinado local seja mais facilmente estudado (Rodrigues et al., 2011).

Segundo Rodrigues et al. (2011), o perfil longitudinal de um curso de água relaciona, em cada ponto, a cota do leito relativamente à distância da foz. Normalmente o grafismo do perfil longitudinal marca as estruturas hidráulicas mais significativas. De acordo com Costa & Lança (2011), este perfil topográfico pode ser obtido a partir de mapas topográficos, desde que a representação altimétrica seja exibida em grande escala, com curvas de nível com equidistância de 10 m.

A velocidade do escoamento de um curso de água está fortemente subordinada ao nível de inclinação do talvegue, sendo que a maior inclinação deste implica que maior será a velocidade do escoamento dos caudais. A declividade entre dois pontos de um talvegue é o quociente entre o desnível e o comprimento reduzido do horizonte, isto é, a tangente do ângulo da inclinação (Costa & Lança, 2011).

De acordo com Lencastre & Franco (1992), o tempo de concentração de uma bacia (t_c), é o tempo necessário para que uma gota de água precipitada percorra a distância entre o ponto hidráulicamente mais distante até à secção de saída, considerando as características constante da bacia, independentemente das características da precipitação, sendo usualmente definido como tempo necessário para que a totalidade da bacia contribua para o escoamento numa considerada secção (Mata-Lima, 2007).

O tempo de concentração é empregue na determinação do caudal de ponta de cheia quando usadas expressões cinemáticas que tem em consideração as características do movimento da água na bacia (Lencastre & Franco, 1992). No entanto, e segundo Debo & Reese (1995), na determinação do caudal de cheia não deve ser considerado um tempo de concentração inferior a 5 minutos, considerando que este é o intervalo necessário para efetuar os hidrogramas com duração de 24 horas, normalmente utilizados para a formulação das curvas de Intensidade- Duração-Frequência (IDF).

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Para definir as informações geográficas requeridas pelo modelo hidrológico, como hidrografia e declividade da bacia, pretende-se utilizar o *software* SIG e o MDT da bacia hidrográfica, com uma resolução espacial de 10m, recorrendo a dados georreferenciados no formato vetorial, nomeadamente os ficheiros relativos aos pontos cotados e curvas de nível, de forma a gerar o MDT, possibilitando posteriormente extrair a rede de drenagem e a delimitação da referida bacia e a sua hierarquização fluvial. No seguimento, determinar os caudais de cheia em ambiente HEC-HMS, bem como, definir a propensão à ocorrência de inundações em ambiente HEC-RAS.

Os dados em formato vetorial, atrás identificados foram disponibilizados pela Direção de Serviços de Cartografia e Informação Geográfica da Direção Regional do Ambiente (DSCIG - DRA), e a projeção usada foi a do Datum São Braz UTM Zone 26S.

3.1 - Enquadramento da área de estudo

Enquadramento Geográfico

Santa Maria é a ilha mais oriental do arquipélago dos Açores, distanciando-se aproximadamente 87 km da ilha de São Miguel (SSE), conforme se verifica na figura 1. A localização da ilha está limitada pelas coordenadas geográficas extremas 37° 01' 03'' (Norte das Lagoínhas) e 36° 55' 30'' (Ponta do Castelo), de Latitude Norte e entre 25° 00' 47'' (Ponta das Eirinhas) e 25° 11' 08'' (Ponta do Carneirinho), de Longitude Oeste (SRAM, 2012). A ilha apresenta uma superfície de 96,9 km², sendo a sétima ilha, em nove, em termos de dimensão, correspondendo a cerca de 4,2% da superfície do arquipélago (CVARG/CIVISA, 2010).

No que se refere à organização administrativa, esta possui um único concelho, denominado por Município de Vila do Porto, fracionado em cinco freguesias: Vila do Porto, São Pedro, Santo Espírito, Almagreira e Santa Bárbara, sendo a primeira a sede de concelho onde se concentram os serviços, atividades económicas, equipamentos e as principais infraestruturas da ilha.

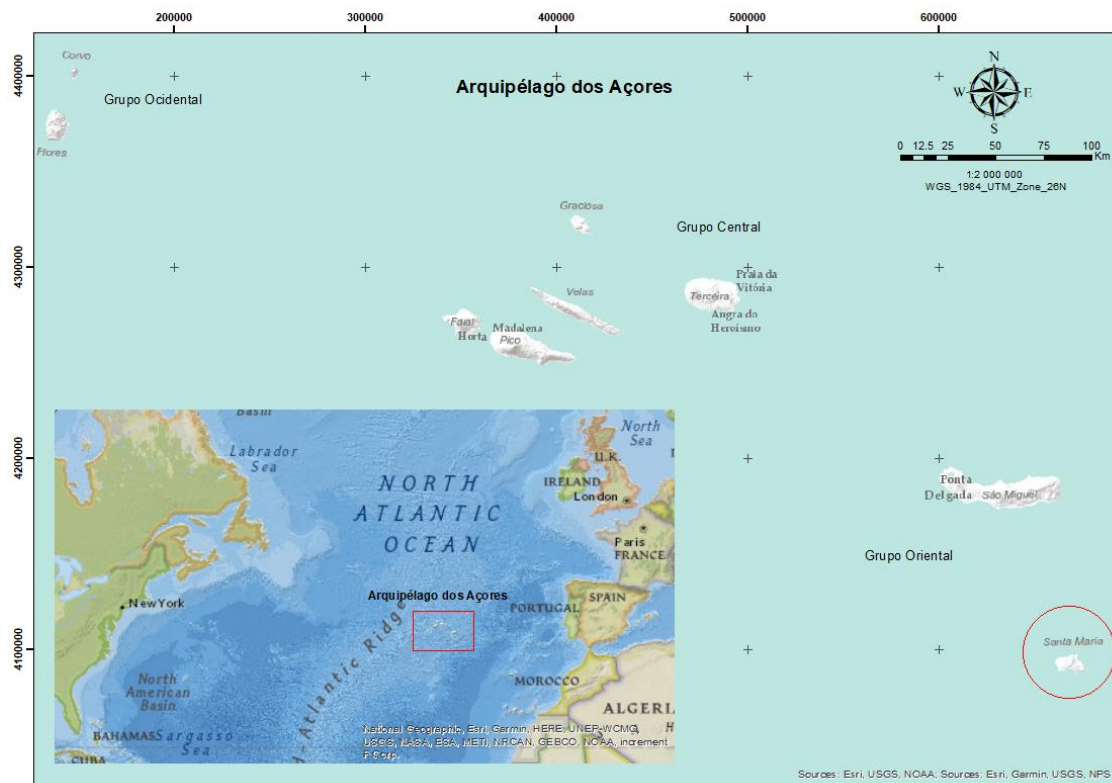


Figura 1 | Enquadramento Geográfico do Arquipélago dos Açores e localização geográfica da ilha de Santa Maria.

Enquadramento Geológico

A geologia da ilha caracteriza-se por apresentar uma intercalada atividade vulcânica e sedimentar, com deposições em ambientes subaéreos e submarino, o que é bastante demonstrativo da complexidade histórica das variações do nível do mar (Ramalho et al., 2017). A formação da ilha ocorreu no início do período Miocénico Superior (8 a 10 Ma) e desenvolveu-se até ao Pliocénico (1,8 Ma). Por sua vez a atividade sedimentar inicia-se no fim do Miocénico (5 Ma) vai até ao Quaternário (2.5 Ma) (Madeira, 1986).

De acordo com Cruz (1992), as rochas vulcânicas da ilha integram-se na série magmática alcalina intraplaca, com génese numa fonte mantélica homogénea, comum em todos os complexos da ilha e cuja composição se assemelha a um Lherzólito granatífero.

De acordo com Serralheiro et al. (1987), conforme ilustra a figura 2, as unidades geológicas reconhecidas para a ilha, estão cronologicamente organizadas a partir do Miocénico Superior até ao final do Pliocénico. As unidades geológicas representadas de (1) a (7) são, respetivamente: (1) piroclastos submarinos de cor amarela forte e muito compactos, quase sem expressão territorial - Formação dos Cabrestantes (idade Miocénico Superior); (2) escórias vermelhas argilizadas - Formação do Porto (idade Miocénico Superior); (3) escoadas lávicas subaéreas contendo intercalações pouco importantes de material piroclástico com abundantes

filões que cortam toda a sequência das escoadas lávicas - Complexo dos Anjos (idade Miocénico Superior: 8 Ma a $5,14 \pm 0,40$ Ma); (4) depósitos conglomeráticos do tipo *lahar*, arenitos conglomeráticos, calcarenitos e argilitos, frequentemente fossilíferos e escoadas basálticas intercaladas nos sedimentos, as primeiras com características subaéreas, passando posteriormente a submarinas - Complexo de Touril (idade Miocénico a idade Pliocénica: $4,2 \pm 1,1$ Ma; $4,7 \pm 1,0$ Ma; $4,9 \pm 0,8$ Ma); (5) Piroclastos submarinos, *pillow* lavas e alguns níveis de piroclastos, escoadas lávicas, níveis de piroclastos subaéreos e submarinos e respetivas condutas (filões e chaminés) com intercalações sedimentares, do tipo *lahar* e de praia - Complexo do Facho – Pico Alto (idade Pliocénica: $< 4,13 \pm 0,35$ Ma); (6) conglomerados e calcarenitos fossilíferos - Complexo do Facho – Pico Alto (idade Pliocénica: $< 4,13 \pm 0,35$ Ma); (7) depósitos de piroclastos atualmente transformados em materiais argilosos de cor vermelha intensa - Formação de Feteiras (final do Pliocénico). No que diz respeito às unidades geológicas (8) e (9) do Plio-Quaternário e Quaternário, estas incluem areias, conglomerados, calcarenitos e argilas do Plio-Plistocénico e aluviões, depósitos de vertente, depósitos de areias eólicas e areias de praia do Holocénico.

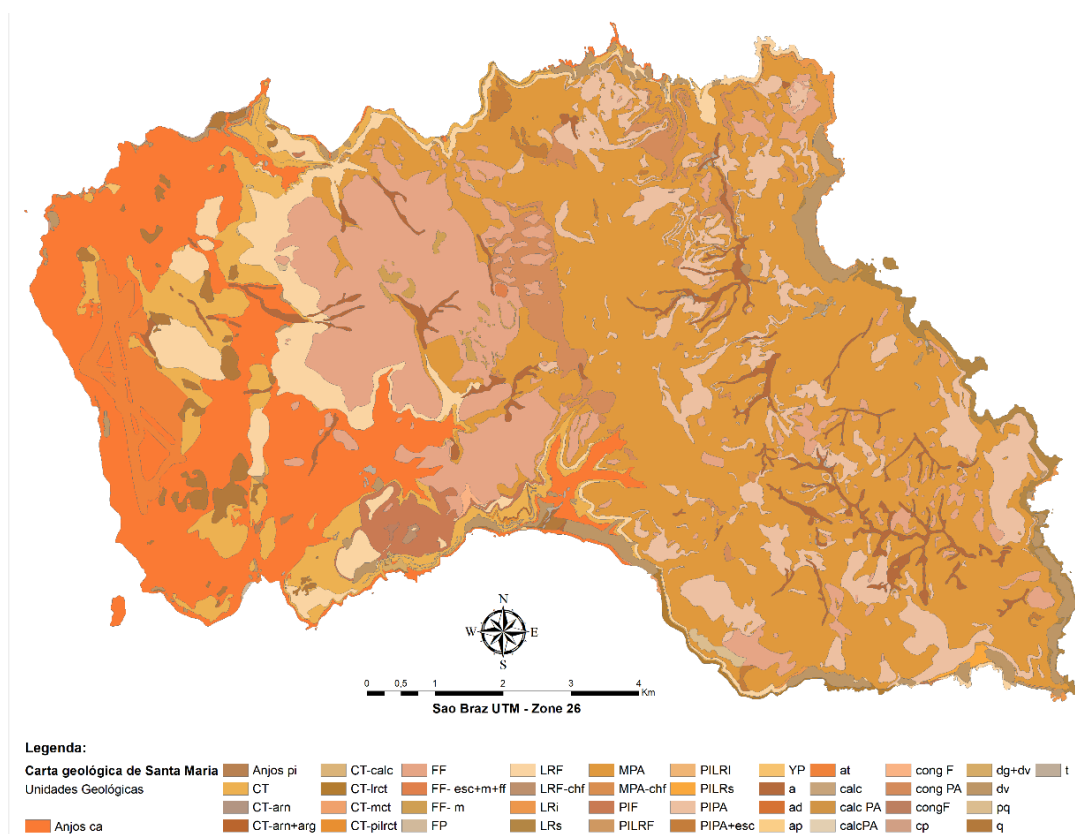


Figura 2 | Carta Vulcanológica dos Açores – Ilha de Santa Maria. Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos, Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores.

Enquadramento Morfológico

De acordo com Madeira (1986), em termos geomorfológicos, o estudo das características dominantes que se encontram na fisiografia de Santa Maria determina que a superfície emersa apresenta um volume estimado de 18,6 km³, exibindo uma forma assimétrica, estendendo-se para sudeste (SE) até à Ponta do Castelo.

Com disposição predominante WNW-ESE, a ilha apresenta comprimento e largura máxima de 17km e 8km, respetivamente. A linha de costa, com aproximadamente 78km, é basicamente moldada por processos de erosão marinha (Madeira 1986). Geomorfológicamente, esta apresenta duas áreas distintas, designadas por Zonas Ocidental e Oriental (figura 3), sendo que a primeira é delimitada a este (E) pelo sopé do complexo montanhoso do Pico Alto, que se estende segundo a direção NNW-SSE entre Lagoínhas e Glória (Zbyszewski *et al.* 1961).

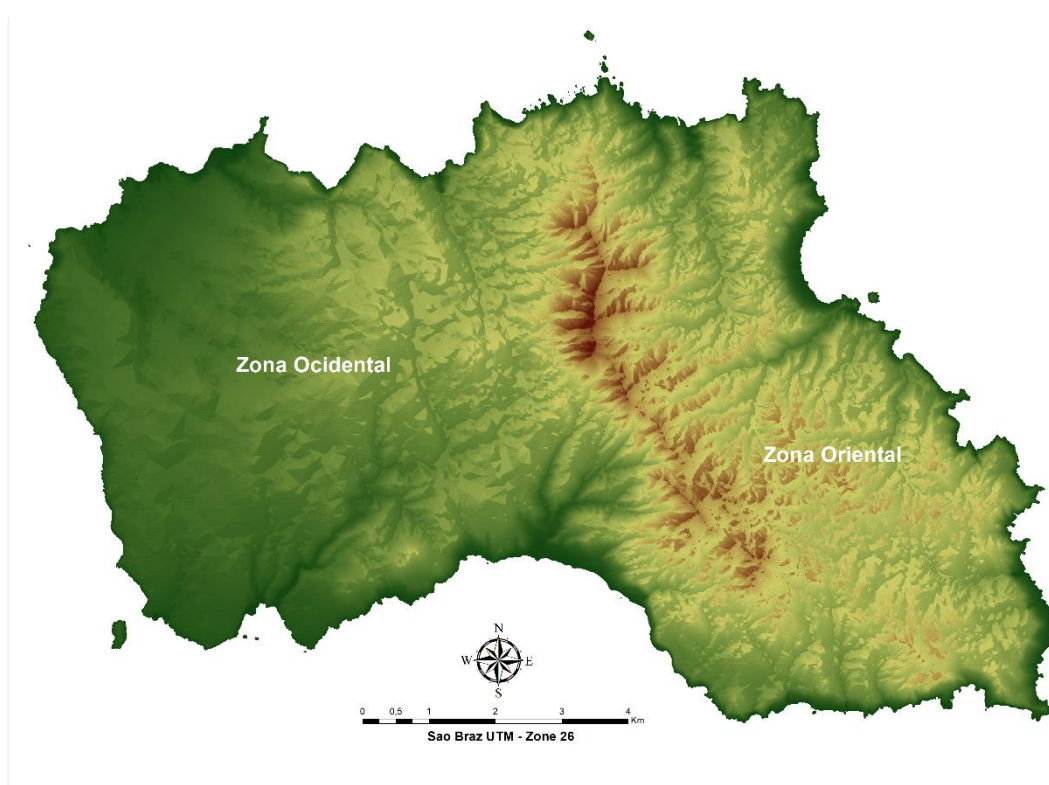


Figura 3 | Unidades Geomorfológicas – Ilha de Santa Maria. Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos, Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores.

A Zona Ocidental da ilha (freguesias de Vila do Porto, São Pedro e Almagreira) é restringida a este (E) pelo sopé ocidental da elevação que constitui a zona montanhosa do Pico Alto. Esta zona tem a particularidade de apresentar uma superfície aplanada, com cotas compreendidas entre os 50 e 250m, com diversos estratos ligeiramente inclinados para oeste (O), conforme se verifica na figura 4, constituindo um bloco de plataformas de abrasão marinha de idade miocénica. Estes encontram-se deslocados por falhas ativas que controlam, igualmente, o padrão das linhas de água (CVARG/CIVISA, 2010).

Por sua vez, a Zona Oriental inclui a parte este (E) da ilha (freguesias de Santa Bárbara e Santo Espírito) e caracteriza-se por apresentar um relevo muito mais acidentado (figura 4), com cotas superiores a 300m e vertentes declivosas marcadas por uma linha de cumeada que se desenvolve na direção N-S onde se evidencia o Pico Alto (587 m), observável na figura 5. A linha de costa é profundamente recortada e escarpada, com arribas que atingem os 340 m de altura, como é o caso da Rocha Alta. Estas revelam a ação da erosão marinha, originando praias que, por vezes, se encontram bastante encaixadas em amplas baías (CVARG/CIVISA, 2010).

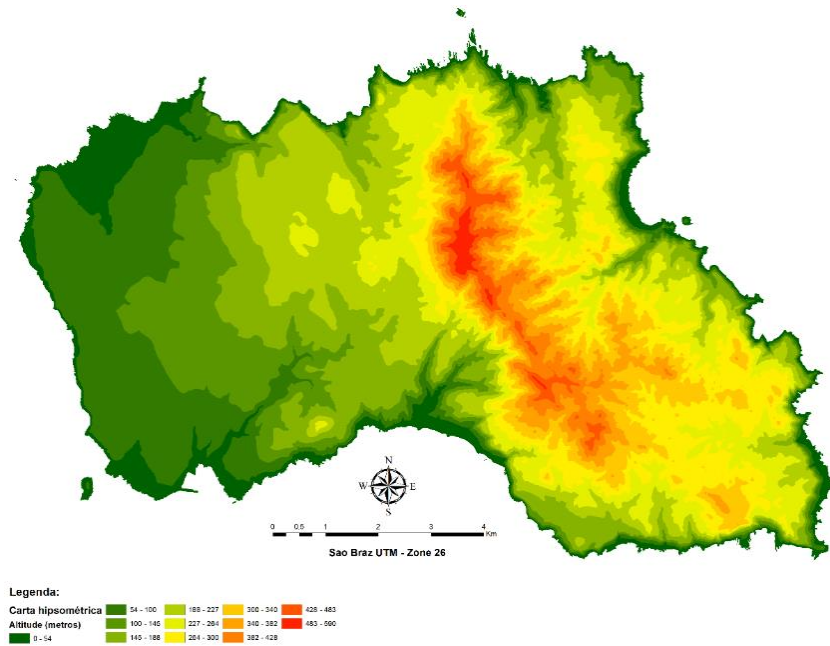


Figura 4 | Carta Hipsométrica – Ilha de Santa Maria. Carta elaborada com dados vetoriais disponibilizados pela Direção Regional do Ambiente.

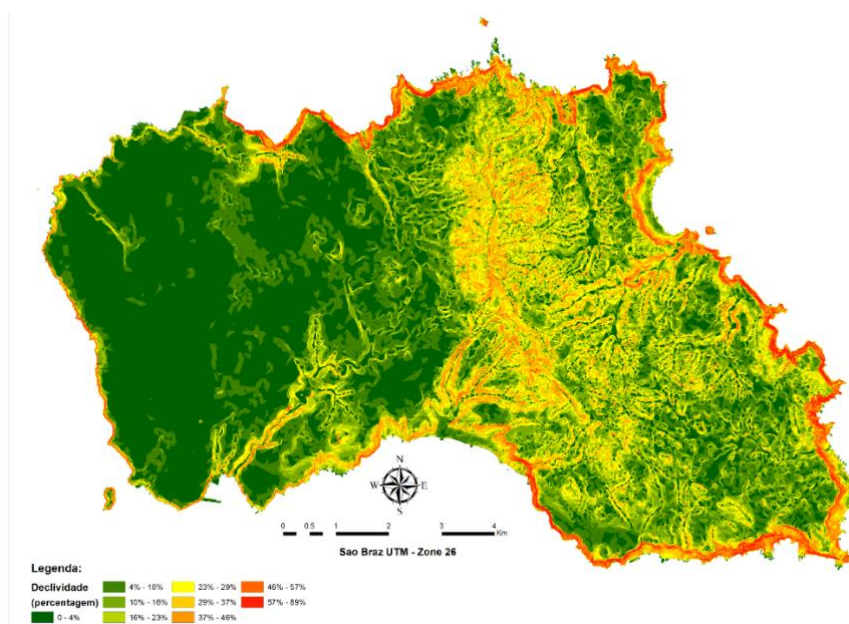


Figura 5 | Mapa de Declives – Ilha de Santa Maria. Carta elaborada com dados vetoriais disponibilizados pela Direção Regional do Ambiente.

Enquadramento Pedológico

De acordo com Madeira (1981), os solos identificados na ilha de Santa Maria (figura 6) resultam de materiais de origem vulcânica da ilha, sendo classificados, regra geral, por andossolos, cujas principais características assentam na baixa massa volúmica, dificuldades de dispersão e elevada capacidade de retenção de água.

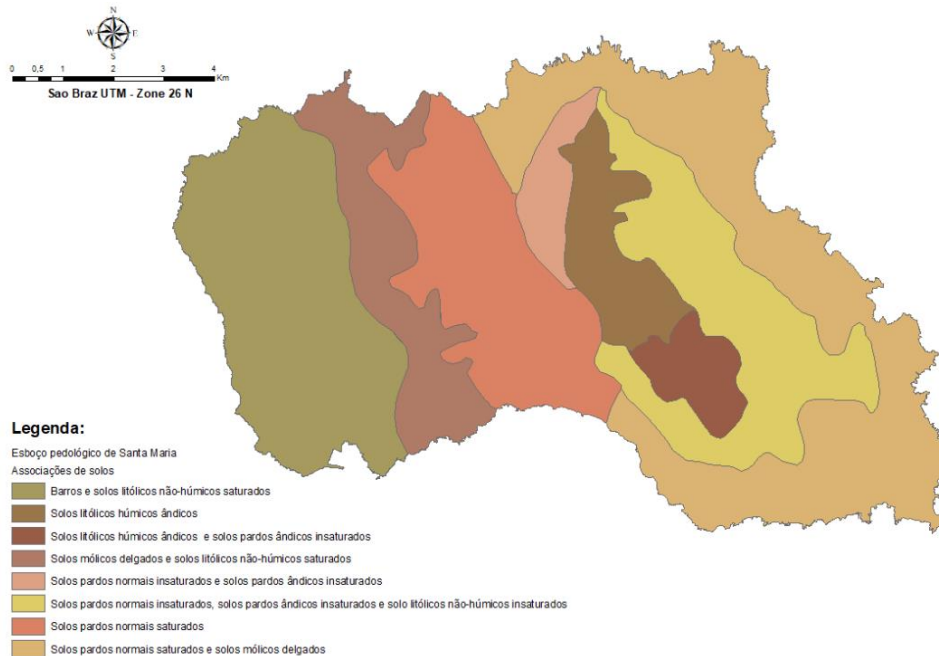


Figura 6 | Esboço Pedológico da Ilha de Santa Maria. Retirado de Madeira (1981).

O modo como os vários tipos de solos se distribuem pela ilha, depende fundamentalmente de condições como o clima, altitude, bem como a sua própria origem e idade. Estes andossolos apresentam-se segundo 3 tipos, mediante a sua derivação ou evolução em termos de alterabilidade devido às várias condicionantes: andossolos típicos, andossolos ferruginosos e solos pardos. Em zonas permanentemente húmidas, e se ocorrerem fases de dessecação e de humedecimento, verifica-se a evolução do andossolo para solos pardos, irreversivelmente, e destes para outros.

Caraterização do uso do solo

Relativamente à ilha de Santa Maria, numa análise genérica, constata-se que os solos não aráveis representam cerca de 60% da superfície da ilha, enquanto os solos aráveis de uso permanente apenas ocupam 2,6%. No que se refere aos solos aráveis de uso ocasional, estes representam 11,3% da superfície. Verificando-se esta repartição dos solos, constata-se que os solos da ilha apresentam uma aptidão natural para uso na pastorícia, floresta e florestal natural.

Tendo por base a Carta de Ocupação do Solo da Ilha de Santa Maria – 2018 (figura 7), a classe Pastagem representa 45,32% da superfície da ilha, preenchendo principalmente toda a zona circundante ao aeroporto e desenvolve-se ao longo das freguesias de Almagreira e São Pedro. Verifica-se também que a classe Vegetação Natural ocupa apenas 7,75% da superfície, encontrando-se tendencialmente entrincheirada em zonas de difícil acesso. A classe Florestas, ocupa predominantemente as arribas do complexo montanhoso do Pico Alto e representa 21,13% da superfície do território. Por sua vez, a classe referente aos espaços Agrícolas corresponde a cerca de 6,28% da superfície, ocupando predominantemente áreas próximas dos núcleos urbanos. As áreas urbanas, dispersam-se ao longo de toda a ilha, caracterizando significativamente o povoamento tradicional que se fez sentir no passado e ocupa 6,89% do território. Refere-se ainda que a área inculta tem uma representação significativa, ocupando essencialmente a área localizada na plataforma de abrasão marinha, localizada na zona ocidental da ilha, onde se evidenciam as características geológicas e climáticas que potenciam a ausência de práticas culturais.

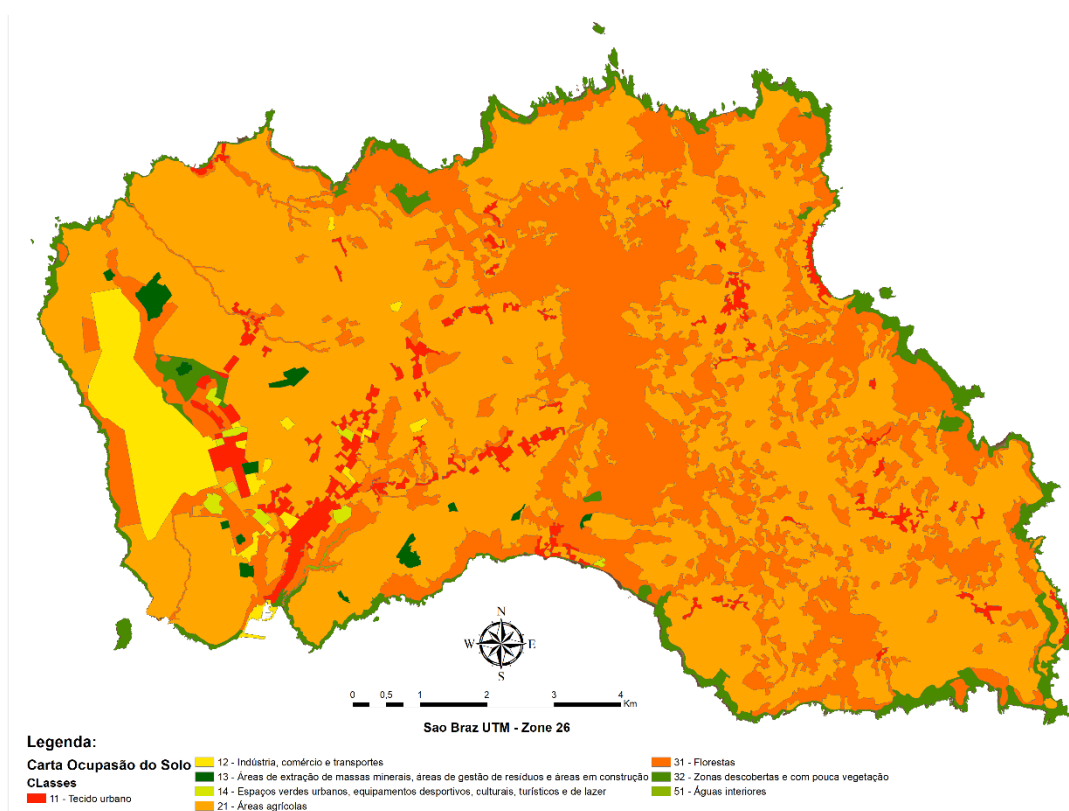


Figura 7 | Carta de Ocupação dos Solos (2018) – Ilha de Santa Maria. Carta elaborada com dados vetoriais disponibilizados pela Direção Regional do Ambiente.

Enquadramento Climatológico

A sua localização geográfica, a mais meridional do arquipélago, aliado ao relevo singular, que difere das restantes ilhas açorianas, faz com que o clima da ilha seja tradicionalmente temperado mediterrâneo de cariz marítimo, onde os invernos são chuvosos e os verões

comparativamente mais quentes, com temperaturas médias mais elevadas e com humidades relativas e valores de precipitação mais baixos, comparativamente ao que se regista no restante arquipélago (Agostinho, 1942).

De acordo com Azevedo (2001), a situação climática de Santa Maria resulta essencialmente da sua localização geográfica no contexto da circulação global atmosférica e oceânica, e pela influência da massa aquática da qual emerge. A temperatura média anual do ar oscila entre 17,5° C (Aeroporto, a 100 m de altitude) e 14,3°C (Fontinhas, a 430m de altitude), variando com regularidade ao longo do ano, apresenta um máximo em agosto e um mínimo em fevereiro. Verifica-se que o mês mais quente corresponde ao mês menos pluvioso e o mais frio ao de precipitação mais elevada (SREA, 2018).

Os valores anuais de precipitação aumentam com a altitude, tendendo a ser mais elevados na zona oriental do que na zona ocidental da ilha, para a mesma altitude (figura 8). O máximo de precipitação verifica-se no inverno, entre 189 mm (Fontinhas, em dezembro) a 101 mm (Aeroporto, em janeiro), e o mínimo varia entre de 45 mm (Fontinha, em junho) e 26 mm (Aeroporto, em julho) (SREA, 2018).

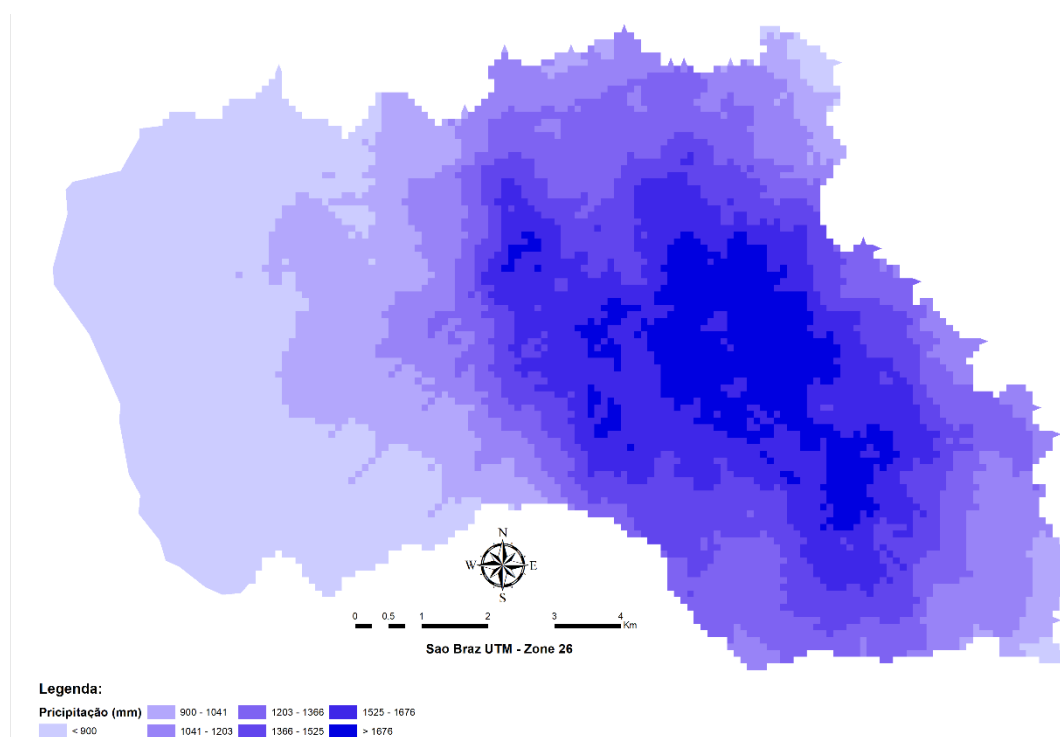


Figura 8 | Distribuição da Precipitação Média Anual – Ilha de Santa Maria. Carta elaborada com dados vetoriais disponibilizados pela Direção Regional do Ambiente.

Enquadramento Hidrográfico

Na zona ocidental a rede de drenagem é muito pouco desenvolvida, com linhas de água de trajeto essencialmente retilíneo, que correm segundo o declive do terreno. Nesta zona, só

existem essencialmente canais de primeira e segunda ordem, o que colca em evidência a reduzida hierarquização da rede de drenagem. Nas outras zonas da ilha, a drenagem é muito mais densa e desenvolvida, ocorrendo segmentos de linhas de água de número de ordem quatro, sendo o padrão geralmente dendrítico, conforme se pode verificar na figura 9 (SRAM, 2012).

A zona ocidental central é denominada pelas bacias hidrográficas das ribeiras do Engenho, São Francisco e Praia. À ribeira do Engenho corresponde um vale de fratura, retilíneo e assimétrico, com a vertente oeste abrupta, encaixada na porção inferior. A ribeira de São Francisco situa-se no centro desta zona, apresentando um padrão dendrítico muito pouco hierarquizado, com apenas quatro segmentos de número de ordem superior a três, estando encaixada ao longo da sua porção inferior. A ribeira da Praia também apresenta um padrão dendrítico pouco hierarquizado, existindo apenas um único segmento de número de ordem três, sendo o vale muito encaixado a jusante (SRAM, 2012).

A rede hidrográfica da região oriental é densa e dominada pelas bacias das ribeiras de Santa Bárbara a norte, Salto ao centro e Ribeira Grande a Sul. A hierarquização destas bacias de padrão dendrítico é bastante uniforme, o que é verificável pelo número de segmentos das diferentes ordens, com exceção da ribeira de Santa Bárbara que apresenta uma rede de drenagem mais densa. Os vales são entalhados a jusante e mais abertos a montante (SRAM, 2012).

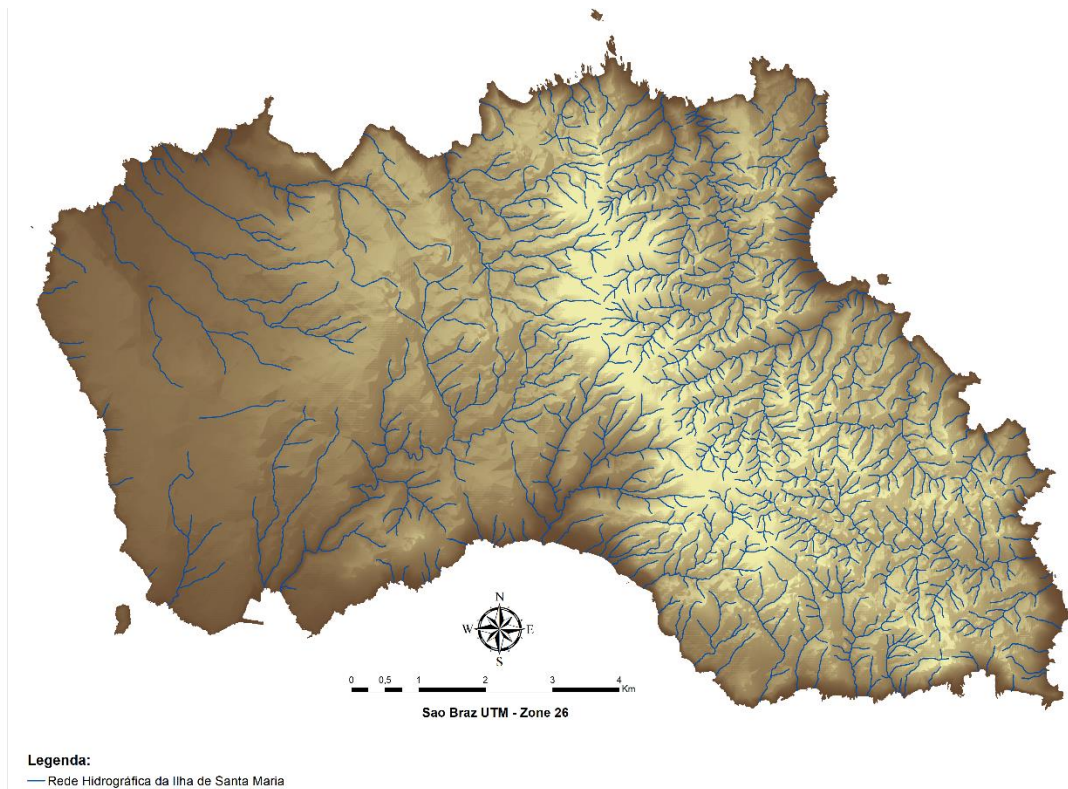


Figura 9 | Rede Hidrográfica – Ilha de Santa Maria. Carta elaborada com dados vetoriais disponibilizados pela Direção Regional do Ambiente.

Enquadramento da Bacia Hidrográfica de São Francisco

A bacia hidrográfica MAB11, cuja designação é Bacia de São Francisco, integra a Região Hidrográfica 9 - Açores (SRAM, 2012) e localiza-se na zona ocidental da ilha de Santa Maria (figura 10), desenvolvendo-se no alinhamento NE-SO.

A rede hidrográfica da bacia em estudo tem a maioria dos seus cursos superiores na encosta e no sopé do complexo montanhoso do Pico Alto, que se estende na direção NNW-SSE entre as Lagoínhas e a Gloria, prolongando-se, posteriormente, esta rede para SO, na zona intermédia, através de uma zona pouco acidentada, mas com leito bem definido. O curso inferior ou final da rede desenvolve-se ao longo de um leito bastante mais encaixado entre a zona dos Moinhos, na unidade geográfica de Almagreira e a foz, localizada na zona do Calhau da Roupa, na unidade geográfica de Vila do Porto (figura 10).

O troço principal e o qual dá o nome à bacia, ribeira de São Francisco, tem como principais afluentes as ribeiras do João Luís, a ribeira da Banda Além e a Ribeira de São Domingos, desenvolvendo-se esta rede de drenagem ao longo das unidades geográficas de Almagreira, São Pedro e Vila do Porto.

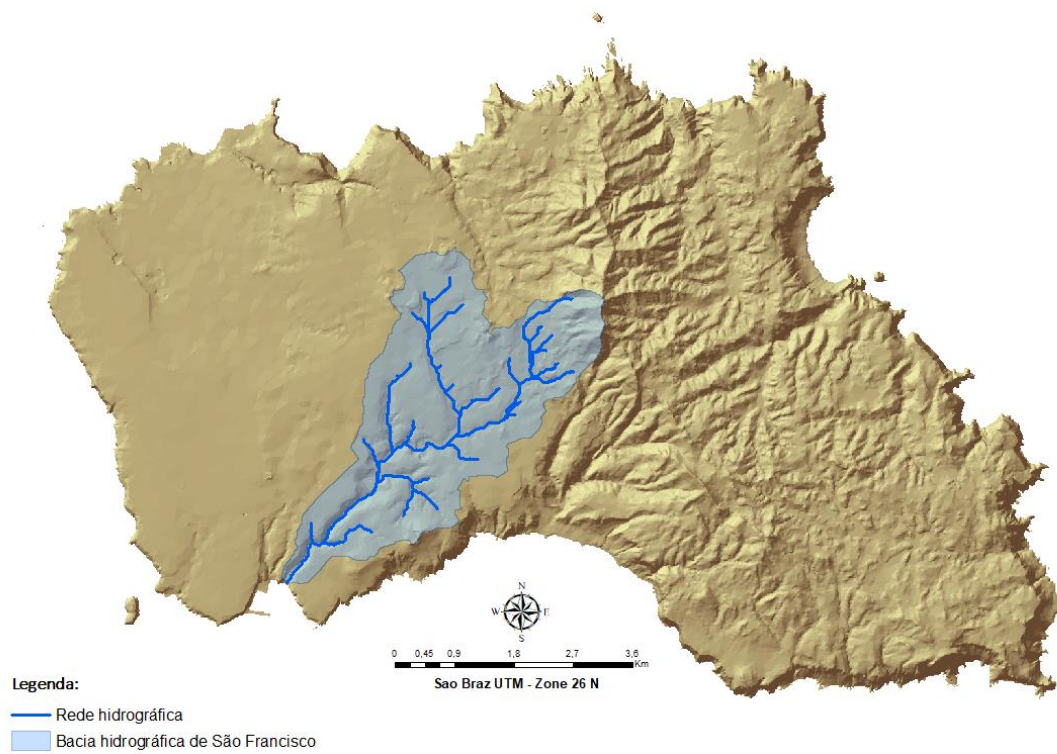


Figura 10 | Bacia hidrográfica de São Francisco e rede hidrográfica extraída do MDT.

3.2 - Metodologia

Processo de modelação

O processo de modelação iniciou-se com a construção do Modelo Digital do Terreno (MDT), com o recurso aos dados georreferenciados no formato vetorial *shapefile*, nomeadamente os ficheiros relativos às curvas de nível, com equidistância de 10 metros e ao limite da ilha. Do MDT resultante procedeu-se ao redimensionamento das células para 5 x 5 metros. Os dados de entrada foram disponibilizados pela Direção de Serviços de Cartografia e Informação Geográfica da Direção Regional do Ambiente (DSCIG – DRA), tendo sido utilizado um sistema de georreferenciação local, denominado Sao Braz UTM Zone 26S, onde o sistema de coordenadas projetadas é o UTM e o *datum* o Sao Braz.

HEC-HMS

Seguidamente e por meio das extensões do Arc-Hydro e Hec-GeoHMS procedeu-se à delimitação da bacia hidrográfica e criação das respetivas sub-bacias, permitindo deste modo gerar algumas das características físicas da bacia hidrográfica.

As etapas desenvolvidas no processo de modelagem no ArcHydro ocorram conforme descrito na figura 11.

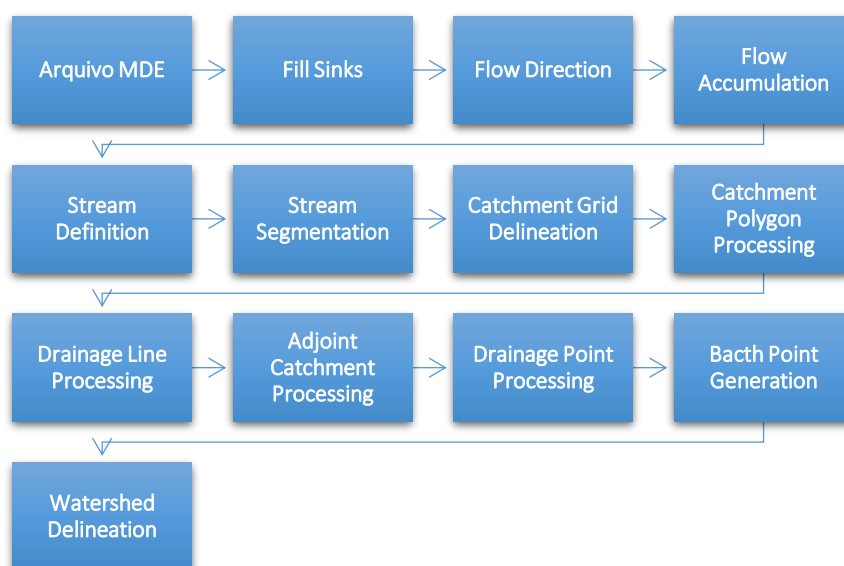


Figura 11 | Fluxograma das etapas desenvolvidas no GeoHec-HMS¹.

Antecedendo o processo de análise do MDT, é essencial eliminar os erros cartográficos ou outras falhas que impossibilitem ou condicionem a modelação em ambiente HEC-HMS, i.e.

¹ Vocabulário utilizado de acordo com o idioma disponibilizado no *software* GeoHEC-HMS.

ocorrência de depressões topográficas localizadas. Estas falhas são corrigidas com recurso ao comando *Fill Sinks*, que procede à regularização das depressões existentes, tendo estas resultado de erros de execução do MDT aquando da sua construção com a sobreposição dos dados vetoriais utilizados. Este comando recorre a grupos de três células e se a célula apresentar uma elevação inferior às células envolventes, procede à sua elevação até atingir a célula com menor elevação. Este processo permite modelar a escorrência superficial da água de forma simples (figura 1 – anexo A).

O passo seguinte no processo de modelação em *Arc Hydro* é a execução do comando *Flow Direction*, através do acondicionamento do *Hydro DEM* anteriormente gerado, desta forma é calculada a grelha de direção do escoamento (*Layer Flow Direction Grid*), sendo que a cada célula é atribuído um dos oito valores análogos às direções cardinais (1 - Este; 2 – Sudeste; 4 – Sul; 8 – Sudoeste; 16 – Oeste; 32 – Noroeste; 64 – Norte; 128 – Nordeste), gerando assim a *Layer Fdr* (figura 2– anexo A).

No passo seguinte, o *Flow Accumulation* acondiciona a *layer* anteriormente gerada e procede ao cálculo da grelha de acumulação do escoamento, onde associa a cada célula um escoamento acumulado, que decorre da soma do número das células que se encontram a montante, gerando a *Layer Fac* (figura 3– anexo A).

Tendo por base a grelha gerada para a cumulação do escoamento, procede-se agora à definição da rede de drenagem – *Stream Defination* – onde é gerada a *Layer Str*, sendo que este comando está substanciado no valor máximo ou limiar pedido ao utilizador, identificando assim o que o modelo assume como sendo a rede de drenagem. Este valor representa a percentagem das células ou a área mínima de escoamento, em km², para que seja considerada a existência de um curso de água, tendo sido utilizado um valor contido por defeito no *Arc Hydro* (figura 4 anexo A).

Com recurso ao comando *Stream Segmentation*, cria-se um agrupamento de segmentos da rede de drenagem, *StrLnK*. Na sequência é criada uma tabela de atributos que será posteriormente utilizada na delimitação das sub-bacias (figura 5 – anexo A).

Na execução do comando *Catchement Grid Delination*, é conferido a cada célula um valor que define a que sub-bacia esse segmento pertence e, conseqüentemente, qual o segmento da rede de drenagem para o qual o escoamento ocorre (figura 6– anexo A).

No comando *Drainage Line Processing* e com recurso às *Layer's*, referentes à rede de drenagem e escoamento, procede-se ao cômputo da rede de drenagem final, *DrainageLine*, sendo-lhe conferida a numeração normalizada para o processamento posterior no *software* HEC-HMS (figura 7– anexo A).

Seguidamente, o comando *Catchement Polygon Processing* efetua o processo de conversão da *Layer*, em anterior formato *raster* para o formato vetorial, gerando um Polygon Feature Class, sendo renomeada para *Catchement*. Em termos de análise hidrológica a execução deste comando é tida como uma ação auxiliar.

Findo o processamento do modelo digital de terreno no *ArchHydro*, inicia-se o processo de criação de um projeto HEC-HMS, no qual se recorre à extensão disponibilizada pelo Hec-GeoHMS. Aqui, procedemos ao gerenciamento dos parâmetros do projeto com os parâmetros que posteriormente serão utilizados na modelação da bacia hidrográfica. Todas estas características são editáveis no HEC-HMS. A criação do projeto culmina com a criação de um *Layer* de pontos, com a representação do ponto localizado no exutório da bacia e uma *Layer* de polígonos com a representação da área da bacia hidrográfica. No momento da criação do projeto agregou-se as sub-bacias definidas no processamento com o *ArchHydro*, tendo no caso em análise, o número de sub-bacias sido reduzido para quatro, conforme ilustra a figura 8 do anexo A.

Caraterização morfológica da bacia hidrográfica

Recorrendo ao software ArcGIS 10.6.2 e suas extensões de análise espacial, procedeu-se à mensuração dos parâmetros da área da bacia hidrográfica em estudo e do seu perímetro, tendo os valores obtidos sido o ponto de partida para o desenvolvimento dos diversos índices aplicados na sua caraterização morfológica.

Índice de compacidade ou índice de Gravelius (K_c):

De acordo com Rodrigues et al. (2011), este índice é definido pela relação entre o perímetro da bacia (P) e o perímetro de uma bacia com igual área (em km²) (A), mas com forma circular. A área e o perímetro da bacia circular serão respetivamente, $A = \pi r^2$ e $P = 2\pi r$, logo:

$$k_c = \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Com P - perímetro (km) e A - área (km²).

Este valor adimensional, independente da área estudada, tem por definição o valor de 1 para bacias imaginárias de formato exatamente circular. Os valores de K_c nunca serão menores que

1. O grau de aproximação deste índice à unidade indicará a tendência de concentração de grandes volumes de água de escoamento, sendo mais acentuado quanto mais próximo estiver da unidade, o que significa que, quanto maior o K_C , menor a concentração de água.

Fator forma (K_f):

Este índice expressa a relação entre a largura média da bacia (l) e o seu comprimento (L), sendo a largura média definida pela razão entre o comprimento e a sua área (A), assim K_f expressa-se:

$$K_f = \frac{l}{L} = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Com, L^2 - comprimento (km) e A - área (km²).

Quando o fator de forma apresenta um valor baixo, a propensão para a ocorrência de cheia é igualmente baixa, ao contrário do que ocorre numa outra qualquer bacia com a mesma dimensão, mas com um fator de forma maior. Deve-se esta circunstância de facto que, na bacia alongada, a probabilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo a totalidade da bacia é menor. Na mesma bacia, o caudal de cada um dos tributários que afluem ao curso de água principal e conseqüentemente à secção de referência, ocorre em momentos desencontrados, mitigando desta forma os picos de escoamento (Rodrigues et al., 2011).

Densidade de drenagem

De acordo com Rodrigues et al. (2011), a densidade de drenagem (D_r), estabelece a relação entre o comprimento total dos cursos de água (L_t) que compõem a bacia hidrográfica e a sua área.

$$D_r = \frac{L_t}{A} \quad (3)$$

Com, L_t – comprimento total dos cursos de água (km) e A - área (km²).

A densidade de drenagem indica-nos qual o grau de eficiência da rede de drenagem natural que a bacia exhibe, e que, em termos abstratos, são considerados os valores da densidade de drenagem que variam entre 0,5 km/km² em bacias com fraca drenagem e de 3,5 km/km² ou mais, para as bacias com muito boa rede de drenagem. Estas últimas, quando se verifica a igualdade dos restantes fatores, normalmente correspondem a bacias com maior propensão para a ocorrência de cheias, considerando que as mesmas promovem o escoamento superficial ao invés da infiltração (Rodrigues et al., 2011).

Densidade hídrica:

De acordo com Rodrigues et al. (2011), este índice (D_h) estabelece a relação entre o número de cursos de água (N), existentes na bacia hidrográfica e a sua área (A).

$$D_h = \frac{N}{A} \quad (4)$$

Com, N – numero de cursos de água e A - área (km²).

Extensão média do escoamento superficial:

Este índice, (\bar{P}_s), exprime a distancia média que uma gota de água tem de percorrer até alcançar o cursos de água mais próximo, sendo o seu valor sensivelmente um quarto do inverso da densidade de drenagem (Rodrigues et al., 2011).

$$\bar{P}_s = \frac{A}{4L_t} \approx \frac{1}{4D_r} \quad (5)$$

Com, D_r – densidade de drenagem.

Sinuosidade do curso de água:

Este índice estabelece a relação entre o comprimento do curso de água principal (L) e o comprimento da diretriz (L_D) ou comprimento da bacia, sendo que a sinuosidade é uma das características que condiciona a velocidade dos caudais. Quando a sinuosidade tende para a unidade, expressa uma tendência para um traçado retilíneo (Costa & Lança, 2011).

$$S = \frac{L}{L_D} \quad (6)$$

Com, L - comprimento do curso de água principal e L_D (km) - comprimento da diretriz (km).

Altitude e altura média da bacia Hidrográfica:

A altitude média (\bar{Z}), medida em metros, decorre do somatório dos produtos da altitude média verificada entre duas curvas de nível sucessivas (\bar{Z}_i), e o valor da sua área (A_i), pelo valor da área total da bacia (A) (Rodrigues et al., 2011).

$$\bar{Z} = \frac{\sum Z_i \times A_i}{A} \quad (7)$$

Pode-se igualmente definir a altura média (\bar{H}), tendo por base a origem das alturas, a cota da secção de referência da bacia (Z_{min}) (Rodrigues et al., 2011).

$$\bar{H} = \frac{\sum Z_i \times A_i}{A} = \bar{Z} - Z_{min} \quad (8)$$

Com, \bar{Z}_i - altitude média verificada entre duas curvas de nível sucessivas, A_i - valor da sua área (km^2) e A - área (km^2).

Coefficiente de massividade e coeficiente orográfico:

De acordo com Marcuzzo et al. (2012), o coeficiente de massividade estabelece a relação entre a altura média (\bar{H}), em metros, e a área total da bacia (A), em quilómetros quadrados. Este índice reflete, através da relação dada, a distribuição dos níveis altimétricos da bacia, indicando os índices inferiores a 0,5 bacias com uma distribuição dos níveis altimétricos por cotas mais baixas (Borsato, 2005).

$$C_{mass} = \frac{\bar{H}}{A} \quad (9)$$

Com H - altura média (m) e área e A - área (km^2).

Enquanto que o coeficiente orográfico estabelece a relação entre a altura média ao quadrado (\bar{H}^2) e a área total da bacia hidrográfica (A), em quilómetros quadrados.

$$C_o = \frac{\bar{H}^2}{A} \quad (10)$$

Com, \bar{H}^2 - altura média (m) e área e A - área (km^2).

Declive médio do curso de água:

$$D_m = \frac{\Delta Z}{1000 \times L} \quad (11)$$

Com, ΔZ - variação da altura e L (m) - comprimento total (m).

Tempo de concentração:

O tempo de concentração pode ser obtido através da utilização de inúmeras expressões. Neste trabalho referimos apenas as expressões propostas por David e a fórmula do *Soil Conservation Service*.

Tempo de concentração, fórmula de David

Em 1976, David propôs uma formula idêntica à de Kirpich, indicado para bacias urbanas com áreas de drenagem até 25 km^2 .

$$t_c = \frac{0.000324 * L^{1.15}}{\Delta H^{0.38}} \quad (12)$$

Com t_c - o tempo de concentração (h), L - comprimento do maior curso de água da bacia para um determinado ponto (m) e ΔH Diferença de cotas (m).

Tempo de concentração, fórmula da SCS

$$t_c = \left(\frac{L}{\frac{1000}{i^{0.25}}} \right)^{0.76} \quad (13)$$

Com t_c - o tempo de concentração (h), L - comprimento do maior curso de água da bacia para um determinado ponto (m), e i – a inclinação m/m.

Cálculo do número de escoamento – CN

O número de escoamento (*curve number* – CN) é utilizado para calcular as perdas de precipitação, incluindo as precipitações efetivas e o escoamento direto, considerando o efeito que o tipo e uso do solo tem no processo e, naturalmente, apesar de não ser expressamente considerada, a infiltração. Este método observa-a de forma indireta (Viessman & Lewis, 1995).

O método CN defendido pela *Service Conservation Soil* da *United States Department of Agriculture* – USDA, foi desenvolvido em 1954 com o objetivo de estimar a transformação da precipitação em escoamento superficial, sendo amplamente utilizados em trabalhos desta natureza (Geetha et al., 2007). De acordo com Hipólito & Vaz (2013), a utilização deste parâmetro nos modelos de transformação da precipitação em escoamento, permite modelar cheias em bacias hidrográficas de pequena dimensão, de acordo com as escalas temporais significativas para o efeito.

O *Service Conservation Soil* da *United States Department of Agriculture* – USDA, possui tabelas de informação cartográfica que exibem a distribuição espacial dos vários tipos de solo, sendo esta informação essencial para a definição do número de escoamento. Nos Açores e na ilha de Santa Maria em particular, não existe informação acerca dos diversos tipos de solo catalogados e compatibilizados de acordo com o método do *Service Conservation Soil*. Os dados referentes à pedologia da ilha estão limitados à informação constante no Esboço Pedológico da Ilha de Santa Maria, onde as classificações generalizadas do solo não evidenciam o detalhe necessário para a rigorosa aplicação do modelo.

Na determinação do número de escoamento recorreu-se à classificação do Grupo Hidrológico dos Solos (GHS), conforme apresentada pelo *Service Conservation Soil*. Tendo sido utilizado o grupo hidrológico dos solos Tipo C (quadro 1), em função da escassez de informação existente para a área de estudo e considerando que é este o tipo de solo que serve de base para o desenvolvimento dos estudos hidrológicos da ilha de Santa Maria, de acordo com o Plano de Gestão dos Recursos Hídricos dos Açores.

Quadro 1 | Classificação hidrológica dos solos de acordo com o SCS

Tipo de solo	Caraterísticas do solo
Tipo A	Solos dando origem a baixo escoamento, ou que apresentam permeabilidade bastante elevada. Inclui areias em bastante espessura, e com pouco limo ou argila, e arenitos com bastante espessura e muito permeáveis.
Tipo B	Solos menos permeáveis que os do tipo A mas com permeabilidade superior à média. Inclui fundamentalmente solos arenosos menos espessos que os do tipo A e arenitos menos espessos e menos agregados que os do tipo A.
Tipo C	Solos originando escoamentos diretos superiores à média e superiores aos originados pelos tipos anteriores. Inclui solos pouco espessos e solos com quantidades apreciáveis de argilas, se bem que menos do que os do tipo D.
Tipo D	Solos com argilas expansivas e solos pouco espessos, com sub-horizontes quase impermeáveis que originam elevado escoamento direto.

Não havendo informação acerca do tipo hidrológico do solo, procedeu-se à observação da bacia hidrográfica considerando a utilização ou cobertura do solo. No quadro 2 está representada a estimativa do CN, desenvolvida pelo *Service Conservation Soil*, para áreas agrícolas e com diferentes tipos de solo rural.

Quadro 2 | Valores de CN para áreas rurais (adaptado de SCS, 1973)

Utilização ou cobertura do Solo	Condições de superfície	Tipo de solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado		77	86	91	94
Culturas arvenses	Segundo o maior declive	64	76	84	88
	Segundo as curvas de nível	62	74	82	85
	Segundo as curvas de nível e em terraço	60	71	79	82
Rotações de culturas	Segundo o maior declive	62	75	83	87
	Segundo as curvas de nível	60	72	81	84
	Segundo as curvas de nível e em terraço	57	70	78	82
Pastagens	Pobre	68	79	86	89
	Normal	49	69	79	84
	Boa	39	61	74	80
	Pobre, segundo as curvas de nível	47	67	81	88
	Normal, segundo as curvas de nível	25	59	75	83
Prado permanente	Boa, segundo as curvas de nível	6	35	70	79
	Normal	30	58	71	78
Zonas sociais rurais	Normal	59	74	82	86
Estradas	Pavimento permeável	72	82	87	89
	Pavimento impermeável	74	84	90	92
Florestas	Muito abertas ou de baixa transpiração	56	75	86	91
	Abertas ou de baixa transpiração	45	66	77	83
	Densas ou de alta transpiração	36	60	73	79
	Muito densas ou de alta transpiração	25	55	70	77
Superfície impermeável		15	44	54	61

O parâmetro CN depende de três fatores: i) humidade do solo; ii) tipo de solo e iii) ocupação de solo. De acordo com os dados de precipitação e de solos da área de estudo, foi possível agrupar a classificação hidrológica dos solos (quadro 1) com os valores de CN (quadro 2), comparando-os com as correspondentes condições de uso e cobertura do solo, variando desde uma cobertura muito permeável (limite inferior da CN), observada para os Solos Litólicos, até uma cobertura impermeável (limite superior da CN), que é o caso observado para os solos Argilosos.

Os números de escoamentos CN apresentados no quadro 2 são referentes a uma circunstância normal de condição antecedente de humidade do solo AMCII (*Antecedent Moisture Condition*), assim os valores apresentados devem ser corrigidos quando se efetuam os cálculos para situações particularmente secas (AMCI) ou para situações particularmente húmidas (AMCIII), conforme se pode verificar no quadro 3, na definição dada aos três tipos de condições antecedentes de humidade:

Quadro 3 | Definição das condições antecedentes de humidade (adaptado de Lencastre & Franco)

Condição antecedente de humidade	Definição
AMCI	Situação em que os solos estão secos, mas acima do ponto de emurchecimento. A consideração deste caso é pouco recomendável para o estudo de caudais de cheia.
AMCII	Situação média que, segundo Morel-Seytoux e Verdain (1980), deve corresponder aproximadamente à capacidade do campo. Esta situação corresponde provavelmente às condições de humidade antecedentes de cheias de pequena dimensão.
AMCIII	Situação em que ocorrem precipitações consideráveis nos cinco dias anteriores e o solo se encontra quase saturado. É a situação mais propícia à formação de maiores cheias e, portanto, aquela que se reveste de maior importância para o projeto.

Para efetuar o cálculo dos números de escoamento nas situações AMCI e AMCIII, Chow et al. (1998) propõem as seguintes expressões:

$$CN(I) = \frac{4,2 \text{ CN (II)}}{10 - 0,058 \text{ CN (II)}} \quad (14)$$

$$CN(III) = \frac{23 \text{ CN (II)}}{10 + 0,13 \text{ CN (II)}} \quad (15)$$

O quadro 4 apresenta o número de escoamento corrigido em função da condição antecedente de humidade.

Quadro 4 | Correção do número de escoamento (adaptado de SCS, 1973)

Valor de CN para a situação AMCII	Valor corrigido de CN para a situação	
	AMCI	AMCIII
100	100	100
95	87	98
80	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43
20	9	37
15	6	30
10	4	22
5	2	13

Como a informação disponível acerca das características dos solos presentes na bacia hidrográfica, o valor CN representativo da bacia pode ser obtido através da ponderação de cada valor presente na bacia, pela proporção de área associada a este valor, através da seguinte expressão:

$$CN = \frac{\sum_{i=1}^n cn_i a_i}{A} \quad (16)$$

Com, CN - o número de curva, A – a área da bacia, e cn – o número de curva de uma parte da bacia, e a – a área associada a um número de curva na bacia.

Nesta análise, para derivar o valor do parâmetro CN, foram observadas as associações entre as classes de cobertura e ocupação, obtidas através da Carta de Ocupação do Solo dos Açores (COSA - 2018) e o grupo hidrológico do solo.

Considerando que a tabela original do método do SCS é vasta e exibe uma grande quantidade de combinações, restringiu-se essa quantidade de acordo com a capacidade de mapear a cobertura do solo da COSA, conforme apresentado na figura 12. Com o suporte nessa simplificação e considerando as classes de solo presentes na bacia hidrográfica em análise reflete-se no quadro 5.

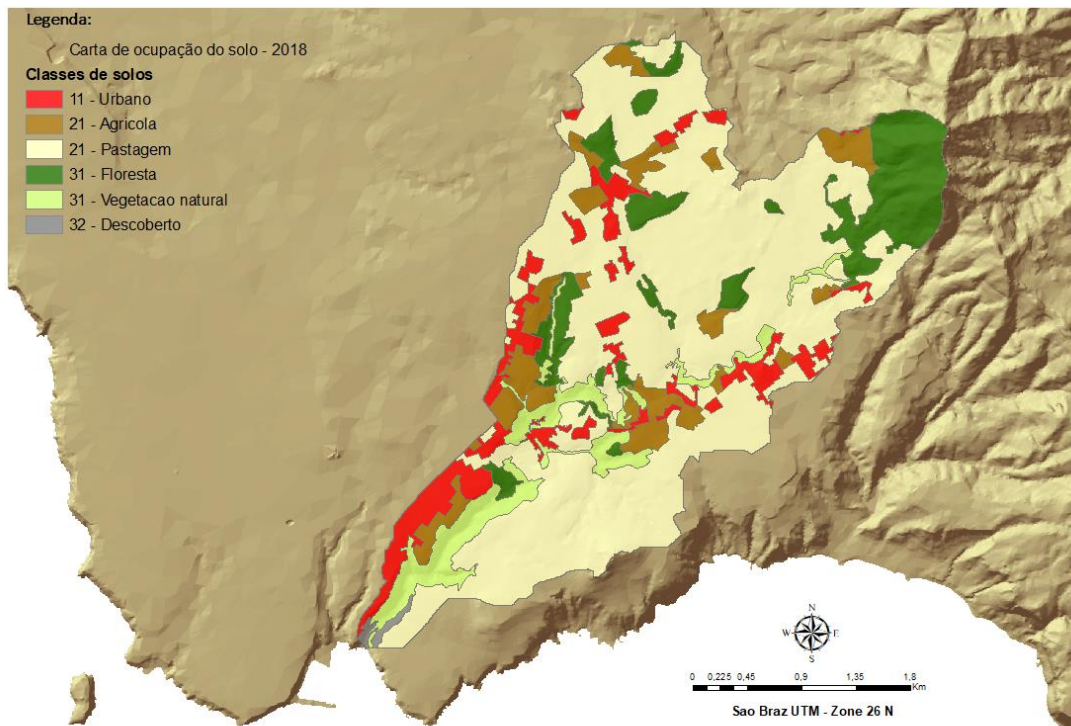


Figura 12 | Carta de ocupação do solo da bacia hidrográfica de São Francisco.

Quadro 5 | Número de escoamento CN do SCS simplificado

Uso do solo	Grupo hidrológico do solo			
	A	B	C	D
Urbano	59	74	88	86
Floresta	36	60	70	79
Pastagem	49	69	86	84
Vegetação natural	25	55	71	77
Agrícola	60	72	82	84
Descoberto	68	79	71	89

Precipitação

Distribuição espacial da precipitação

No sentido de efetuar, de forma expedita, a distribuição da precipitação sobre a bacia, fez-se uso do ArcGIS na aplicação da metodologia dos Polígonos de Thiessen, tendo para o efeito sido utilizado os dados referentes à precipitação das estações meteorológicas próximas da bacia hidrográfica. Convém salientar que a ilha de Santa Maria possui no seu território apenas quatro estações meteorológicas reconhecidas para a medição da precipitação, não estando nenhuma delas dentro da área de influência da bacia hidrográfica de São Francisco, conforme representado na figura 13.

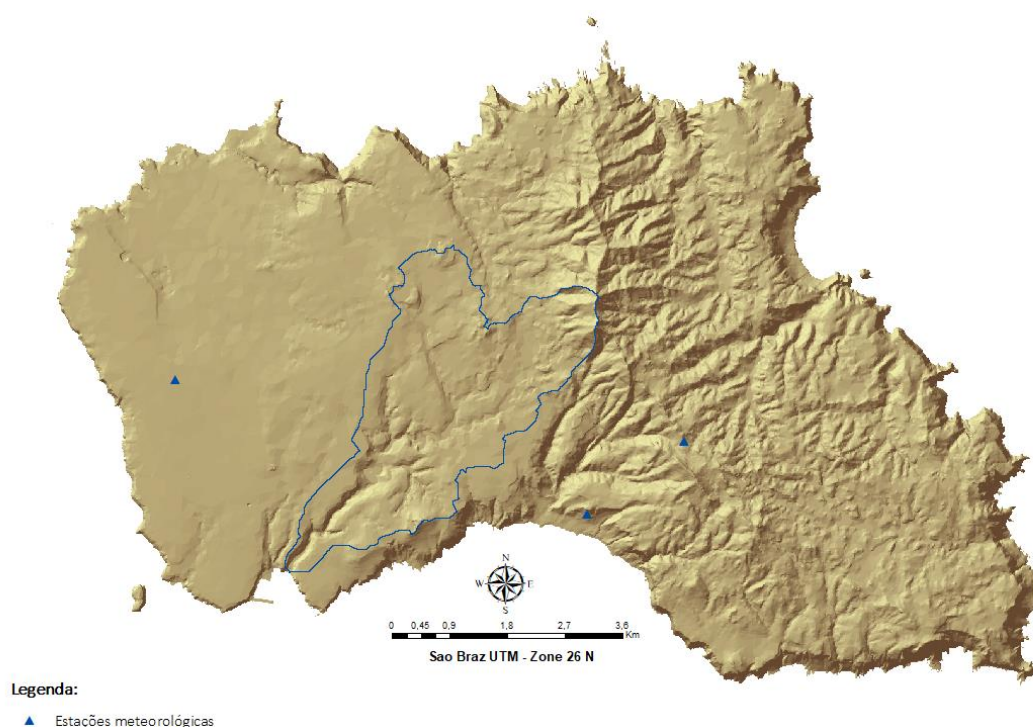


Figura 13 | Distribuição espacial das estações meteorológicas pela unidade geográfica de Santa Maria.

Os dados de precipitação relativos às estações meteorológicas identificadas no quadro 6 foram disponibilizados pela Delegação dos Açores do Instituto Português do Mar e da Atmosfera e pela Secretaria Regional do Ambiente e Alterações Climáticas, e referem-se à série temporal de 2015 a 2019, mostrando a variação da precipitação ocorrida nos três postos udométricos nestas existentes, conforme se pode verificar nas figuras 14, 15 e 16, à frente apresentadas:

Quadro 6 | Descrição dos postos meteorológicos

Nome	Número	Tipo	Latitude	Longitude	Altitude	Gestão
Santa Maria / Aeródromo	515	Estação Automática Principal (EMA I)	36.973194	-25.1727944	96	IPMA
Santa Maria / Praia Formosa		Estação Automática	36.954076	-25.091781	179	SRAAC
Santa Maria / Fontinhas		Estação Automática	36.962853	-25.075880	410	SRAAC

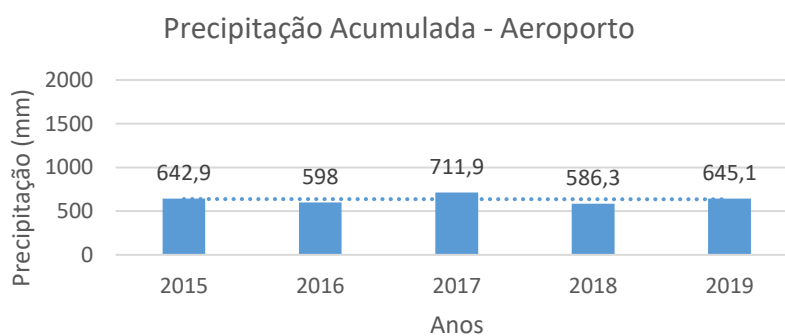


Figura 14 | Precipitação acumulada verificada nos anos de 2015 a 2019 na estação meteorológica do Aeroporto.

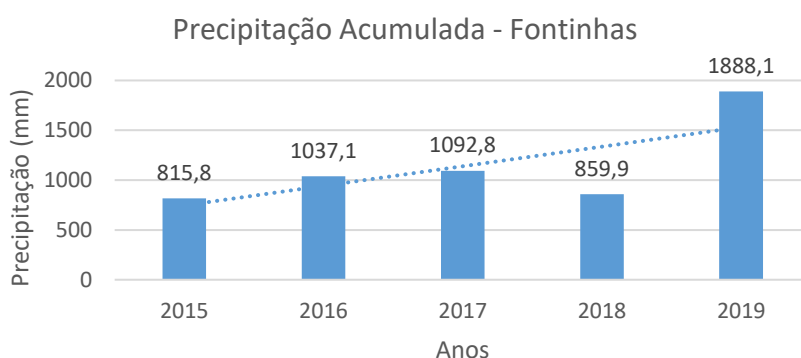


Figura 15 | Precipitação acumulada verificada nos anos de 2015 a 2019 na estação meteorológica das Fontinhas.

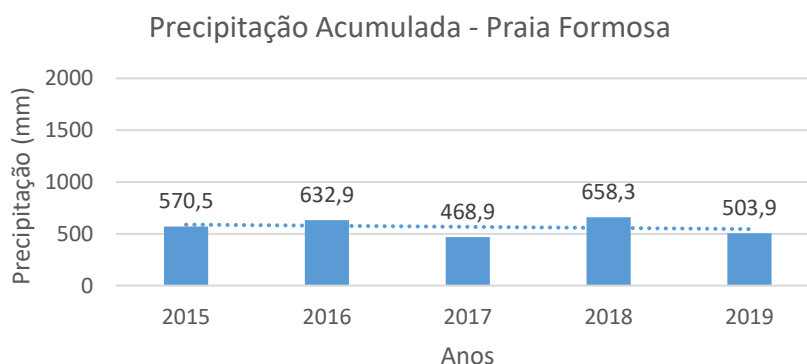


Figura 16 | Precipitação acumulada verificada nos anos de 2015 a 2019 na estação meteorológica da Praia Formosa.

Deste modo, verifica-se que posto das Fontinhas é o que apresenta o maior valor de precipitação acumulada, tendo-se verificado em 2019 o valor máximo de 1888,1 mm, enquanto as estações do Aeroporto e da Praia Formosa apresentaram valores com pouca

variabilidade entre si, sendo que o valor máximo de precipitação acumulada durante o período de um ano, registada na Praia Formosa, no ano de 2018, foi de 658,3 mm.

A precipitação máxima diária registada foi verificada no posto meteorológico das Fontinhas e ocorreu no dia 16/04/2018, com o valor de 276,3 mm. Por sua vez, os valores máximos diários registados nas estações do Aeroporto e da Praia Formosa foram de 60 mm e 49,8 mm, ocorridos nos dias 15/10/2016 e 14/01/2016, respetivamente.

No cálculo da precipitação média da bacia hidrográfica de São Francisco, recorreu-se à metodologia dos polígonos de Thiessen, sendo esta uma metodologia de uso generalizado que identifica a influência que os postos udométricos tem sobre uma determinada área, adotando este método uma variação linear da precipitação entre os diversos postos. No ambiente ArcGIS, a aplicação deste método apresenta-se de forma simplificada, necessitando unicamente que se efetue um comando para se alcançar a resolução do algoritmo de Thiessen.

De acordo com Viessman & Lewis (1995), este modelo não é aconselhável para zonas montanhosas onde a variação da altitude entre os postos pode ter preponderância, relativamente à distância horizontal, na variabilidade e, naturalmente, na distribuição da precipitação, tudo isto devido a influências orográficas. Todavia, este cenário não se verifica na área geográfica em análise, onde os postos se localizam entre as cotas 96 e 410 m, isto porque mais de 80% da bacia está localiza entre as cotas dos 100 a 250 m.

Quadro 7 | Precipitação média da bacia pelo método dos polígonos de Thiessen

Posto udométrico	Precipitação (mm)	Área de influência do posto udométrico (km ²)	Produto da área da bacia pela precipitação
Praia Formosa	2834,5	6,94	19660,69
Fontinhas	5693,7	1,19	6789,57
Aeroporto	3184,2	2,93	9320,15
Total		11.06	35770.41
		Precipitação média	3235.48 mm

A precipitação média é assim expressa pela seguinte fórmula:

$$\bar{P} = \frac{\sum A_i * P_i}{A} \quad (17)$$

Com, \bar{P} - precipitação média na bacia (mm), P_i - precipitação na estação (mm),

A_i - área de influência da estação (km²) e A - área total da bacia (km²).

Cálculo da precipitação total – Curvas de Intensidade, Duração e Frequência (IDF), Cálculo da intensidade

Uma das relações mais utilizadas na análise hidrológica de modo a calcular a precipitações máximas de um determinado ponto da bacia hidrográfica, é a denominada curva IDF (Intensidade – Duração – Frequência). Esta curva relaciona a intensidade máxima da chuva (mm/h) com a sua duração no tempo (minutos), para um determinado período de retorno (anos).

De forma a alcançar o volume e o caudal de uma cheia é necessário, depois de apuradas as características fisiográficas da bacia, determinar a intensidade de precipitação para uma dada duração e frequência de precipitação e a sua distribuição temporal (Pereira, 1995).

Matos (1986) determinou que as curvas IDF no seguimento do tratamento estatístico das séries de valores máximos da intensidade de precipitação para diferentes durações e para a mesma frequência de ocorrência, resulta daí o ajustamento, pelo método dos mínimos quadrados, das intensidades de precipitação correspondentes a diversas durações t , para um dado período de retorno T , de uma curva exponencial, sendo esta definida pela expressão:

$$I = a * t_p^b \quad (18)$$

com, I – a intensidade (mm/h), t_p – tempo de duração da precipitação, e a e b , são os parâmetros definidos para a curva IDF.

De acordo com o Regulamento Geral de Sistemas Públicos e Prediais e Distribuição de Águas e de Drenagem de Águas Residuais e Pluviais (Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto), no seu anexo IX, circunscreve as Regiões Pluviométricas de Portugal, definindo que a Região Autónoma dos Açores está inserida na zona C, sendo os parâmetros a) e b) os constantes no quadro 8.

Quadro 8 | Cálculo da intensidade da precipitação para os diversos períodos de retorno e com diferentes tempos de precipitação (mm/h)

tr (anos)	Região pluviométrica C			Intensidade (I) (mm/h)								
	parâmetros IDF			5 m	10 m	15 m	30 m	1 h	2 h	3h	4h	24h
	a	b	tp = tc (52 m)									
2	243,26	-0,577	25,02	96,11	64,43	50,99	34,18	22,91	15,36	12,16	10,30	3,66
5	311,11	-0,562	33,95	125,92	85,29	67,91	46,00	31,16	21,11	16,81	14,30	5,22
10	348,82	-0,549	40,07	144,17	98,54	78,87	53,91	36,85	25,18	20,16	17,21	6,44
20	381,29	-0,538	45,74	160,40	110,47	88,82	61,17	42,13	29,02	23,33	19,98	7,62
50	419,45	-0,524	53,17	180,48	125,51	101,49	70,58	49,08	34,13	27,60	23,74	9,28
100	438,75	-0,508	59,24	193,70	136,21	110,86	77,95	54,82	38,55	31,37	27,11	10,91

Cálculo da precipitação total

Na determinação da precipitação total para a bacia hidrográfica de São Francisco foi determinado pela seguinte expressão:

$$P_t = I * t_c \quad (19)$$

com, P_t – precipitação total (mm), I – a intensidade (mm/h), t_c – tempo de concentração da precipitação (horas).

Quadro 9 | Cálculo da precipitação total para os diversos períodos de retorno e com diferentes tempos de precipitação (mm/h)

pr anos	tp = tc (52 m)	5 m	10 m	15 m	30 m	1 h	2 h	3h	4h	24h
2	21,48	7,69	10,31	12,75	17,09	22,91	30,72	36,47	41,19	87,88
5	29,14	10,07	13,65	16,98	23,00	31,16	42,21	50,42	57,19	125,35
10	34,39	11,53	15,77	19,72	26,95	36,85	50,37	60,48	68,85	154,48
20	39,26	12,83	17,68	22,21	30,59	42,13	58,03	69,99	79,94	182,92
50	45,64	14,44	20,08	25,37	35,29	49,08	68,27	82,80	94,95	222,80
100	50,85	15,50	21,79	27,71	38,98	54,82	77,09	94,12	108,43	261,81

Cálculo da precipitação útil

De forma a determinar o caudal de ponta de cheia é indispensável quantificar a precipitação que dá origem ao escoamento superficial. Este tipo de precipitação é normalmente denominado por útil ou precipitação efetiva e corresponde à diferença entre a quantidade de água precipitada e as perdas para o escoamento superficial por interceção, retenção e infiltração.

O cálculo da precipitação útil, o SCS (1972 e 1973) fundamenta-se na definição de um conceito designado por capacidade máxima de retenção da bacia hidrográfica, onde se quantifica a capacidade desta para reter a água não utilizável na produção do escoamento superficial, através da expressão:

$$S_{mr} = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (20)$$

Com, S_{mr} - capacidade máxima de retenção (mm) e CN - número de escoamento.

Por sua vez, as perdas iniciais para o escoamento superficial, I_a , devidas à interceção, retenção e infiltração, segundo o SCS, são calculadas pela seguinte expressão:

$$I_a = 0.2 * S_{mr} \quad (21)$$

Com, S_{mr} - capacidade máxima de retenção (mm) e I_a - perdas iniciais para o escoamento superficial (mm)

Sendo a precipitação útil calculada a partir da expressão:

$$P_u = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S_{mr}} \quad (P > I_a) \quad (22)$$

$$P_u = 0 \quad (P < I_a) \quad (23)$$

Com, P_u - precipitação útil (mm), P - precipitação total (mm), I_a - perdas iniciais da precipitação, antes de se iniciar o escoamento de superfície (mm) e S_{mr} - capacidade máxima de retenção da bacia hidrográfica (mm)

Caudal de Ponta de Cheia

De acordo com Rodrigues et al. (2011), a definição de cheia não está completamente normalizada, estando muitas vezes associada a uma ocorrência anormal, com inundação de terrenos próximos ao leito de um qualquer curso de água. Em termos hidrológicos, o conceito é associado à ocorrência de escoamento superficial direto que pode, em determinadas circunstâncias, corresponder à primeira definição. Para Martins (2000), o caudal de ponta de cheia é definido como o caudal instantâneo máximo para uma situação de cheia, onde é possível determinar a admissibilidade do risco de ocorrência de galgamentos ou inundações das zonas ribeirinhas.

Segundo Rodrigues et al. (2011), a ocorrência de cheias depende fortemente das características associadas à bacia hidrográfica, características fisiográficas (área, forma, relevo, cobertura vegetal, natureza geológica dos solos e densidade de drenagem) e de características climatológicas (temperatura, humidade do ar e humidade do solo, e distribuição temporal e espacial da precipitação), que potenciam a ocorrência de precipitações críticas.

De acordo com Hipólito & Vaz (2013), o cálculo do caudal de ponta de cheia por ser efetuado com o recurso a diferentes fórmulas, recorrendo a métodos empíricos, onde as fórmulas são deduzidas a partir da experiência, tendo em linha de conta a área da bacia, não associando aos resultados as probabilidades da ocorrência. Os métodos cinemáticos por sua vez, tem em consideração as características do deslocamento da água na bacia hidrográfica, sendo expressas através das noções de tempo de concentração e precipitação crítica (precipitação que origina o maior caudal de ponta num determinado período de retorno). Por último, os métodos estatísticos têm na sua fundamentação a análise de valores referentes a uma dada secção; a extensão de uma amostra de valores por correlação com a precipitação na bacia e a regionalização dos valores obtidos para algumas secções por correlação com as características físicas da bacia.

Na definição do método cinemático dado por Rodrigues et al. (2011), as características do movimento da água na bacia hidrográfica são expressas através das noções do tempo de concentração e da precipitação crítica (precipitação que provoca o maior caudal de ponta para um determinado período de retorno), sendo estas as fórmulas com maior generalização em Portugal:

- i) Fórmula Racional é uma das metodologias habitualmente aplicadas para determinar os caudais de ponta de cheia em pequenas bacias hidrográficas. O caudal de ponta é calculado de acordo com a área da bacia, da intensidade média da precipitação, para um determinado período de retorno e duração da precipitação igual ao tempo de concentração da bacia, e de um coeficiente de escoamento dependente da natureza dos solos e da cobertura vegetal, no entanto este coeficiente é considerado constante para qualquer intensidade de chuva e para quaisquer condições anteriores à situação em análise (Rodrigues et al., 2011).

$$Q_p = C * i * A \quad (24)$$

Onde, C é coeficiente de escoamento adimensional obtido em tabelas de hidrologia, i a intensidade média para o intervalo máximo da precipitação, para um determinado tempo de retorno com duração igual ao tempo de concentração da bacia, em mm/h transforma-se em m/s, e A é a área da bacia em m^2 .

- ii) Fórmula do *Soil Conservation Service* (SCS), de acordo com Rodrigues et al. (2011), a sua estrutura é semelhante à fórmula racional.

$$Q_p = \frac{0.278 * A * P_u}{T_c} \quad (25)$$

Onde, A é a área da bacia hidrográfica em (km^2), P_u a altura da precipitação útil em (mm), correspondente à duração igual ao tempo de concentração para esse período de retorno e, T_c o tempo de concentração (h).

O parâmetro P_u é definido a partir da linha de possibilidade udométrica para a precipitação. $P = P(t_c, T)$, onde a curva de precipitação útil corresponde ao número de curva (NC) do SCS para a bacia hidrográfica.

Confrontando a fórmula SCS (25) com a fórmula racional (24), obtém-se:

$$C = \frac{P_u}{P} \quad (26)$$

Onde, P exibe a precipitação na bacia com duração igual ao tempo e concentração e período de retorno desejado.

- iii) No cálculo do caudal de ponta desenvolvido neste trabalho adotou-se a metodologia desenvolvida por de David (1976), estando esta devidamente

ajustada a bacias hidrográficas com áreas inferiores a 25 km², sendo o caudal de ponta de cheia determinado da seguinte forma:

$$Q_p = \frac{P_u A_b}{480.5 \left(0.6 t_c + \frac{t_p}{2} \right)} \quad (27)$$

Com, A_b – área da bacia (ha), t_c – tempo de concentração (h), t_p – tempo de precipitação (h) e P_u – precipitação útil.

Ordem da rede hidrográfica

A classificação da rede foi obtida em ambiente ArcGIS com o recurso à ferramenta *Hidrology*, no *ArcToolbox*, através do comando *Stream Order*, após esta ter sido definida na sua totalidade, independentemente do regime de escoamento, com o recurso ao HEC-GeoHMS.

Curva hipsométrica da bacia hidrográfica

Para mapear e posteriormente analisar as características hipsométricas da bacia hidrográfica de São Francisco, foi utilizada a base cartográfica produzida no âmbito deste projeto, o MDT com resolução de 5 m, com o recurso ao ArcGIS e ao polígono que define os limites da bacia hidrográfica e por meio das ferramentas disponíveis no *Arctoolbox*, foi gerado o mapa hipsométrico.

No desenvolvimento da metodologia para o estudo hipsométrico da bacia utilizou-se os seguintes índices: i) coeficiente de massividade (C_{mass}); coeficiente orográfico (C_o), altitude média da bacia (\bar{Z}) e altura média da bacia (\bar{H}), índices definidos na caracterização fisiográfica da bacia.

Caraterização do modelo físico da bacia hidrográfica

Findo a execução do modelo físico em ArcGIS, efetuou-se a sua exportação para o *software* HEC-HMS, sendo este procedimento de fácil e célere execução, recorrendo-se à extensão HEC-GeoHMS que, como se verificou anteriormente, auxiliou no processo de construção do modelo, estabelecendo a criação de múltiplos ficheiros e a verificação da integridade do mesmo para o correto funcionamento em ambiente HEC-HMS.

Na figura 17 encontra-se a representação formal do modelo, do modo como é apresentado pelo HEC-HMS, coincidindo com a representação do mesmo com o modelo criado em ambiente ArcGIS.

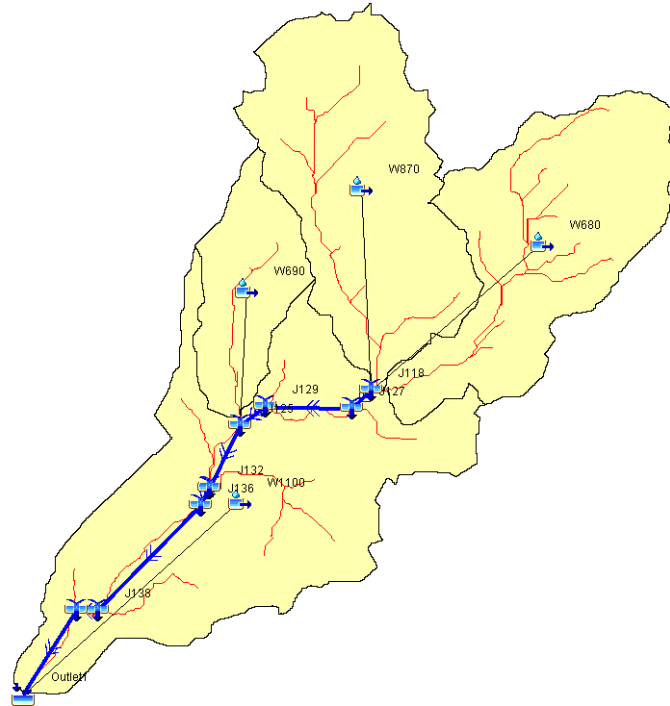


Figura 17 | Representação do modelo da bacia hidrográfica de São Francisco em ambiente HEC-HMS.

O sistema construído para a bacia hidrográfica de Francisco é composto por 4 sub-bacias, numeradas e com terminologia *standard* do HEC-HMS, bem como a área e o comprimento da rede de drenagem de cada uma delas (quadro 10).

Quadro 10 | Área e comprimento das sub-bacias do modelo

Sub-bacia	Código	Área (km ²)	L (km)
São Francisco	W1100	4,4462	3424,46
Banda Além	W870	2,9192	2867,50
João Luís	W680	2,6570	3044,71
São Domingos	W690	1,0334	2072,46

No total, o sistema apresenta nove troços e dois nós, igualmente criados pelo *software* HEC-GeoHMS e consequentemente numerados com terminologia do HEC-HMS.

Criadas as ligações físicas do modelo é necessário definir os seus restantes parâmetros, nomeadamente, o método de perdas da precipitação e o método de transformação da precipitação efetiva em escoamento direto.

O método de perdas da precipitação empregue é o do modelo *SCS Curve Number*, tendo sido atribuído a cada uma das sub-bacias o número de escoamento correspondente, considerando a percentagem que as classes do uso solo representam para cada uma delas.

No que se refere ao modelo de transformação da precipitação efetiva em escoamento direto, foi empregue o *SCS Unit Hydrograph*. Para determinar o parâmetro lag time da bacia,

considerou-se o valor de 60% do tempo de concentração, de acordo com as instruções do SCS – Viessman & Lewis (1995).

O modelo meteorológico adotado pressupôs a aplicação do método das áreas de influência dos polígonos de Thiessen onde, com o auxílio do ArcGIS, se estabeleceu a distribuição da precipitação pela bacia hidrográfica, tendo em conta as estações meteorológicas consideradas para este estudo, procedendo-se, igualmente, à atribuição a cada sub-bacia a estação meteorologia que exerce maior influência sobre estas.

HEC-RAS

À semelhança do que ocorreu com o *software* HEC-HMS, foi igualmente utilizada uma abordagem integrada na modelação hidráulica com o recurso ao *software* HEC-RAS conjuntamente com os *software* GIS, de modo a gerar o modelo de inundação. O processo de modelação iniciou-se em ambiente ArcGIS com o recurso à extensão HEC-GeoRAS no desenvolvimento e análise do modelo hidráulico com HEC-RAS. Foram desenvolvidas às seguintes tarefas: i) carregar HEC-GeoRAS; ii) iniciar um novo projeto; iii) criar contornos a partir de um DEM; iv) criar camadas RAS; v) gerar o arquivo de importação RAS GIS; vi) análise hidráulica HEC-RAS; vii) importar o arquivo de exportação RAS GIS; viii) gerar dados GIS a partir de resultados RAS.

O *software* HEC-RAS, versão 5.0.5, foi usado para executar e calcular a elevação da superfície do caudal, bem como as características de fluxo ao longo de toda a linha de água e desenvolver uma perspetiva 2D para a zona de maior potencial para a ocorrência de danos em pessoas e bens. No que se refere aos dados geométricos, que é uma entrada crítica para realizar a análise espacial, o RAS Mapper, componente GIS integrado do HEC-RAS, é uma interface dedicada para visualização e processamento de dados geoespaciais, foi aplicado para obter os dados geométricos necessários para desenvolver este estudo. No seu desenvolvimento em ambiente HEC-RAS, identificam-se duas componentes elementares, sendo estas: i) dados de geometria, e ii) dados de fluxo

Todo o processo de análise em HEC-RAS iniciou-se com a conversão da estrutura matricial (*raster*) que representa a superfície da bacia hidrográfica de São Francisco num TIN (*triangulated irregular network*), através da aplicação do RAS Mapper. De seguida estabeleceu-se a conectividade do sistema fluvial através da criação dos dados geométricos, sendo estes compostos pela linha de água, margens, linhas de fluxo e seções transversais. As geometrias criadas foram convertidas em arquivo de grade (formato suportado pelo RAS Mapper), por meio da ferramenta ArcGIS. Depois disso, o arquivo de grade foi importado para o RAS Mapper

para criar uma superfície de trabalho da área de estudo (figura 1 – anexo B). A todas as secções transversais foram atribuídos valores idênticos de largura e distanciamento entre si de 150 m e 100 m, respetivamente, tendo em algumas situações estes parâmetros sido ajustados de acordo com a distância verificada entre margens, foram criadas no total 113 secções transversais.

No processo de edição das secções transversais da linha de água, desenhadas no RAS Mapper, tendo estas sido verificadas e ajustadas com base no perfil topográfico definido pelo TIN. Uma vez efetuada a edição das secções transversais, foram inseridos na tabela *Manning's n or k values* (figura 2 – anexo B) os valores que definem a constante referente ao coeficiente de rugosidade. Este coeficiente de rugosidade de Manning, definido para as margens e leito da linha de água, estabelece o valor da perda de energia durante o processo de vazão dos caudais ao longo do canal de escoamento, levando à atenuação da inundaçã da onda de cheia (Moukalled et al., 2016). Seguidamente na tabela *Steady Flow Data*, foram colocados valores aleatórios relativos à recarga, bem como a definição da condiçã de limite de fluxo constante, conforme se pode verificar na figura 3 do anexo B. Continuamente, foi efetuado o processo de correr a simulaçã do fluxo e exportado o projeto em formato GIS.

O último passo deste processo de modelaçã passa por efetuar o pós-processamento do mapa de inundaçã em ambiente ArcGIS, com a importaçã dos dados em formato RAS, com recurso à extensão HEC-GeoRAS.

À medida que os resultados do HEC-RAS são importados para o ArcGIS, o TIN é convertido em raster e é criada a classe referente às secções transversais, anteriormente criadas em HEC-RAS, com a informaçã relativa à elevaçã da superfície do caudal para cada seçã transversal. A camada referente ao *Bounding Polygon* terá a funçã de limitar longitudinalmente a superfície do caudal, tendo igualmente sido criada outras classes conforme se pode verificar na (figura 4 – anexo B).

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Modelo físico da bacia hidrográfica de São Francisco

Terminado o processo de construção do modelo HEC-HMS da bacia hidrográfica de São Francisco, resultaram várias *Layers*, nas quais estão definidos os atributos físicos da bacia necessários ao processo de modelação da transformação da precipitação em caudal, conforme se pode verificar no quadro 11.

Quadro 11 | Caraterísticas físicas da bacia processadas e atributos gerados na tabela de atributos

<i>Data layer</i>	Atributos
<i>Stream layer</i>	RivLen
	ElevUP
	ElevDS
	Slp Area
<i>Subbasin laver</i>	Shape Area
<i>Centroid layer</i>	Elevation
	Slp
<i>Longest flow path layer</i>	ElevUP
	ElevDS
	LongestFL
<i>Centroid flow path layer</i>	CentroidalFL

De igual modo foi executada a criação de múltiplas *Layers* de pontos, linhas e de polígonos, que compõem o projeto, conforme a representação esquemática exibida na figura 18.

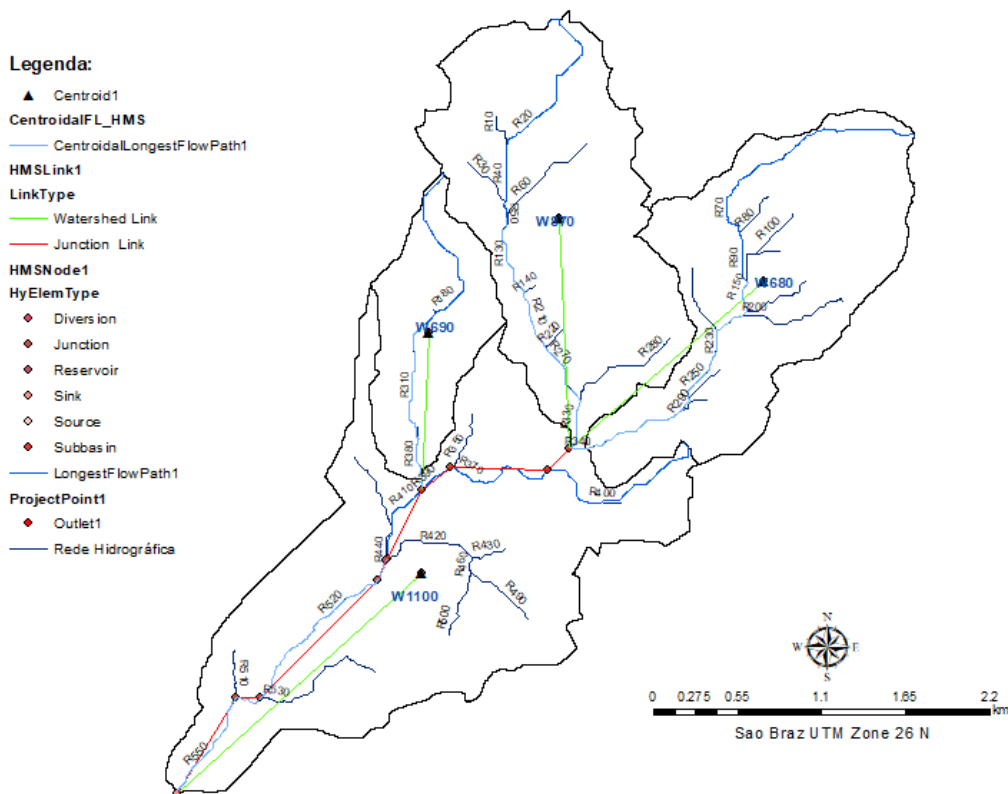


Figura 18 || Detalhe do projeto desenvolvido em ambiente ArcGIS.

Caraterização morfológica da bacia de São Francisco

Conforme é possível verificar no quadro 12, o projeto está agora definido com os valores dos parâmetros inicialmente estimados para as diversas sub-bacias de acordo com a *Layers* criadas. No seguimento da construção do modelo para o HEC-HMS, os parâmetros calculados através da análise espacial efetuada à bacia hidrográfica, determinou-se que:

Quadro 12 | Caraterísticas físicas da bacia hidrográfica da ribeira de são Francisco

Caraterísticas físicas	Valores
Área (km ²)	11.055
Perímetro (km)	24.240
Comprimento axial (km)	6.488
Comprimento total dos cursos de água (km)	23.844
Comprimento do maior curso de água (km)	7.785
Comprimento da diretriz (km)	6.128
Número de cursos de água	55
Altitude máxima (m)	586.84
Altitude mínima (m)	0

Da análise fisiográfica efetuada à bacia hidrográfica, quadro 12, conclui-se que o coeficiente de compacidade (K_c) calculado para a bacia da ribeira de São Francisco é de 7,29. Este coeficiente indica-nos que a bacia apresenta uma forma alongada e com baixa suscetibilidade para a ocorrência de cheias, desde que não haja a interferência de outros fatores. Valores maiores do índice de compacidade apontam para uma menor probabilidade de produção de caudais elevados.

No que se refere ao fator de forma (K_f), a bacia apresenta um valor de 0,26. Considerando a forma alongada desta bacia, com fator de forma baixo, a possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo ao mesmo tempo a totalidade da extensão da bacia é baixa, provando isto mesmo, refira-se o significativo número de afluentes que confluem para linha de água principal, contribuindo assim para um bom escoamento, comprovando assim a análise efetuada para o coeficiente de compacidade.

O índice de densidade de drenagem (D_r) considerado para a bacia de São Francisco é de 2,1 km/km², o que reflete um sistema de drenagem bem desenvolvido, contribuindo para tal o número significativos de afluentes, conforme classificação de Strahler. Este índice de densidade de drenagem reflete a resposta hidrológica rápida da rede de drenagem ao escoamento dos caudais.

A densidade hídrica (D_h) da bacia é de 4.98 linhas de água por km², enquanto o índice de sinuosidade é de 1,27. Segundo Freitas (1952), quando os valores são próximo da unidade

indica-nos que as linhas de água são retilíneas, enquanto os valores de sinuosidade superiores a 2 indica-nos a presença de linhas de águas sinuosas. Neste caso, verificamos a existência de um valor intermédio o que revela a existência de uma transição da sinuosidade das linhas de água que compõem o sistema de drenagem.

A extensão média do escoamento superficial apresentado pela bacia hidrográfica é de 0,115 km, sendo esta a distância média que uma gota de água tem de percorrer até alcançar um curso de água.

No cálculo da altitude média da bacia (\bar{Z}) obtivemos o valor de 268,55 metros, o que nos indica que a bacia não se desenvolve em cotas muito altas. Por sua vez, a altura média (\bar{H}) verificada entre curvas de nível é de 24,3 metros. Calculando o declive médio da linha de água, através da diferença entre a cota máxima e a cota mínima da bacia, dividida pelo comprimento total da linha de água principal, regista-se um valor de 7,5%, não representando este valor uma inclinação média significativa.

De acordo com o índice de massividade (C_{mass}) calculado em 2,2, verifica-se que as distribuições dos níveis altimétricos da bacia se registam a cotas intermédias, apresentando um coeficiente orográfico de 53,4.

De uma forma geral a rede hidrográfica da bacia de São Francisco desenvolve-se maioritariamente em zonas com declives suaves a moderados, excetuando o troço final da linha de água principal, que se encontra encaixado num vale com declives fortes.

Quadro 13 | Caraterísticas morfológicas da bacia hidrográfica de São Francisco

Índice	Formula	Valores
Compacidade	(1)	7,29
Fator forma	(2)	0,26
Densidade de drenagem	(3)	2,1
Densidade hídrica	(4)	4,98
Extensão média do escoamento superficial	(5)	0,115
Sinuosidade do curso de água	(6)	1,27
Altitude média da bacia hidrográfica	(7)	268,5
Altura média da bacia hidrográfica	(8)	24,3
Coeficiente de massividade	(9)	2,2
Coeficiente orográfico	(10)	53,43
Declive médio do curso de água	(11)	0,075 (7,5%)
Tempo de concentração de David	(12)	0,86 (52 minutos)
Tempo de concentração do SCS	(13)	2,33 (140 minutos)

Número de escoamento

Em resultado do processo de análise de todos os parâmetros que contribuem para a definição do número de escoamentos da bacia hidrográfica de São Francisco, produziu-se o quadro 14 com o número de escoamento CN em função da condição antecedente de humidade AMCII e AMCIII.

Quadro 14 | Tabela com os números de escoamento – CN calculados para a bacia hidrográfica de São Francisco

Sub-bacias	Classe	Área (km ²)	%	AMCII		AMCIII	
				CN	Ponderado	CN	Ponderado
São Francisco (W1100)	Urbano	0.6121	0.1377	82	11.2882	92	12.6648
	Floresta	0.1032	0.0232	73	1.6939	86	1.9956
	Pastagem	2.5516	0.5739	79	45.3379	90	51.6508
	Vegetação natural	0.7149	0.1608	70	11.2559	85	13.6679
	Agrícola	0.4195	0.0944	81	7.6424	92	8.6802
	Descoberto	0.0449	0.0101	86	0.8676	94	0.9483
	Total	4.4461	1.00	CN	78.085885	CN	89.607563
Banda Além (W870)	Urbano	0.1557	0.0534	82	4.3781	92	4.9120
	Floresta	0.3448	0.1183	73	8.6342	86	10.1718
	Pastagem	2.1726	0.7452	79	58.8700	90	67.0670
	Vegetação natural	0.0090	0.0031	70	0.2156	85	0.2617
	Agrícola	0.2334	0.0801	81	6.4851	92	7.3658
	Descoberto	0.0000	0.0000	86	0.0000	94	0.0000
	Total	2.9155	1.00	CN	78.582928	CN	89.778407
João Luís (W680)	Urbano	0.1590	0.0599	82	4.9083	92	5.5068
	Floresta	0.8029	0.3022	73	22.0602	86	25.9887
	Pastagem	1.4366	0.5407	79	42.7137	90	48.6612
	Vegetação natural	0.0929	0.0349	70	2.4463	85	2.9705
	Agrícola	0.1656	0.0623	81	5.0481	92	5.7336
	Descoberto	0.0000	0.0000	86	0.0000	94	0.0000
	Total	2.6569	1.00	CN	77.176531	CN	88.860849
São Domingos (W690)	Urbano	0.1186	0.1147	82	9.4071	92	10.5543
	Floresta	0.1601	0.1549	73	11.3067	86	13.3203
	Pastagem	0.5540	0.5361	79	42.3497	90	48.2465
	Vegetação natural	0.0369	0.0357	70	2.4996	85	3.0352
	Agrícola	0.1639	0.1586	81	12.8475	92	14.5922
	Descoberto	0.0000	0.0000	86	0.0000	94	0.0000
	Total	1.0334	1.00	CN	78.410692	CN	89.748577

Precipitação

No que se refere à distribuição espacial da precipitação e no seguimento da aplicação do método dos polígonos de Thiessen, verifica-se que os três postos udométricos identificados têm influência na bacia hidrográfica de São Francisco. Em termos de preponderância o posto udográfico localizado na Praia Formosa afeta uma área de 6.94 km², o que representa 62,7% da a área total da bacia, enquanto que os postos udométricos do Aeroporto e Fontinhas

afetam 2,93 e 1,19 km², o que corresponde a 26,49% e 10,76%, respetivamente, conforme se pode verificar na figura 19.

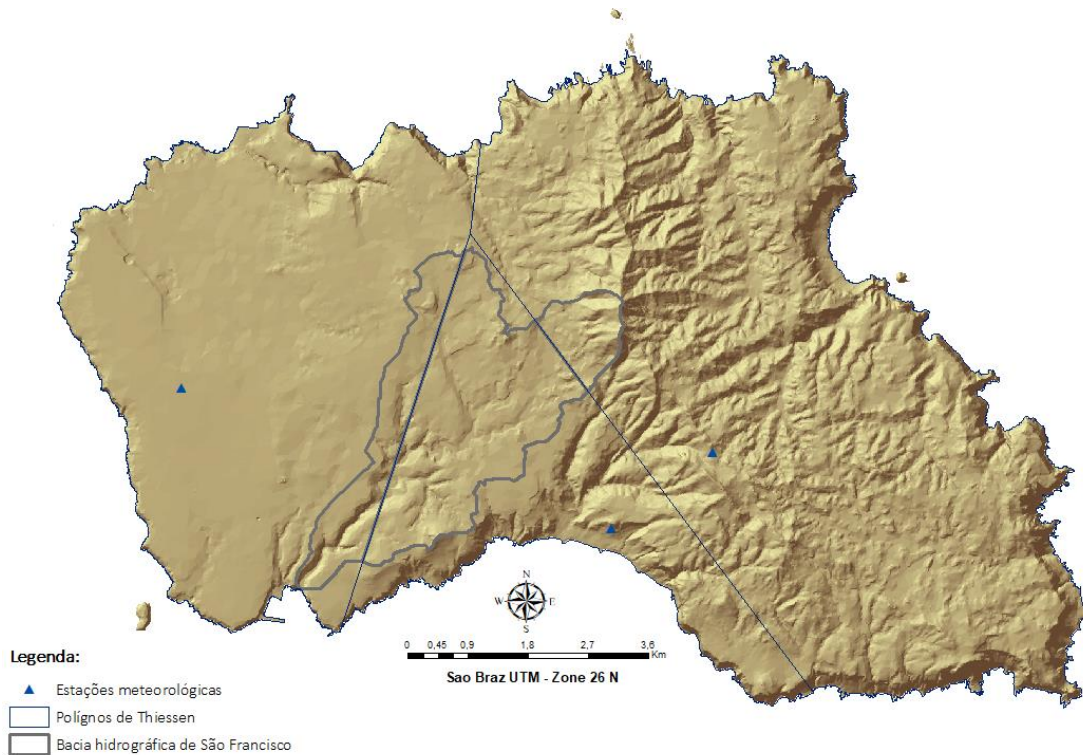


Figura 19 | Aplicação do método dos polígonos de Thiessen à bacia hidrográfica de São Francisco.

Neste seguimento, o quadro 15 apresenta a relação entre o valor da precipitação útil e o período de retorno, estabelecida pelas expressões (22) e (23) para os números de escoamento estabelecido no quadro 14, referente ao CN-AMCIII, ponderado para a bacia hidrográfica de São Francisco, sendo esta relação observável na figura 20.

Quadro 15 | Cálculo da precipitação útil para os diversos períodos de retorno e com diferentes tempos de precipitação (mm/h)

período de retorno (anos)	Precipitação útil (mm)									
	tp = tc min	tempo de precipitação								
		52	5 min	10 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3h	4h
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,09	15,26	18,89	59,76
5	10,00	0,00	0,00	0,00	6,09	11,40	19,70	26,39	32,14	95,19
10	13,72	0,00	0,00	0,00	8,55	15,54	26,35	34,99	42,40	123,32
20	17,39	0,00	0,00	0,00	11,00	19,64	32,87	43,42	52,44	151,06
50	22,45	0,00	0,00	7,54	14,38	25,28	41,88	55,07	66,35	190,22
100	26,75	0,00	0,00	9,05	17,17	30,11	49,84	65,56	79,04	228,73

não resulta escoamento

origina escoamento superficial

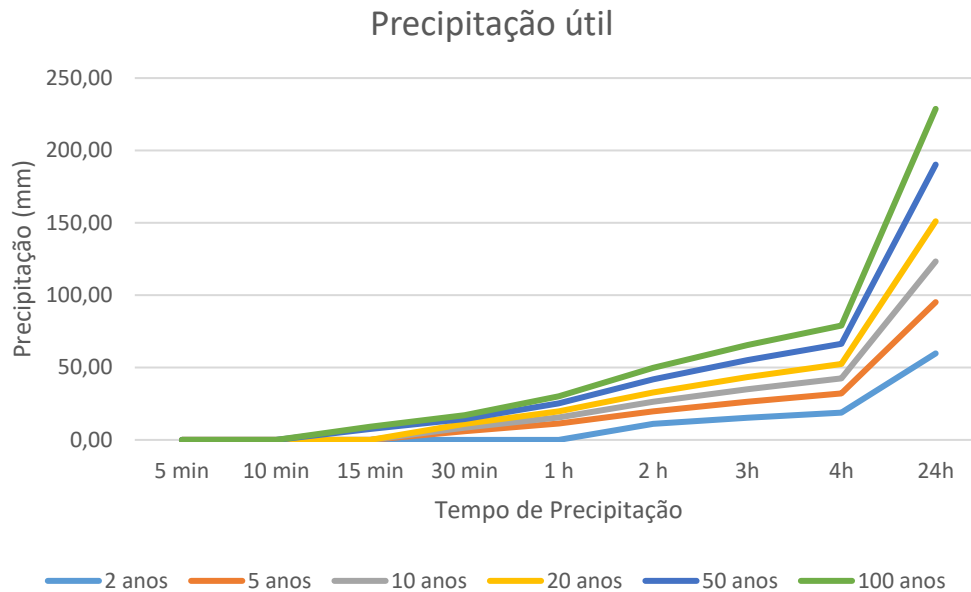


Figura 20 | Precipitação útil calculada.

Com o recurso às fórmulas que definem a capacidade máxima de retenção (S_{mr} , fórmula 20) da bacia hidrográfica e as perdas iniciais para o escoamento (I_a , fórmula 21), é estabelecido o valor das perdas iniciais da precipitação para os diversos períodos de retorno em diferentes períodos de precipitação, conforme é possível observar no quadro 16.

$$S_{mr} = \frac{25400}{CN} - 254 = \frac{25400}{93.3893} - 254 = 284.2295 - 254 = 30.22 \text{ mm}$$

$$I_a = 0.2 * S_{mr} = 0.2 * 30.22 = 6.04 \text{ mm}$$

Quadro 16 | Cálculo das perdas iniciais da precipitação para os diversos períodos de retorno e com diferentes tempos de precipitação (mm/h)

t (anos)	tp = tc	5 min	10 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3 h	4 h	24 h
2	5,22	0,08	0,53	1,22	2,96	6,04	11,09	15,26	18,89	59,76
5	10,00	0,47	1,53	2,90	6,09	11,40	19,70	26,39	32,14	95,19
10	13,72	0,84	2,36	4,26	8,55	15,54	26,35	34,99	42,40	123,32
20	17,39	1,24	3,23	5,63	11,00	19,64	32,87	43,42	52,44	151,06
50	22,45	1,82	4,45	7,54	14,38	25,28	41,88	55,07	66,35	190,22
100	26,75	2,25	5,39	9,05	17,17	30,11	49,84	65,56	79,04	228,73

O processo de análise da transformação da precipitação em escoamento, através da aplicação da fórmula (21), culmina com a definição dos valores dos caudais de ponta referentes aos diferentes valores relativos aos períodos de retorno para os diferentes tempos de precipitação, conforme se pode verificar no quadro 17.

Quadro 17 | Cálculo dos caudais de ponta para a Ribeira de São Francisco

Período de retorno (anos)	Caudal de ponta de cheia m ³ /s									
	tp = tc min									
	52	5 min	10 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3h	4h	24h
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,84	17,42	17,28	10,99
5	24,38	0,00	0,00	0,00	18,32	25,83	29,92	30,13	29,40	17,50
10	33,43	0,00	0,00	0,00	25,71	35,24	40,02	39,96	38,79	22,67
20	42,38	0,00	0,00	0,00	33,07	44,51	49,93	49,58	47,98	27,77
50	54,71	0,00	0,00	27,09	43,25	57,30	63,60	62,88	60,70	34,97
100	65,19	0,00	0,00	32,52	51,64	68,25	75,69	74,87	72,31	42,05

sem caudal
 com caudal

Ordem da rede hidrográfica

No seguimento da análise das características físicas da bacia hidrográfica de São Francisco, procedeu-se à análise da ordem do sistema de drenagem da bacia (quadro 18).

Quadro 18 | Rede de drenagem da bacia da ribeira de são Francisco

Ordem	N.º linha de água	Comprimentos (km)
1ª	28	12,78
2ª	18	6,55
3ª	9	4,51
Total	55	22.97

Constata-se assim que esta é de 3ª ordem, de acordo a classificação de Strahler (1957), como se pode verificar na figura 21, constata-se que a bacia possui um sistema de drenagem bastante bifurcado; certificado pelo número de linha de água de primeira ordem, o que corresponde a 55,63% do comprimento total do sistema de drenagem. Ou seja, as linhas de água identificadas como linhas de água de cabeceira ou linhas de água superiores.

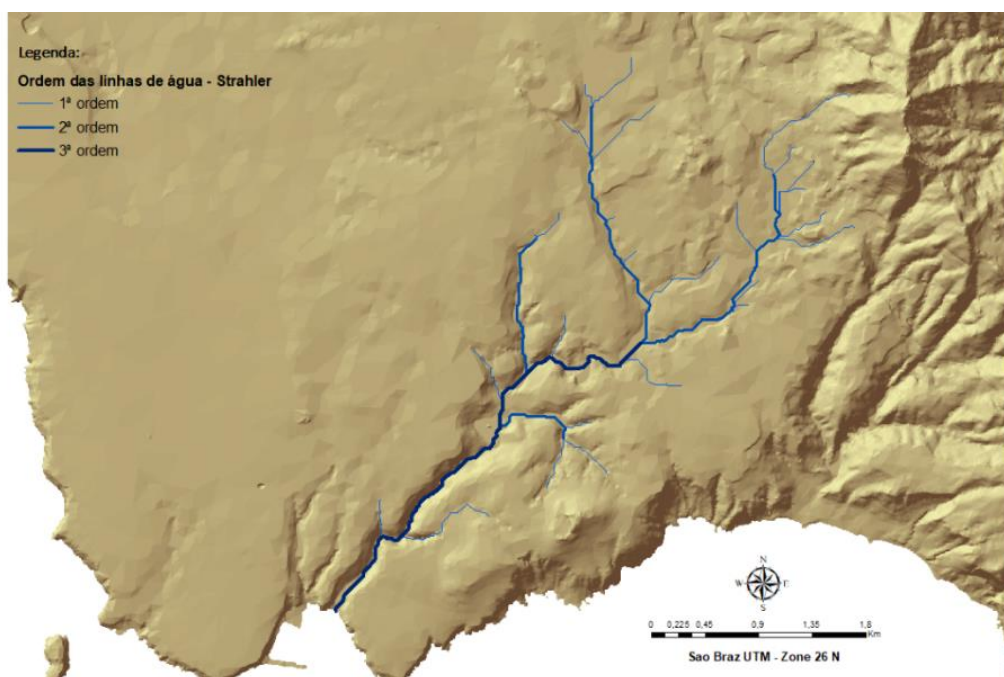


Figura 21 | Classificação de Strahler das linhas de água da ribeira de São Francisco.

Hipsometria

Na figura 22 está representada a curva hipsométrica da bacia hidrográfica de São Francisco, com a definição do traçado da curva hipsométrica que foi executada com recurso às ferramentas disponibilizadas pelo ArcGIS, a partir da informação altimétrica originados pelo MDT.

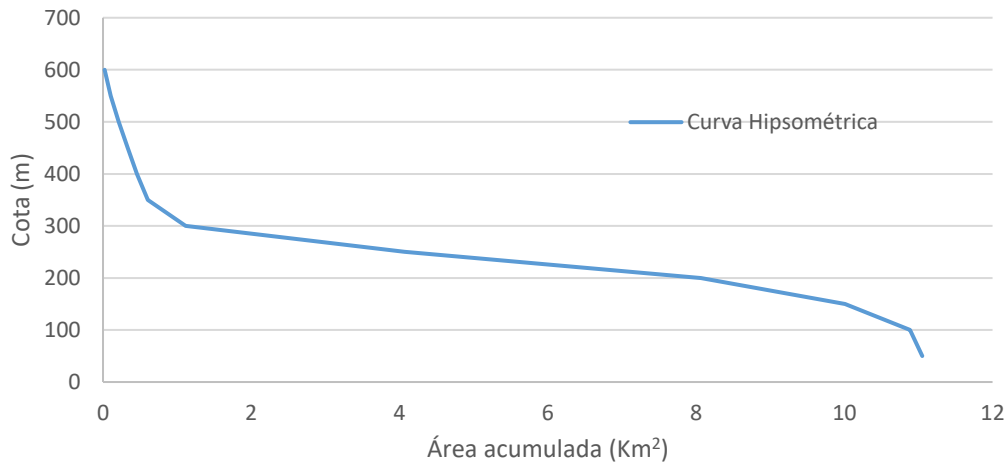


Figura 22 | Bacia hidrográfica de São Francisco, Curva Hipsométrica.

Para complementar a análise da orografia, construiu-se o gráfico representado na figura 23, que estabelece a relação entre as curvas de nível, com equidistância de 50 metros e a percentagem da área entre cada intervalo de cotas, representando o total da área da bacia hidrográfica. Quando analisamos o relevo da bacia a partir do MDT, obtemos informações sobre a possível relação da precipitação que é influenciada pelo relevo da bacia, normalmente denominada precipitação orográfica. Este tipo de precipitação decorre da ascensão de correntes horizontais húmidas devido a barreiras naturais, i.e., complexos montanhosos.

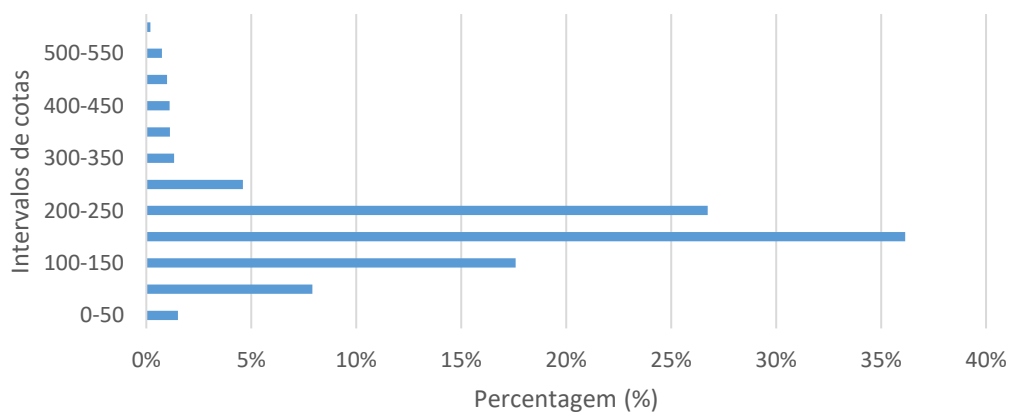


Figura 23 | Bacia hidrográfica de São Francisco percentagem da área ocupada por cada intervalo de cotas.

Decorrente da análise efetuada ao MDT, este proporcionou a obtenção dos valores altimétricos, máximos, mínimos e médios, bem como a altura média da bacia.

A hipsometria verificada na bacia hidrográfica, varia entre a altitude máxima 586 m e mínima de 0 metros, onde se obteve uma amplitude altimétrica de 586m. Conforme se pode verificar no mapa hipsométrico apresentado na figura 24, a maior percentagem da rede de drenagem está implantada em zonas com altitudes que variam entre os 116 e os 233 m, enquanto o troço final da linha de água principal localiza-se na zona com amplitude altimétrica mais baixa. Comparativamente com o mapa de declives, apresentado na figura 5, a zona caracterizada pela existência de declive forte é coincidente com a zona mais baixa apresentada no mapa hipsométrico.

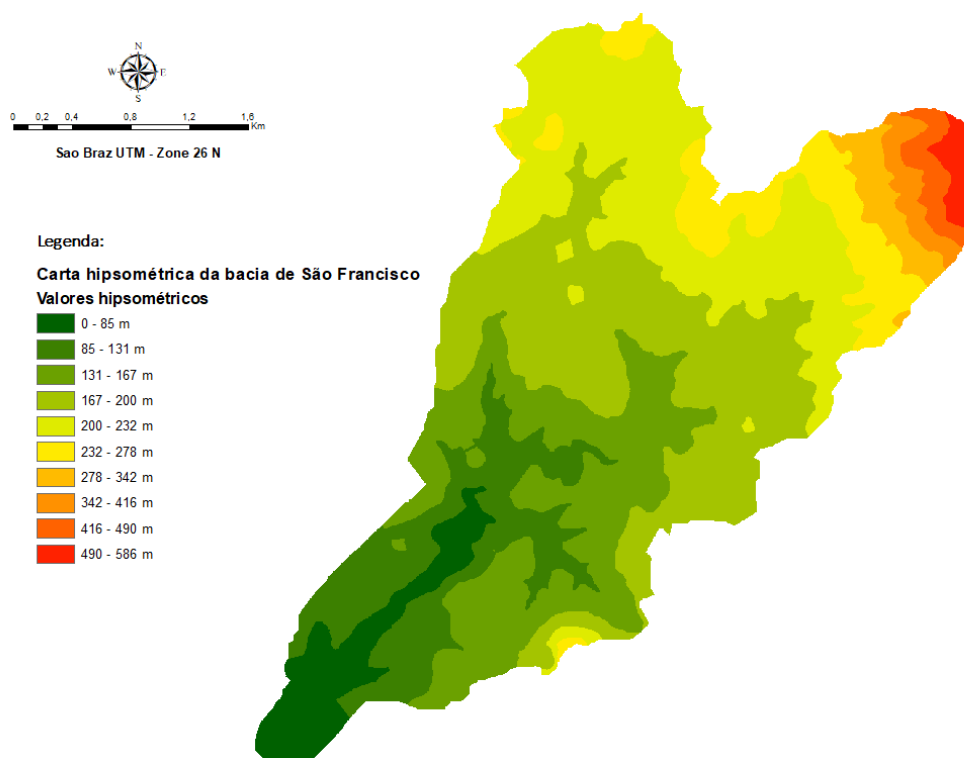


Figura 24 | Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica de São Francisco.

Modelo hidrológico

Relativamente à aplicação do modelo hidrológico HEC-HMS, importa referir-se que no processo de calibração foram utilizados como dados de entrada a precipitação referente ao evento em análise, o tempo de concentração e o número de escoamento calculado para cada uma das diferentes sub-bacias. Ocorrendo no dia 14/01/2016, identificado como evento 1 (figura 25), a precipitação mais elevada registada na série temporal em análise é verificada na área de influência do posto udométrico da Praia Formosa, com o valor acumulado de 49,8 mm. O posto udométrico da Praia Formosa, de acordo com modelo aplicado dos polígonos de

Thiessen, exerce maior influência nas sub-bacias de São Francisco (W1100) e Banda Além (W870). Os valores registados nos restantes postos udométricos são de 65,6 mm para o posto udométrico das Fontinhas e de 15,6 mm para o posto udométrico do Aeroporto, sendo que o posto das Fontinhas exerce maior influência na sub-bacia do João Luís (W630) e o posto udométrico da Aeroporto na sub-bacia de São Domingos (W690). Este evento caracteriza-se por se ter registado de uma forma mais ou menos homogénea ao longo de todo o território, considerando a localização de cada um dos postos.

O segundo evento é referente à precipitação máxima acumulada ocorrida no dia 16 de abril de 2018, com um valor de 276,3 mm (figura 32), registados no posto udométrico das Fontinhas. A seleção deste evento deve-se ao facto de apresentar todas as características para a ocorrência de chuvas orográficas, considerando o espaço de tempo em que ocorre, a localização do evento e os registos verificados nos restantes postos udométricos, onde o posto udométrico da Praia Formosa registou 4,9 mm e o posto udométrico do Aeroporto registou 5,6 mm, valores estes para o mesmo período.

O terceiro evento tem por base os valores de precipitação registados no posto udométrico das Fontinhas no evento 2, replicado para toda a bacia hidrográfica. De seguida são apresentados os resultados dos hidrogramas e hietogramas calculados e observados, referentes aos vários eventos analisados.

Evento 1

Neste evento, conforme se pode verificar nos hietogramas constantes nas figuras 26, 27, 28 e 29, parte considerável da chuva precipitada, nas horas iniciais do evento é infiltrada e considerada como perdas. Ao invés, nas horas compreendidas entre as 18h00 e as 00h00 parte substancial da precipitação é transformada em caudal. O pico da drenagem no ponto de saída localizado no Calhau da Roupa – Outlet1, ocorre às 23h00 do dia 14 de janeiro de 2018. O volume total de caudal registado no ponto de saída é de $353,9 \times 10^3 \text{ m}^3$ (figura 31).

Em termos práticos, apesar do episódio de precipitação ocorrido no dia 14 de janeiro de 2021 ter sido o mais intenso registado no posto udométrico da Praia Formosa, com um valor de 49,8 mm de precipitação verificada e com um acumulado diário registado em todos os postos udométricos considerados ser de 130 mm, constata-se que este evento não teve a capacidade de gerar caudais que causassem algum tipo de tensão sobre a rede hidrográfica.

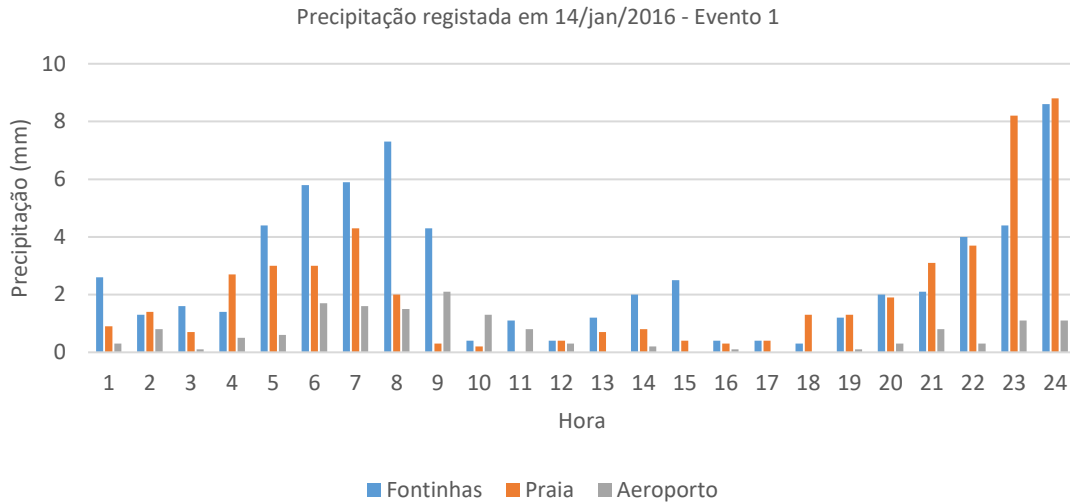


Figura 25 | Precipitação registrada nas estações udométricas no dia 14/01/2016, referente ao evento 1.

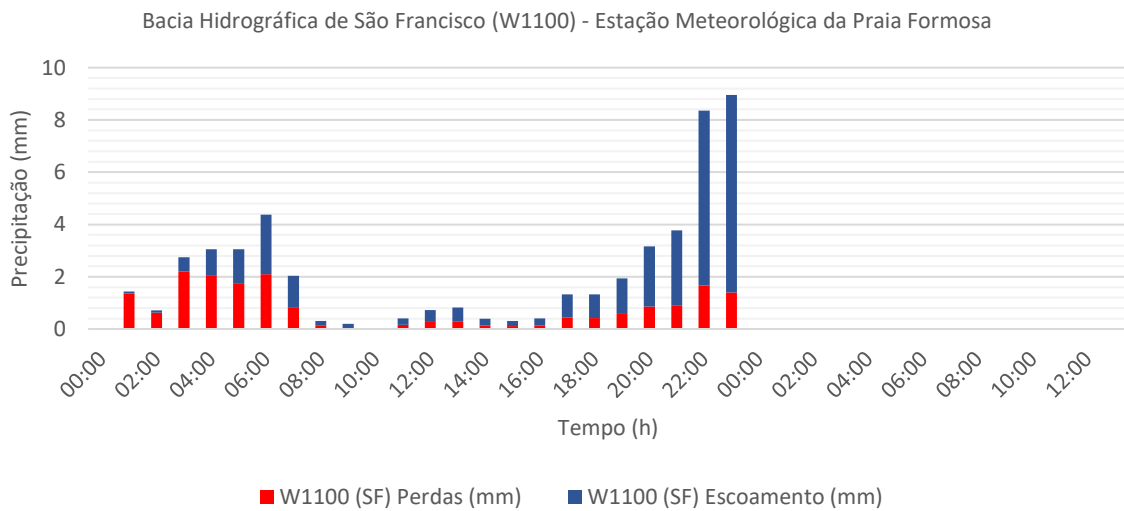


Figura 26 | Hietograma de cheia para a sub-bacia de São Francisco (W1100), referente ao evento 1.

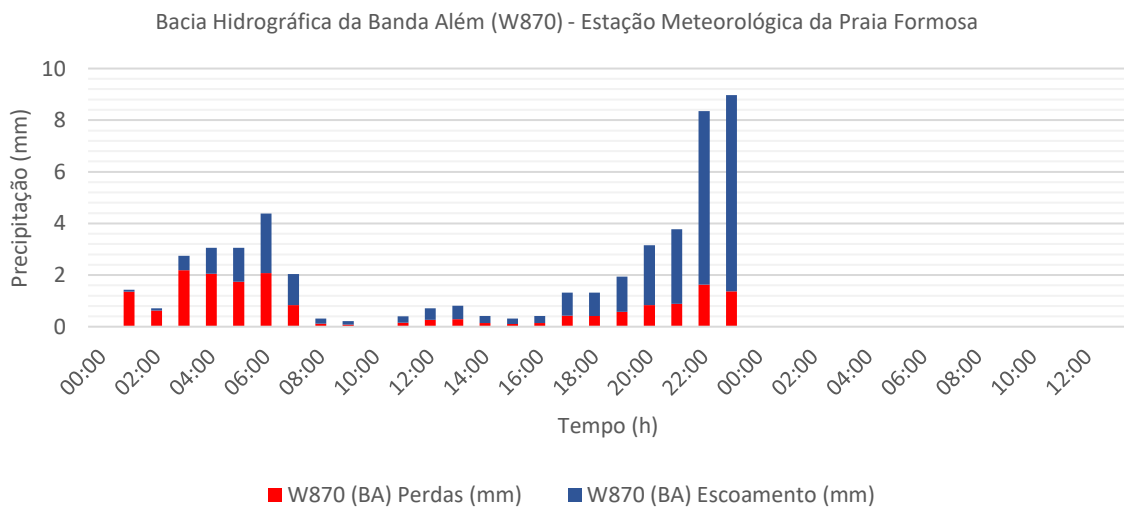


Figura 27 | Hietograma para a sub-bacia de Banda Além (W870), referente ao evento 1.

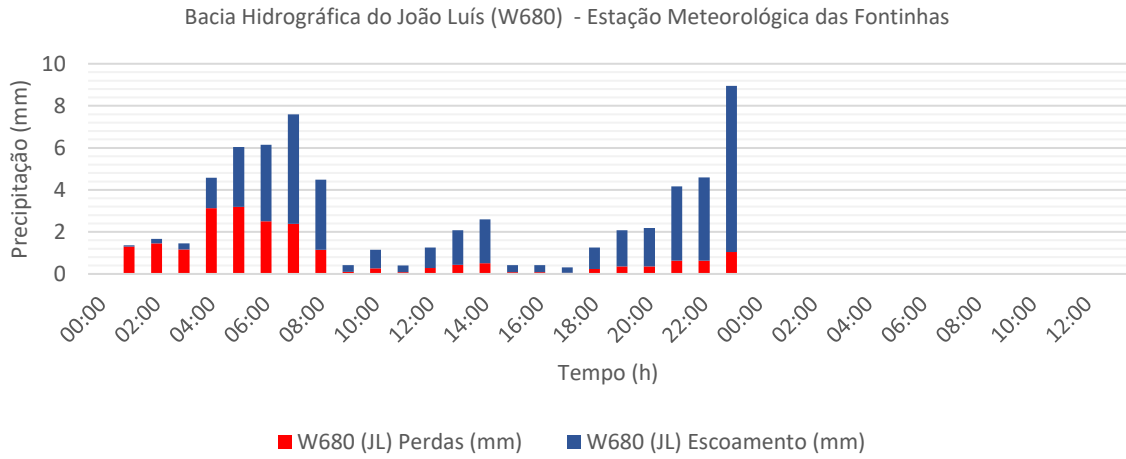


Figura 28 | Hietograma para a sub-bacia do João Luís (W680), referente ao evento 1.

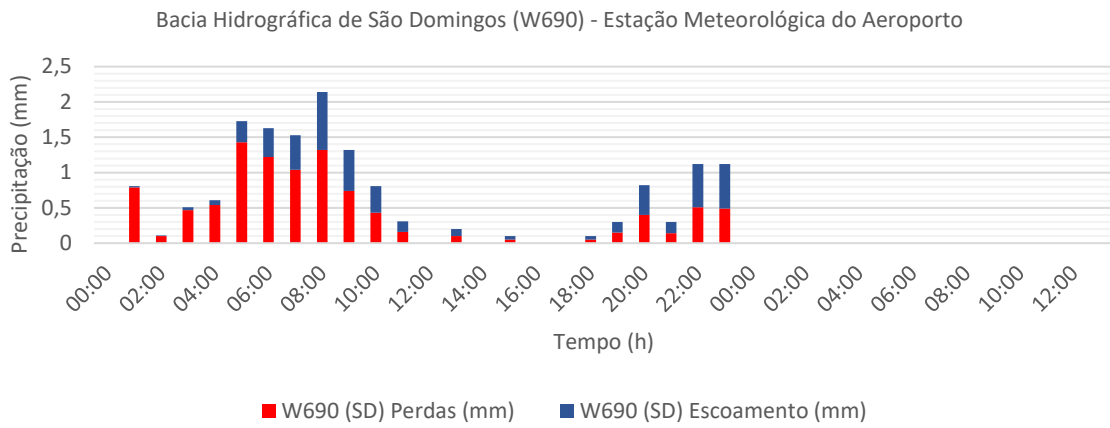


Figura 29 | Hietograma para a sub-bacia de São Domingos (W690), referente ao evento 1.

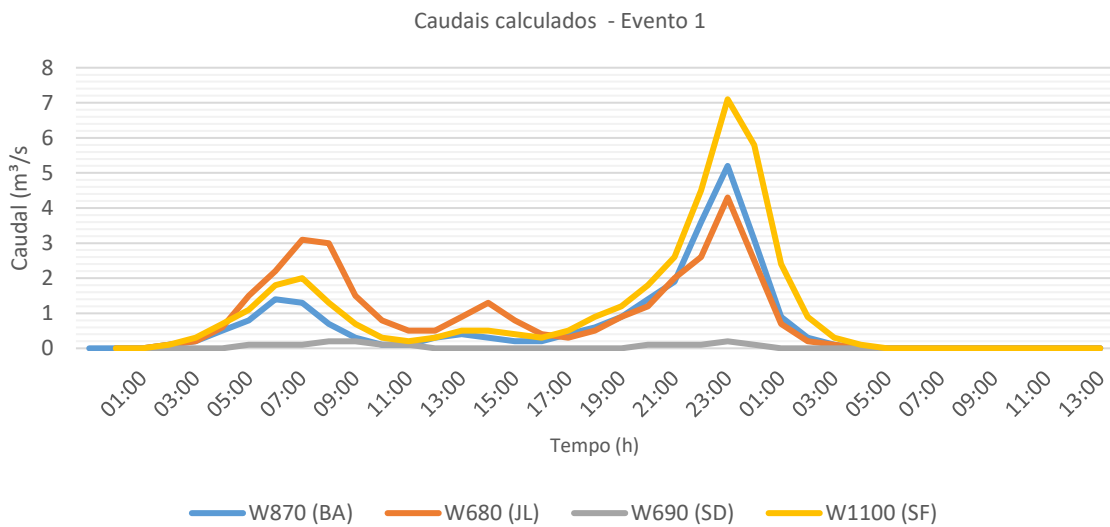


Figura 30 | Hidrograma de cheia das sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica de São Francisco, referente ao evento 1.

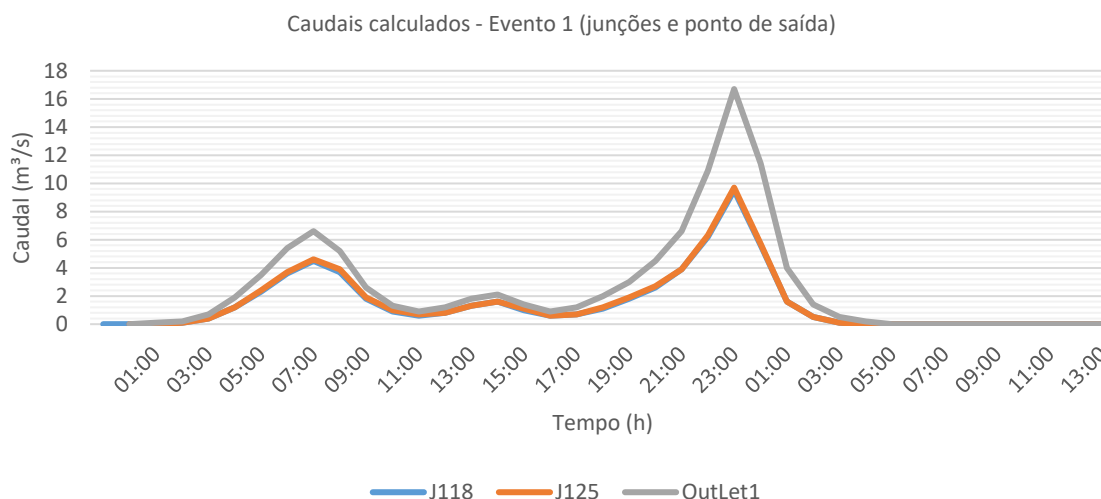


Figura 31 | Hidrograma de cheia para a ponto de saída (outlet1), e para os pontos de junção referente ao evento 1.

Quadro 19 | Resumo dos valores de saída referentes ao evento 1

Elemento hidrológico	Área de drenagem (km ²)	Pico de descarga (m ³ /s)	Dia/hora do pico	Volume	
				mm	1000 m ³
Junção J118	5.5762	9,5	14jan2016, 23:00	37,53	209,3
Junção J125	6.6096	9,7	14jan2016, 23:00	32,52	214,9
Foz - Calhau da Roupa (outlet1)	11.0558	16.7	14jan2016, 23:00	32.01	353,9

Evento 2

No evento 2 e conforme se pode constatar na figura 32, observa-se que a distribuição da precipitação ocorre de forma bastante diferenciada entre o posto udométrico das Fontinhas e os postos udométricos do Aeroporto e Praia Formosa, sendo este facto espectável considerando a variação de cotas em que cada um se encontra e à propensão dos territórios insulares potenciarem a ocorrência de fenómenos de chuvas orográficas.

Neste evento, conforme se pode constatar na figura 37, só a sub-bacia do João Luís apresenta valores significativos, sendo os valores apresentados pelas restantes sub-bacia residuais, inclusivamente a sub-bacia de São Domingos que apresenta o valor de zero. Neste evento, a sub-bacia do João Luís apresenta um pico de caudal de 20,6 m³/s ocorrido às 17h00 do dia 16 de abril, 14 horas após o início do evento, sendo o volume total do caudal de 658,3 x 10³ m³. Esta precipitação traduz-se no ponto de saída do Calhau da Roupa (figura 38), num pico de 20,6 m³/s, ocorrido às 17:00 do dia 16 de abril e com um volume total de caudal de 664,4 x 10³ m³. À semelhança do que ocorreu no evento anterior, este não foi capaz de produzir um caudal significativo.

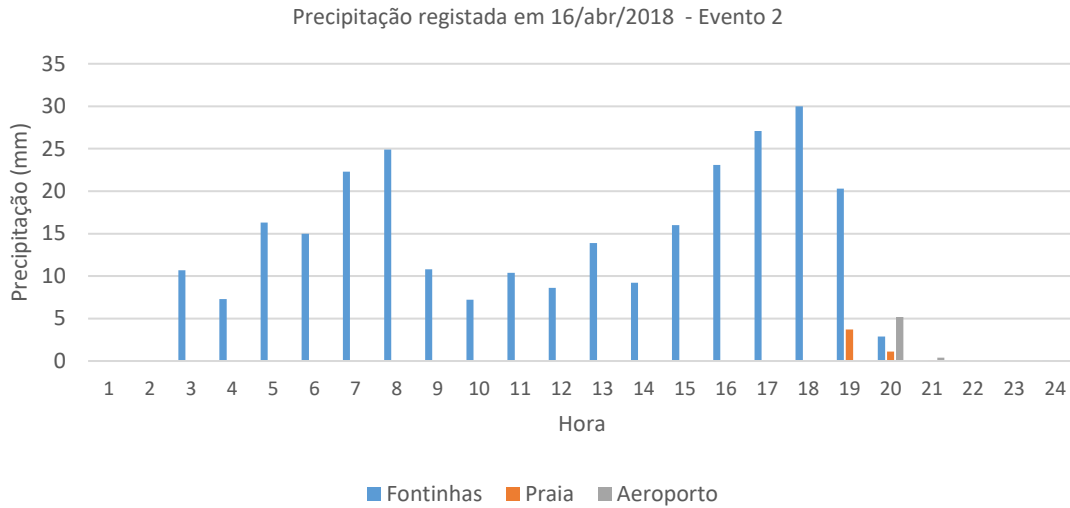


Figura 32 | Precipitação registada nas estações udométricas no dia 14/01/2016, referente ao evento 2.

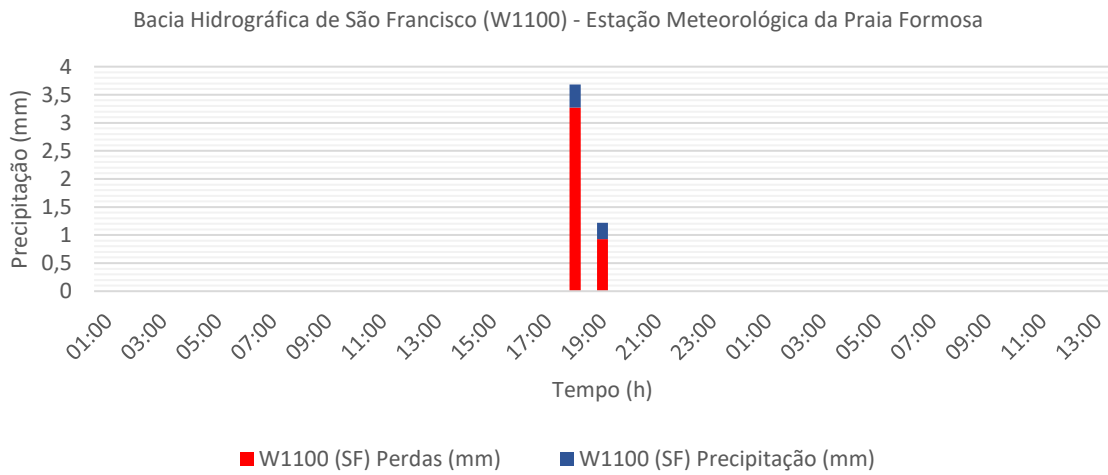


Figura 33 | Hietograma para a sub-bacia de São Francisco (W1100), referente ao evento 2.

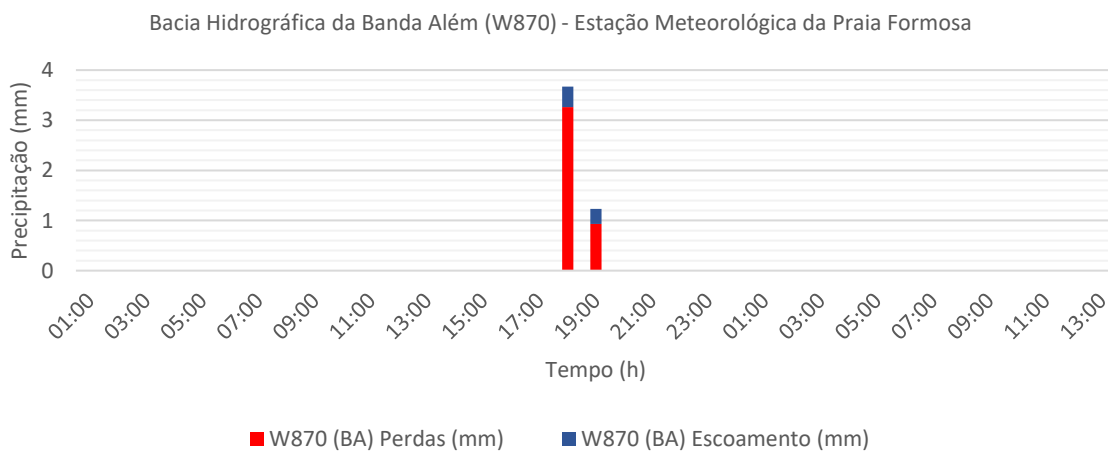


Figura 34 | Hietograma para a sub-bacia de Banda Além (W870), referente ao evento 2

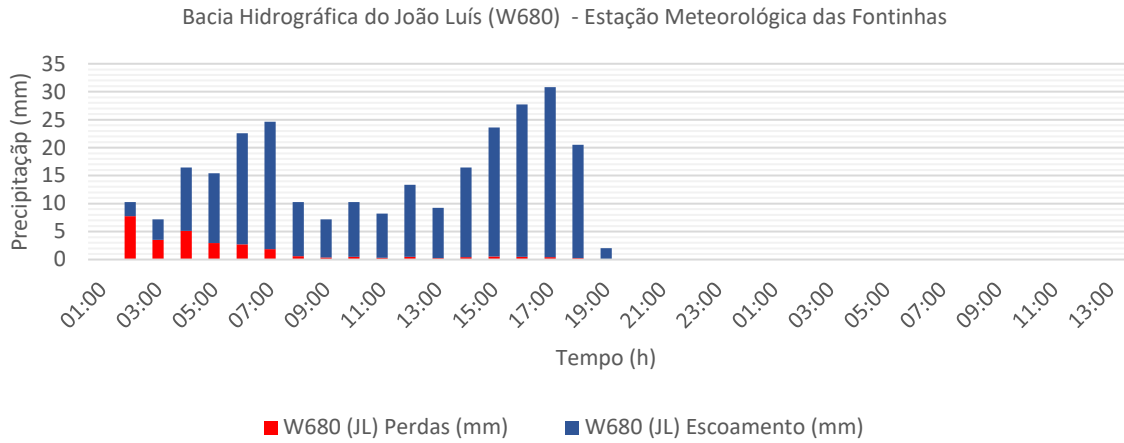


Figura 35 | Hietograma para a sub-bacia do João Luís (W680), referente ao evento 2.

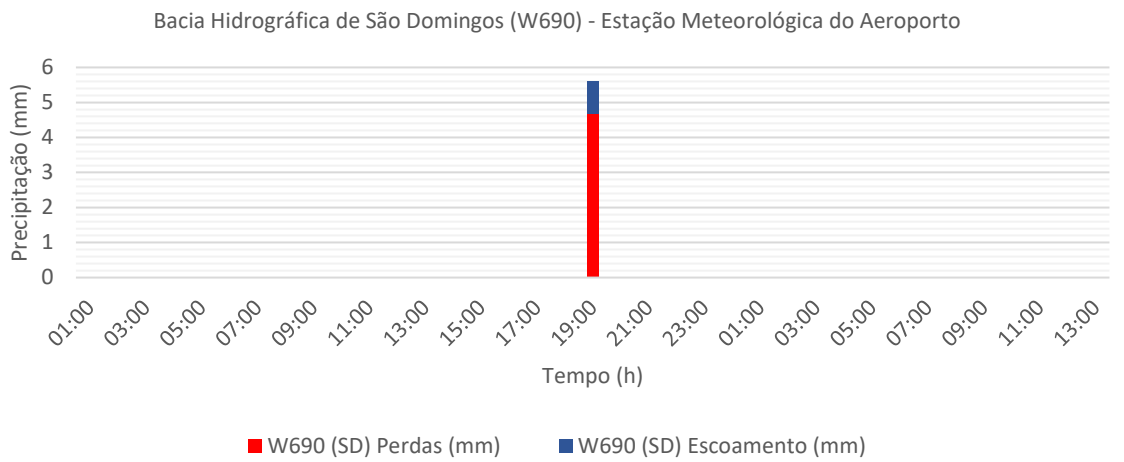


Figura 36 | Hietograma para a sub-bacia de São Domingos (W690), referente ao evento 2.

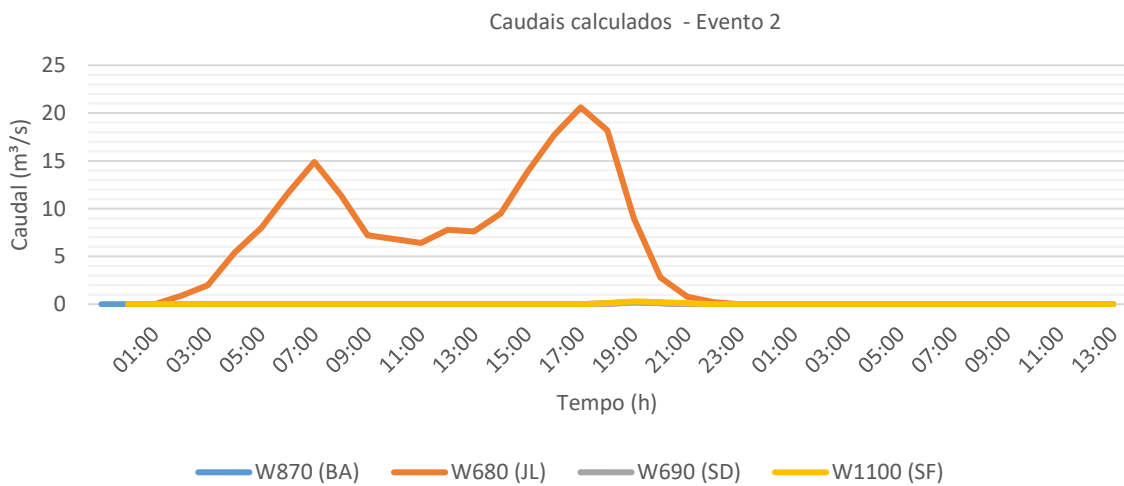


Figura 37 | Hidrograma de cheia das sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica de São Francisco, referente ao evento 2.

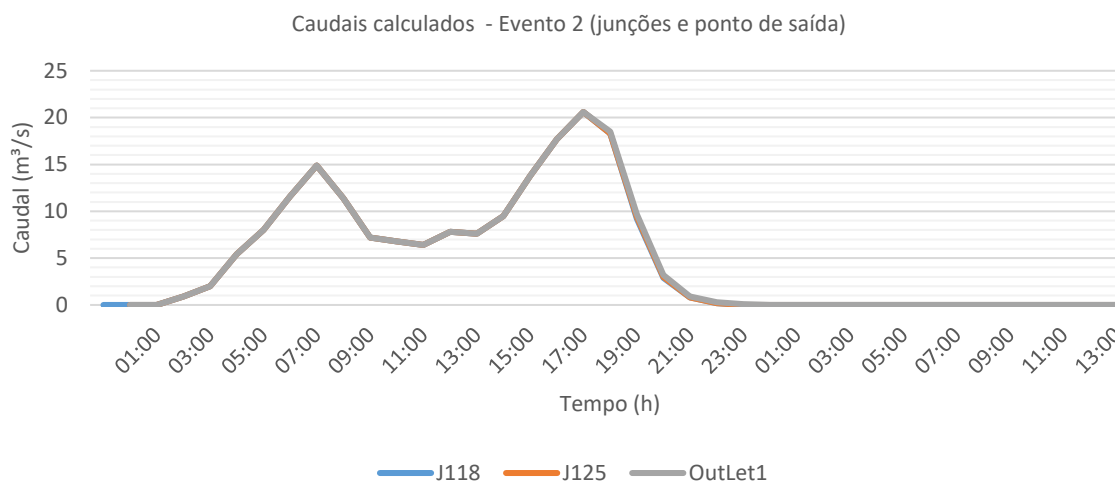


Figura 38 | Hidrograma de cheia para a ponto de saída (outlet1), e para os pontos de junção referente ao evento 2.

Quadro 20 | Resumo dos valores de saída referentes ao evento 2

Elemento hidrológico	Área de drenagem (km ²)	Pico de descarga (m ³ /s)	Dia/hora do pico	Volume	
				mm	1000 m ³
Junção J118	5.5762	20,6	16abr2018, 17:00	118,42	660,3
Junção J125	6.6096	20,6	16abr2018, 17:00	100,05	661,3
Foz - Calhau da Roupa (outlet1)	11.0558	20,6	16abr2018, 17:00	60,09	664,4

Evento 3

No evento 3, tal como referido anteriormente, os dados de precipitação de entrada são os mesmos que se registaram no posto udométrico da Fontinhas, no dia 18 de abril de 2018, sendo este valor replicado para toda a bacia hidrográfica. A utilização dos valores referente a este evento de precipitação deve-se ao facto de ser este o valor máximo registado em toda a série temporal em análise, servindo deste modo de padrão para a precipitação máxima registada e assim observar o comportamento da rede fluvial, quando sujeita a eventos extremos de pluviosidade e, conseqüentemente, o aumento dos caudais em curtos espaços de tempo.

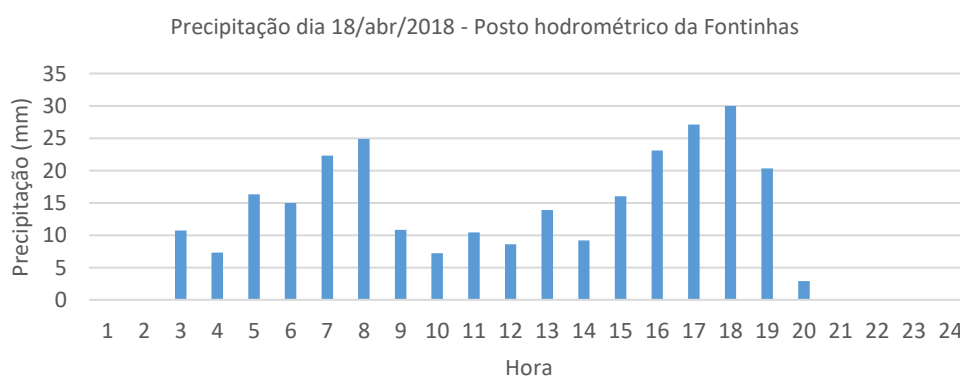


Figura 39 | Precipitação registada no posto hidrométrico das Fontinhas no dia 18/abr/2018.

Neste evento constata-se que os valores do pico de descarga registados para cada uma das sub-bacias variam de 31,3 m³/s na sub-bacia de São Francisco, a 8,1 m³/s na sub-bacia do de São Domingos, sendo verificados os valores de 21,8 m³/s e 20,1 m³/s para as sub-bacias da Banda Além e João Luís, respetivamente (figura 44). No que se refere ao volume total do caudal, a sub-bacia de São Francisco apresenta um valor de 1110 x 10³ m³, a sub-bacia do João Luís o valor de 658,3x 10³ m³, a sub-bacia da Banda Além o valor de 730,1x 10³ m³ e a sub-bacia de São Domingos o valor de 258,4x 10³ m³. Relativamente à hora do pico de caudal, verifica-se que ocorre exatamente no mesmo período em todas as sub-bacias, às 17:00. No que se refere ao ponto de saída (outlet1), verifica-se que o pico de descarga é de 81,3 m³/s, ocorrido 17 horas após o início do evento, sendo o volume total do caudal de 2756,8 x 10³ m³.

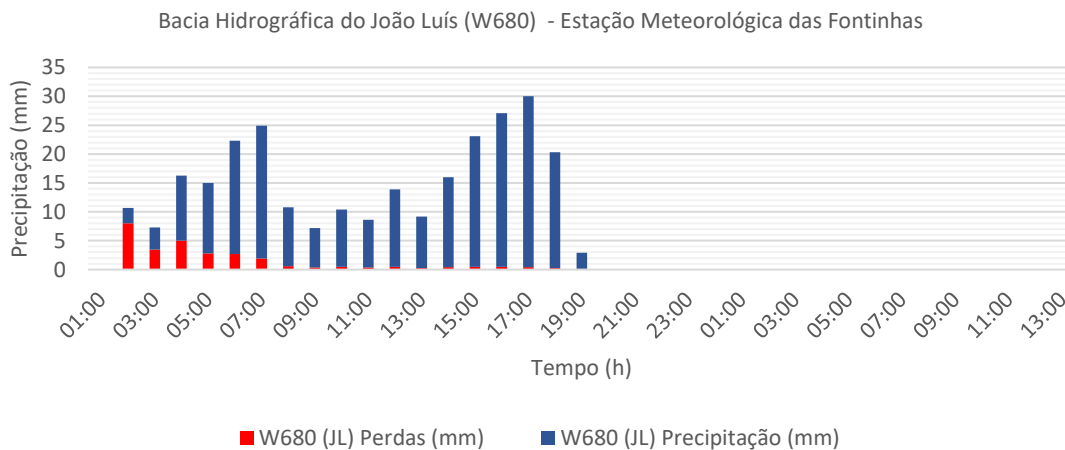


Figura 40 | Hietograma para a sub-bacia do João Luís (W680), referente ao evento 3.

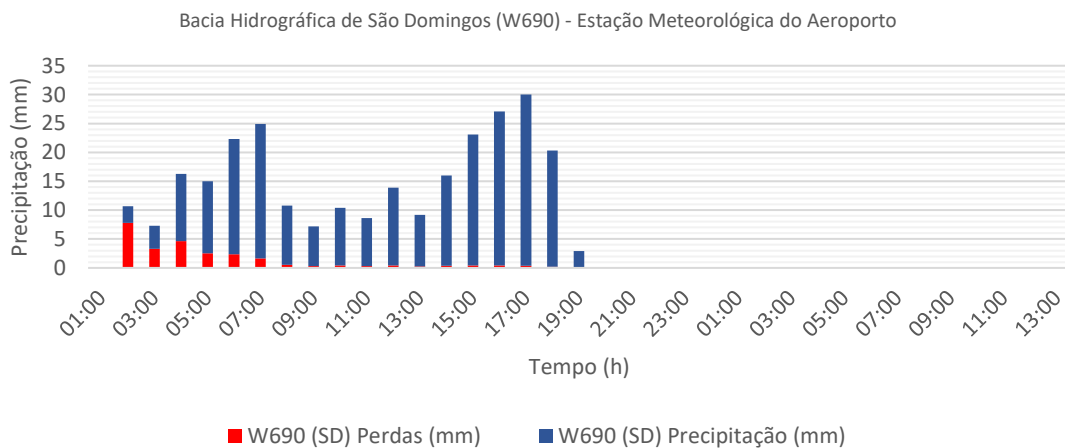


Figura 41 | Hietograma para a sub-bacia de São Domingos (W690), referente ao evento 3.

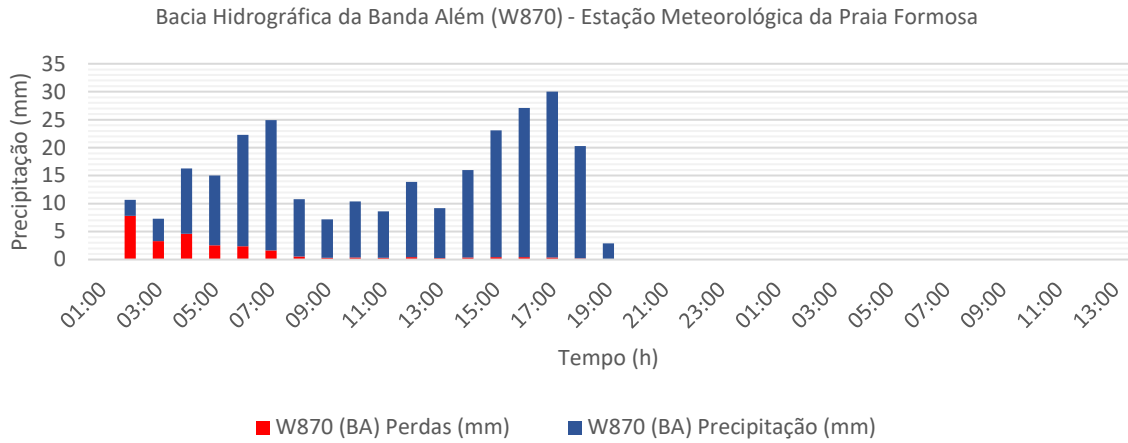


Figura 42 | Hietograma para a sub-bacia da Banda Além (W870), referente ao evento 3.

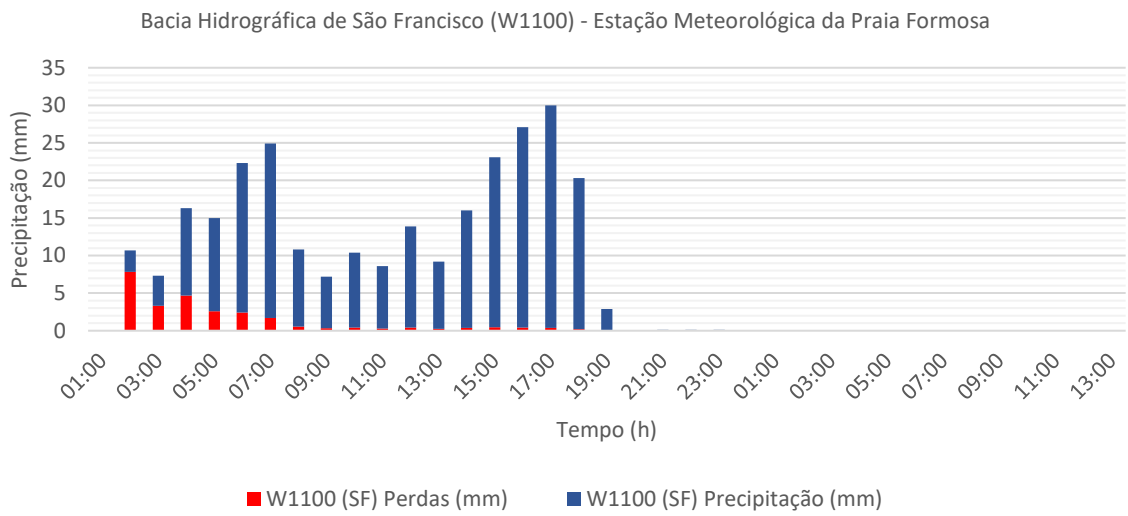


Figura 43 | Hietograma para a sub-bacia de São Francisco (W1100), referente ao evento 3.

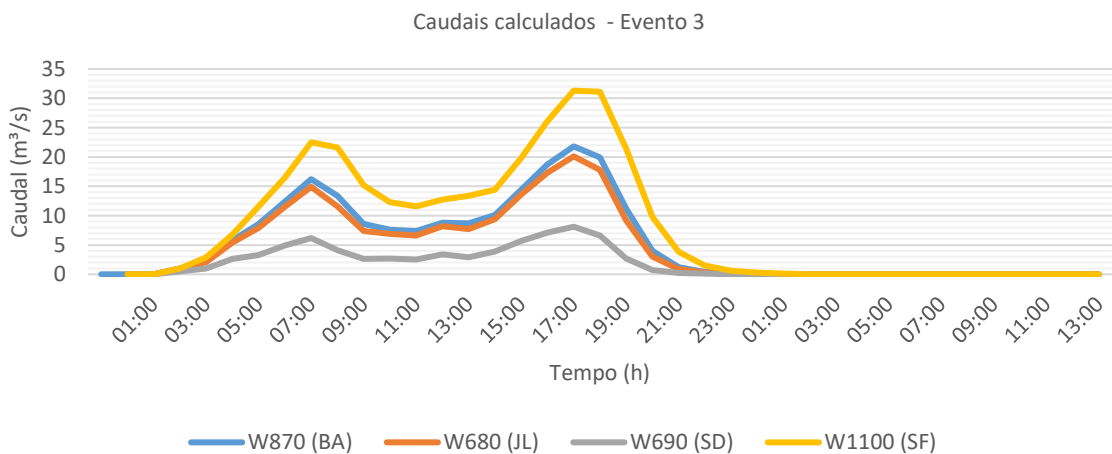


Figura 44 | Hidrograma de cheia das sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica de São Francisco, referente ao evento 3.

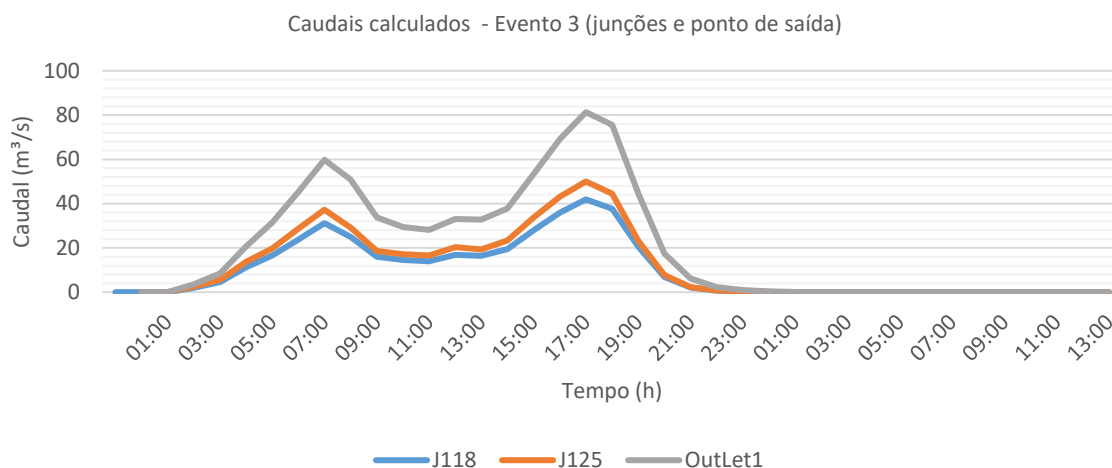


Figura 45 | Hidrograma de cheia para a ponto de saída (outlet1), e para os pontos de junção referente ao evento 3.

De igual forma, neste evento podemos aferir o contributo dos valores do caudal registados nos pontos de junção J118 e J125 para o pico de descarga registado no ponto de saída (Outlet1). Assim o ponto de junção J118 (figura45) regista um pico de caudal na ordem dos 41,9 m³/s, confluindo para este ponto os caudais originados nas sub-bacias do João Luís (W680) e da Banda Além (W870), em que os picos de caudal registados foram na ordem dos 20,1 m³/s e de 21,8 m³/s, respetivamente. Conforme se pode verificar no hidrograma representado na figura 44, pelo valor ser muito semelhante, as linhas que identificam o comportamento do caudal quase se sobrepõem.

Para o ponto junção J125, confluem os caudais provenientes do ponto de junção J118 e da sub-bacia de São Domingos (W690). Conforme se pode verificar na figura 45, tendo o pico de drenagem registado neste ponto o valor de 50 m³/s, contribuindo para este valor os registos do pico de caudal provenientes da junção J118, na ordem dos 41,9 m³/s, conjuntamente com o pico de drenagem oriundo da sub-bacia de São Domingos (W690) no valor de 8,1 m³/s.

Quadro 21 | Resumo dos valores de saída referentes ao evento 3

Elemento hidrológico	Área de drenagem (km ²)	Pico de descarga (m ³ /s)	Dia/hora do pico	Volume	
				mm	1000 m ³
Junção J118	5.5762	41,9	01jan 17h00	248,98	1388,4
Junção J125	6.6096	50	01jan 17h00	249,14	1646,7
Foz - Calhau da Roupa (outlet1)	11.0558	81,3	01jan 17h00	249,35	2756,8

Os resultados obtidos no processo de modelação da bacia hidrográfica de São Francisco foram validados com recurso à fórmula de Manning-Strickler. A aplicação desta expressão permite-nos calcular a velocidade do caudal e, assim, determinar a capacidade de vazão da seção de entrada de uma passagem hidráulica.

Esta passagem hidráulica localiza-se a montante do ponto de saída (Outlet1), possui uma seção de vazão com 17 m² de área e com 7 m de comprimento, sita numa zona urbana com características de povoamento tradicional.

$$Q = K_s * S * R^{2/3} * i^{1/2} = 50 * 17 * 1.39^{2/3} * 0.001^{1/2} = 33.48 \text{ m}^3/\text{s} \quad (28)$$

Onde:

Q – é o caudal (m³/s); K_s – é o coeficiente de rugosidade de Manning-Strickler ($m^{1/3}S^{-1}$); S – é a área da secção molhada (m²); R – o raio hidráulico (m) e; i – o declive do fundo do canal (m/m).

Da aplicação da expressão determinou-se que a passagem hidráulica possui a capacidade limite de escoar 33.48 m³/s, quando confrontado com os resultados obtidos nos hidrogramas de cheia referentes aos três eventos em análise, nos conduzem à seguinte conclusão:

Quadro 22 | Resumo dos caudais de pico de drenagem relativamente à secção de vazão da passagem hidráulica

	Caudal de ponta de cheia	Capacidade
Evento 1	16,7 m ³ /s	Suficiente
Evento 2	20,6 m ³ /s	Suficiente
Evento 3	81,3 m ³ /s	Insuficiente

Definição das zonas inundáveis

Considerando os valores de precipitação do evento 3, procedeu-se em ambiente HEC-RAS à construção do mapa de inundações que nos permita aferir quais as áreas mais suscetíveis à ocorrência de inundações e consequentemente aquelas que devem ter uma maior atenção para a mitigação de constrangimentos.

Conforme se pode verificar na figura 46, existem vários pontos ao longo da linha de água onde a suscetibilidade de inundações é elevada. Comparativamente com o mapa de velocidade do caudal (figura 47), verifica-se que as zonas identificadas com maior tendência para a ocorrência de caudais elevados são igualmente as zonas onde os caudais apresentam uma maior velocidade de escoamento o que, por sua vez, potência a ocorrência mais acentuada do processo erosivo das margens e leito.

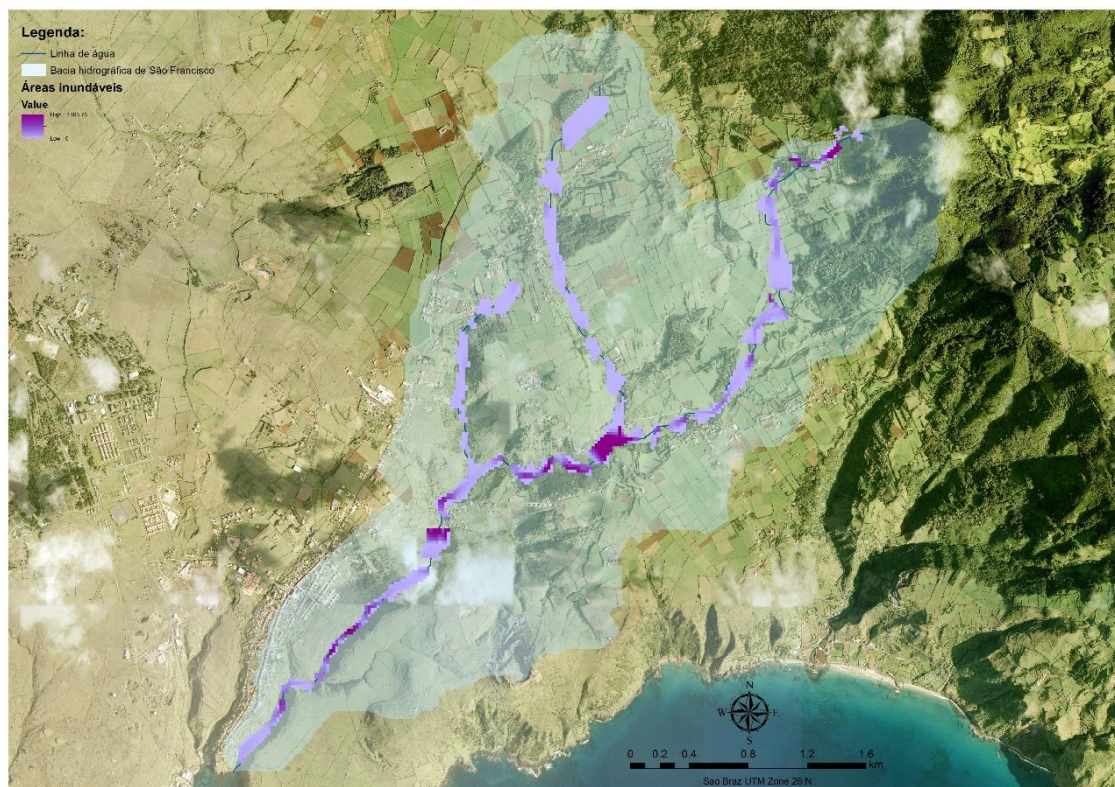


Figura 46 | Carta áreas inundáveis da bacia hidrográfica de São Francisco, gerado em HEC-RAS.

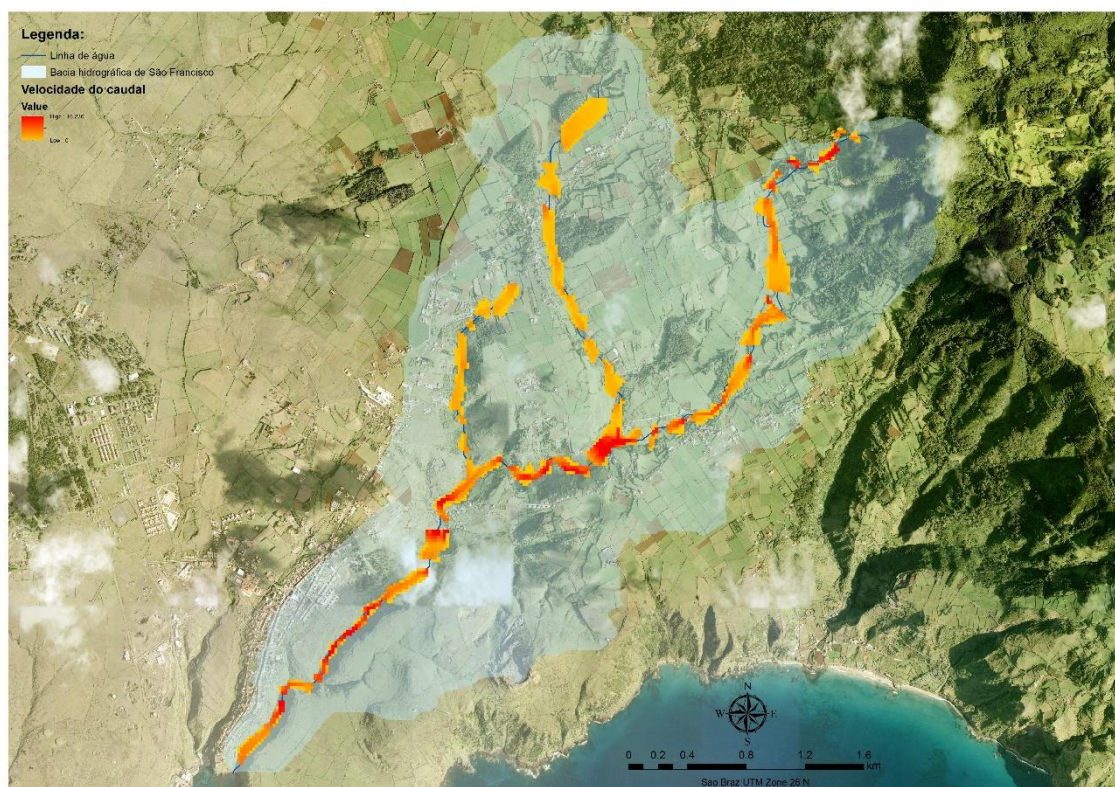


Figura 47 | Carta da bacia hidrográfica de São Francisco relativa à velocidade dos caudais, gerado em HEC-RAS.

Confrontando o mapa de inundações com o edificado definido pelo Plano Diretor Municipal de Vila do Porto, verifica-se que existem dois locais ao longo da linha de água que apresentam um

grau elevado de suscetibilidade para a inundaç o de zonas habitacionais, sendo estes locais a zona de Valverde e Covas, conforme se pode verificar na figura 48.

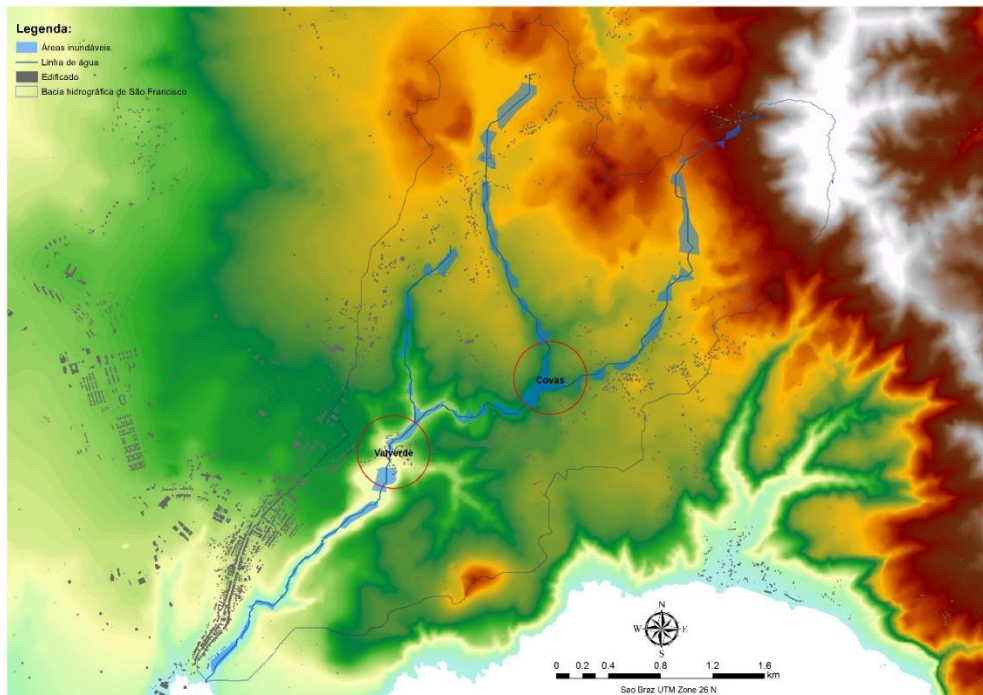


Figura 48 | Carta de inunda es da bacia hidrográfica de São Francisco relativamente ao edificado.

Neste estudo, foram desenvolvidos os modelos hidrológicos e hidráulicos numa bacia hidrográfica, com características climáticas e geográficas singulares, inseridas num território insular de reduzida dimensão. O modelo hidrológico usado, o HEC-HMS, foi desenvolvido para estudar o efeito da chuva no escoamento superficial e nas descargas de pico. Os mapas de inunda o produzidos através do HEC-RAS foram usados para estudar a extensão da inunda o e suas características.

A bacia de São Francisco encontra-se numa zona climática distinta, onde o clima temperado mediterrânico, de cariz marítimo, proporciona a ocorrência de precipita es por vezes muito intensas num curto espaço de tempo, potenciado pelo complexo montanhoso que divide a ilha em duas zonas morfológicas completamente distintas.

No processo de modela o em HEC-HMS, foi usado o método de perda *SCS Curve Number*, por este ser considerado o mais adequado para a bacia de São Francisco, atendendo que as perdas de precipita o associadas aos acontecimentos pluviosos intensos que originam cheias no sistema hidrográfico serem fundamentalmente consequência da diferença entre o que infiltra (perdas) no solo e o que se transforma em caudal. Uma das lacunas na utiliza o da modela o hidrológica prende-se com o facto de o conjunto final dos valores parametrizados não ter qualquer relevância física devido ao facto dos valores não estarem devidamente validados.

Além disso, o HEC-HMS descreve o processo de escoamento da chuva como um algoritmo linear, enquanto o ciclo hidrológico natural é um processo não linear. Conseqüentemente, o ciclo hidrológico não pode ser representado com precisão por tal modelagem.

O impacto das cheias nesta bacia hidrográfica só tem efeitos práticos quando o pico do caudal atinge valores superiores a $34\text{m}^3/\text{s}$. Comparativamente, as descargas da linha de água desta bacia hidrográfica calculada matematicamente para o caudal de ponta de cheia para o período de retorno de 100 anos e com um tempo de concentração de 52 minutos é de $65,19\text{ m}^3/\text{s}$, enquanto o valor estabelecido no processo de modelação do evento 3 é de $81,3\text{ m}^3/\text{s}$, para o mesmo tempo de concentração. Conclui-se, assim, que existe uma diferença conceptível entre a aplicação do modelo matemático (formula de David) e o software HEC-HMS.

Quando analisado o modelo determinístico produzido em HEC RAS, com os dados referentes ao evento 3, que define as áreas inundáveis, verifica-se o risco de inundação para cerca de 20 edifícios nas áreas identificadas nas figuras 49 e 50. Pode-se, assim, considerar que para um tempo de recorrência de 100 anos para episódios de precipitação extrema, existe a inevitável possibilidade da ocorrência de danos em pessoas e bens que vivem ou desenvolvam a sua atividade nas zonas ribeirinhas desta bacia hidrográfica.

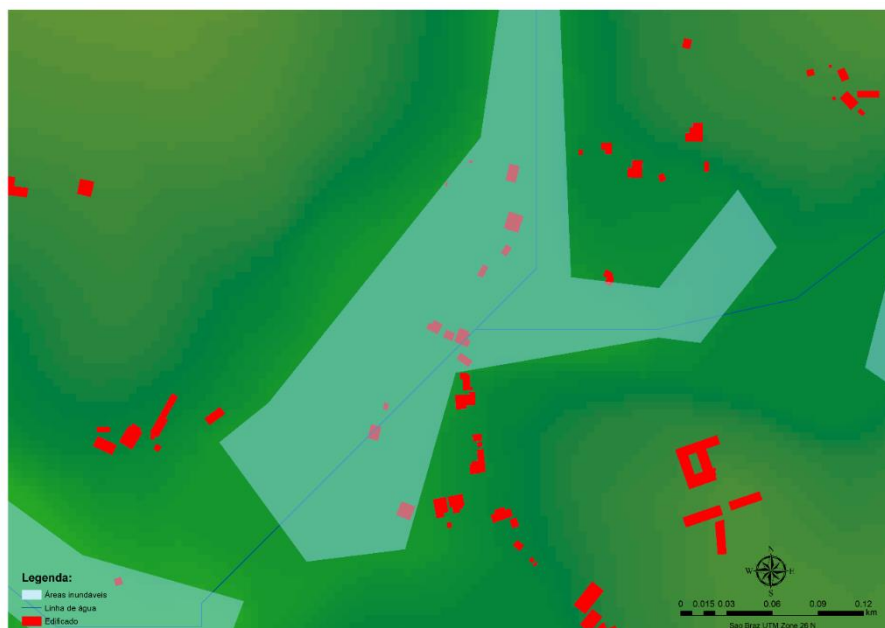


Figura 49 | Pormenor da carta de inundações na zona das Covas em relação ao edificado afetado.

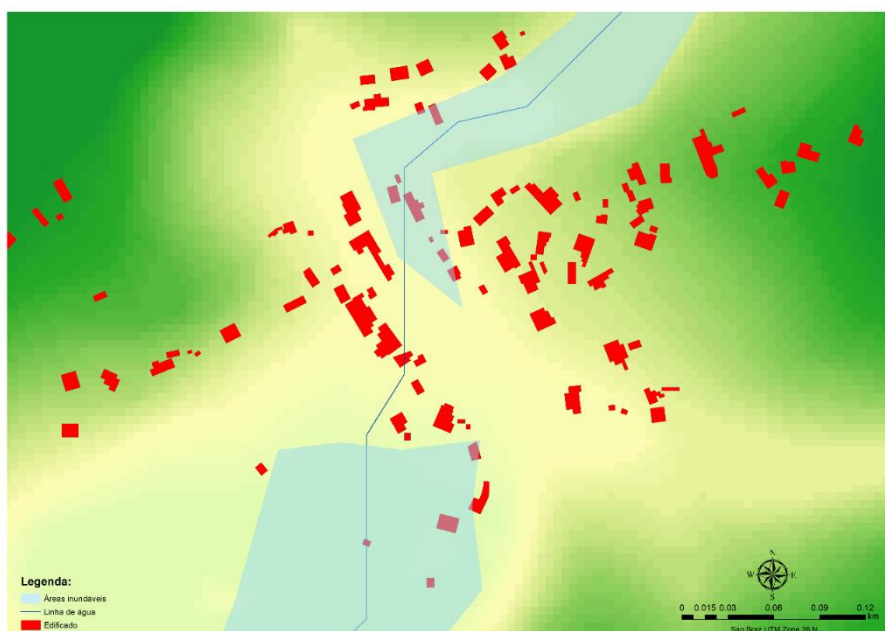


Figura 50 | Pormenor da carta de inundações na zona de Valverde em relação ao edificado afetado.

A modelação e conseqüente representação deste caso de estudo, não passa de uma abordagem probabilística, não representando uma realidade inquestionável, uma vez que as zonas de inundação são desenvolvidas com base em probabilidade que permitem incertezas. No entanto, permite-nos observar um quadro que pode perfeitamente representar um cenário próximo da realidade. Além disso, o modelo unidimensional, HEC-RAS, pode fornecer bons resultados quanto mais bem definido for o curso da linha de água, ou seja, quanto maior precisão tenha o levantamento topográfico. Assim que chegar ao topo do nível do canal, o modelo bidimensional é necessário para calcular a propagação da água sobre a zona de planície de inundação. Portanto, para ambas as zonas, é recomendado seleccionar o modelo 2D.

Assim, o completo planeamento e implementação de políticas e estratégias devem ser consideradas como medidas estruturais para a redução e proteção adequadas do risco de inundação, tendo plena compreensão que as ações tidas no passado recente, como: i) a transformação do uso do solo, de terras aráveis para pastagens; ii) o aumento das zonas urbanas e conseqüentemente o aumento de áreas impermeabilizadas; iii) a alteração dos divisores de água, com a construção de inúmeras vias rodoviárias, contribuem fortemente para a significativa alteração do regime de escorrência e volume dos caudais. Acresce ainda o facto das características intrínsecas das ilhas oceânicas para a propensão de ocorrência de chuvas orográficas intensas em curtos espaços de tempo, o que potencia a ocorrência de deslizamentos nas margens da linha de água provocando por vezes, o aumento do caudal

solido e obstruções nos canais de escoamento, o que aumenta substancialmente a probabilidade de ocorrência de arrastamento de pessoas, animais e bens.

6 - CONCLUSÃO

O presente trabalho tem por objetivo aplicar um modelo que permita efetuar a análise de cheias verificadas numa micro bacia hidrográfica, localizada num território insular de pequena escala, bem como o seu comportamento face a fenómenos de precipitação extrema, verificados ou simulados. Determinou-se, assim, que o modelo teria de fazer uso de processos automatizados, nomeadamente, com recurso a *software* SIG, concretizado da seguinte forma: i) criação da bacia e respetivas sub-bacias hidrográficas, criação da rede de drenagem e dos valores referentes aos parâmetros fisiográficos e hidrológicos; ii) composição do modelo para posterior exportação para o *software* HEC-HMS e HEC-RAS; iii) calibração dos parâmetros; iv) validação dos parâmetros, tendo como referência episódios extremos de precipitações e valores simulados de precipitações extremas.

Os dados de entrada referentes à caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica de São Francisco e o processo de modelação resultam do geoprocessamento do MDT, conjuntamente com informação vetorial necessária ao processo de análise. A simulação em HEC-HMS foi executada com recurso aos parâmetros disponibilizados pelo SCS *Curve Number* e Hidrograma Unitário SCS. Como resultado foram obtidos os hidrogramas e hietogramas simulados para as quatro sub-bacias referentes aos eventos selecionados. Através da comparação dos hidrogramas simulados e observados, verificou-se qual o comportamento da rede de drenagem, demonstrando que a aplicação do modelo pode auxiliar na previsão de vazões máximas. Ressalvam-se que, pela ausência de informação, o modelo simulado não considerou dados que poderiam melhorar o desempenho dessa simulação, tais como os dados referentes à evapotranspiração, ocupação do solo e informação rigorosa acerca da composição do solo. Por outro lado, a modelação em ambiente HEC-RAS permitiu construir o mapa de inundações da bacia hidrográfica, bem como determinar em que zonas, ao longo da linha de água, onde o caudal apresenta uma tendência de aumento da velocidade e conseqüentemente da ação erosiva do mesmo.

A qualidade dos dados meteorológicos é igualmente outro dos parâmetros que influi substancialmente nas estimativas geradas, tendo-se verificado algumas inconsistências nos dados meteorológicos fornecidos pelo Instituto Português do Mar e Atmosfera e pela Direção Regional do Ambiente do Governo Regional dos Açores, sendo estas inconsistências decorrentes da falha dos equipamentos que recolhem os dados. Neste sentido e de forma a evitar o preenchimento dos dados em falta, a série temporal da análise foi reduzida para o

período que em simultâneo não se verificassem inconsistências dos dados nos três postos udométricos utilizados.

No seguimento dos resultados obtidos na análise fisiográfica realizada à bacia hidrográfica, conjuntamente com a modelação efetuada às perdas de precipitação e à transformação da precipitação efetiva em escoamento, conclui-se que a bacia hidrográfica de São Francisco é pouco propensa à ocorrência de cheias, tendo por base os valores obtidos no evento 3, simulado para um cenário extremo e pouco previsível que ocorra com a mesma simetria em toda a área ocupada pela bacia hidrográfica. No entanto, de acordo com a modelação efetuada em HEC-RAS, é possível aferir que existem zonas urbanizadas expostas aos caudais mais elevados e decorrentes de episódios extremos de precipitação.

Por último, é inegável o contributo do *software* HEC-HMS e HEC-RAS na modelagem de cenários hidrológico, mesmo em bacias de reduzida dimensão e inseridas num contexto insular, constituem-se como ferramentas bastante úteis, no entanto, a sua validação carece de ser confirmado para episódios de precipitação ocorridos em series temporais mais espaçadas e na introdução de parâmetros que permitam aproximarmo-nos o mais possível da realidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackerman, C. (2012). HEC-GeoRAS GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGis 10. Davis, California: US Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center (HEC).
- Agostinho, J. (1942). O Clima dos Açores no Quadro Dos Climas Mundiais - Parte V. *Açoreana*, 3(1), 49–73.
- Ahmad, S., & Simonovic, S. (1999). Comparison of One-Dimensional and Two-Dimensional Hydrodynamic Modeling Approaches For Red River Basin. *Report to the International Joint Commission-Red River Basin Task Force, Ottawa, Washington, December*, 1–51. http://digitalscholarship.unlv.edu/fac_articles/121
- Azevedo, E. (2001). Condicionantes dinâmicas do clima do arquipélago dos Açores. Elementos para o seu estudo. *Açoreana*, 9(3), 309–317.
- Borsato, F. H. (2005). *Caracterização física das bacias de drenagem do município de Maringá e os postos de combustíveis como potenciais poluidores*. Universidade Estadual de Maringá.
- Bravo, T., & Coello, A. (1979). Contribuicion a la hidrogeologia de la Caldera de Taburiente, La Palma, Canárias. *I Simposio Nacional de Hidrogeologia. Pamplona*.
- Brunner, G. W., & CEIWR-HEC. (2016). HEC-RAS River Analysis System: User Manual 1D and 2D Version 5.0. *US Army Corps of Engineers, February*, 1–790. www.hec.usace.army.mil
- Chen, W., Wang, Y., Li, X., Zou, Y., Liao, Y., & Yang, J. (2016). Land use/land cover change and driving effects of water. *Environment Earth Science*, 75(1027).
- Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1998). *Applied Hydrology* (p. 294).
- Costa, T., & Lança, R. (2011). *HIDROLOGIA DE SUPERFICIE*. Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve.
- Cruz, V. (1992). *Hidrogeologia da ilha de Santa Maria, Dissertação para a obtenção de Mestre em Geologia Económica e Aplicada*. Universidade de Lisboa.
- CVARG/CIVISA. (2010). *Avaliação de perigos geológicos e delimitação de áreas vulneráveis a considerar em termos de riscos no ordenamento do território da RAA - R2 - Caracterização dos perigos geológicos. Documento técnico-científico 01/CVARG/2010*.

- Debo, T. N., & Reese, A. J. (1995). *Municipal Storm Water Management*. Lewis Publishers.
- Eastman, J. (1999). Multi-criteria evaluation and GIS; in Geographical Information System. *John Wiley & Sons.*, Pp. 493-502.
- Falkland, A., & Custodio, E. (1991). Hydrology and water resources of small islands: a practical guide. *Publicação Da UNESCO*.
- Fernandez, P., Mourato, S., & Moreira, M. (2013). Comparação dos modelos HEC-RAS e LISFLOOD-FP na delimitação de zonas inundáveis. *Revista Recursos Hídricos*, 34(1), 63–73. <https://doi.org/10.5894/rh34n1-5>
- Geetha, K., Mishra, S., Eldho, T. I., & Rastogi, A. K. (2007). *Modifications to SCS-CN Method for Long-Term Hydrologic Simulation Modifications to SCS-CN Method for Long-Term*. 9437(July 2014). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133)
- Heras, R. (1974). Estudio de la escorrentia superficial en islas de tipo volcánico. Simposio Internacional sobre Hidrologia de Terrenos Volcanicos, Lanzarote, Canarias. *MOP/PNUD/SGOP/CEH/UNESCO*.
- Heras, R., Altares, P., & Lara, A. (1974). Estudio de crecidas torrenciales en regiones de tipo volcánico. Simposio Internacional sobre Hidrologia de Terrenos Volcanicos, Lanzarote, Canarias. *MOP/PNUD/SGOP/CEH/UNESCO*.
- Heras, R., & Saéns-oiza, J. (1974). Estudio hidrologico de base de las islas Canarias. Simposio Internacional sobre Hidrologia de Terrenos Volcanicos, Lanzarote, Canarias. *MOP/PNUD/SGOP/CEH/UNESCO*.
- Hipólito, J., & Vaz, Á. (2013). *Hidrologia e Recursos Hídricos* ((P. IST, E).
- Knebl, M., Yang, Z., Hutchison, K., & Maidment, D. (2005). Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event. *Jurnal of Environmental Management*.
- Lencastre, A., & Franco, F. M. (1992). *Lições de hidrologia* (2ª ed. rev). Universidade Nova. Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Luiz, V., Teodoro, I., Jadyr, D., Costa, L., & Fuller, B. (2007). *O CONCEITO DE BACIA HIDROGRÁFICA E A IMPORTÂNCIA DA CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA PARA O*

ENTENDIMENTO DA DINÂMICA AMBIENTAL LOCAL.

- Madeira, A. (1981). *Esboço Podológico da Ilha de Santa Maria (Açores)*. 121.
- Madeira, J. (1986a). *Geologia estrutural e enquadramento geotectónico da Ilha de Santa Maria (Açores). Tese apresentada às provas de Capacidade Científica para passagem a Assistente*. Universidade de Lisboa.
- Madeira, J. (1986b). *Geologia estrutural e enquadramento geotectónico da Ilha de Santa Maria (Açores). Tese Apresentada Às Provas de Capacidade Científica Para Passagem a Assistente, Departamento de Geologia Da Faculdade de Ciências Da Universidade de Lisboa*, 107.
- Marcuzzo, F. F. N., Oliveira, N. L., Cardoso, M. R. D., & Tschiedel, A. F. (2012). *Detalhamento hidromorfológico da bacia do rio paraíba. Campus II*.
- Martins, J. (2000). *escassez de registos de caudais instantâneos máximos anuais*. 1–11.
- Mata-Lima, A. (2007). *Hidráulica, Hidrologia e Recursos Hídricos. Apontamentos de apoio à unidade curricular*. Universidade da Madeira.
- Matos, M. R. (1986). *Estudos de precipitação com aplicação no projecto de sistemas de drenagem pluvial . curvas intensidade - duração - frequência da precipitação em Portugal*. LNEC.
- Moukalled, F., Mangani, L., & Darwish, M. (2016). *Erratum to: The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics: Vol. M*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16874-6_21
- Pereira, C. (1995). *Análise de precipitações intensas*. Instituto Superior Técnico.
- Pereira, P., & Fonseca, C. (2009). *Sistemas de Informação Geográfica como Ferramenta em Ecologia*. CAPTAR, 1, pp31-39.
- PGRJA, S. R. da A. e A. (2011). *Plano de Gestão de Riscos de Inundações da Região Autónoma dos Açores*.
- PGRJA, S. R. da A. e A. (2016). *Plano de Gestão de Riscos de Inundações da Região Autónoma dos Açores*.
- Quintela, A. (1996). *Hidrologia e Recursos Hídricos (I. S. Técnico (ed.))*.

- Ramalho, R. S., Helffrich, G., Madeira, J., Cosca, M., Thomas, C., Quartau, R., Hipólito, A., Rovere, A., Hearty, P. J., & Ávila, S. P. (2017). Emergence and evolution of Santa Maria Island (azores)- The conundrum of uplifted islands revisited. *Bulletin of the Geological Society of America*, 129(3–4), 372–391. <https://doi.org/10.1130/B31538.1>
- Rodrigues, C. M., Moreira, M., & Guimarães, R. C. (2011). *Apontamentos para as aulas de Hidrologia*. 1–142. <http://hdl.handle.net/10174/4721>
- Plano de Gestão da Região Hidrográfica dos Açores - RH9, (2012).
- Segurado, P., & Jesus, B. (1999). Aplicação de Sistemas de Informação Geográfica nas Diferentes fases de um Estudo Ecológico. *ESIG99*, 10pp.
- Serralheiro, A., Alves, C. A., Forjaz, V. H., & Rodrigues, B. (1987). *Carta Vulcanológica dos Açores, Ilha de Santa Maria, Centro de Vulcanologia do I.N.I.C. Escala 1/15000*.
- SRAM, S. R. do A. e do M. (2012). *PGRH - Caracterização e Diagnóstico da Ilha de Santa Maria*.
- SREA, S. R. de E. dos A. (2018). *Os açores em números*.
- US Army Corps of Engineers. (2000). Standard Practice for Concrete for Civil Works Structures. *Engineering Structures*, 17(9), 124. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0141029695900306>
- USACE-HEC. (2010). Hydrologic Modeling System, HEC-HMS v3.5 – User’s Manual. In *US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center* (p. 318 p).
- USACE-HEC. (2018). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Quick Start Guide*. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
- Vale, M. J., & Painho, M. (1998). *Planeamento e gestão de recursos hídricos, ordenamento do território e partilha de sistemas de informação – exemplo de aplicação à área abrangida pelo Plano de Ordenamento da Albufeira de Castelo de Bode e área envolvente POACBE*.
- Viessman, W., & Lewis, G. L. (1995). *Introduction to hydrology*. Glenview, Harper Collins.
- Zbyszewski, G., Ferreira, O. V., & Assunção, C. T. (1961). *Carta Geológica de Portugal; notícia explicativa da folha da ilha de Santa Maria (Açores)*.
- Zêzere, J. L., Pereira, A. R., & Morgado, P. (2006). *Perigos Naturais e Tecnológicos no Território*

de Portugal Continental. *Lisboa , Portugal.*

ANEXO -A

(layers gerados em ambiente ArcHydro)

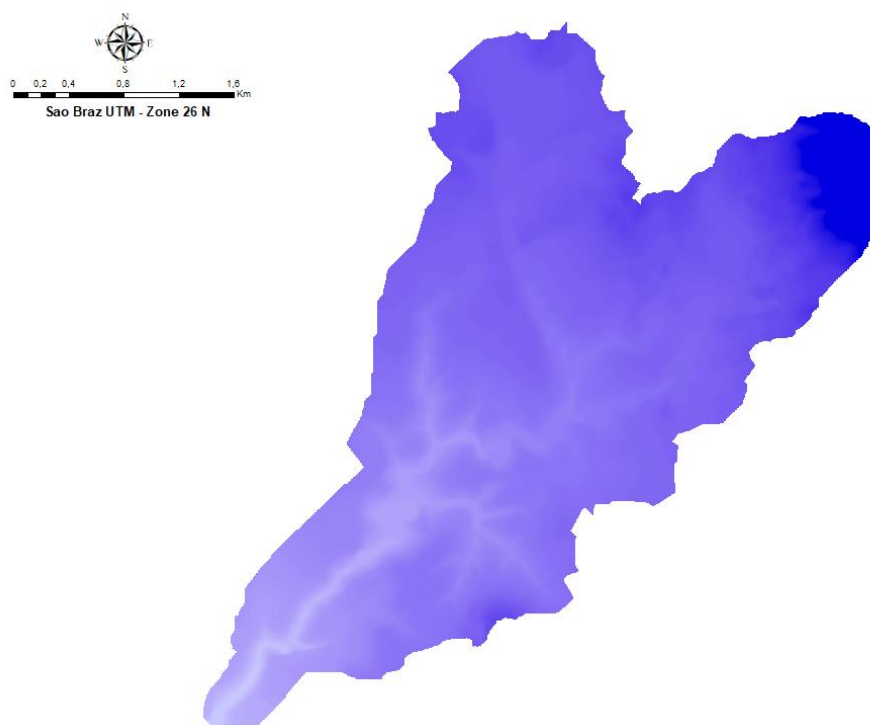


Figura 1 | Layer gerado com o comando *Fill Sinks*.

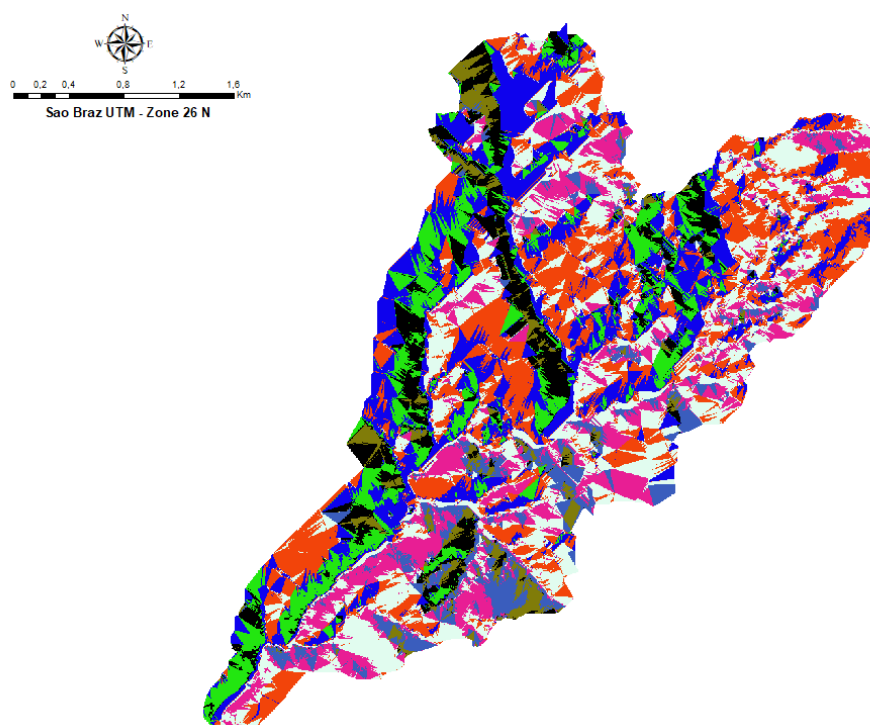


Figura 2 | Layer gerado do comando *Flow Direction*.

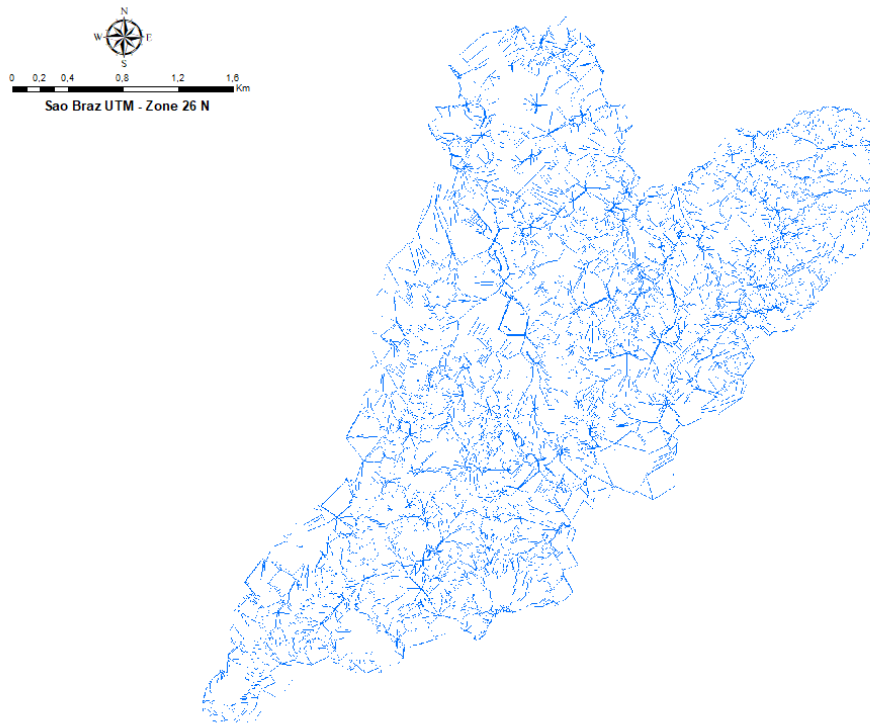


Figura 3 | *Layer* gerado do comando *Flow Accumulation*, a cor branca representa a acumulação do escoamento superficial.

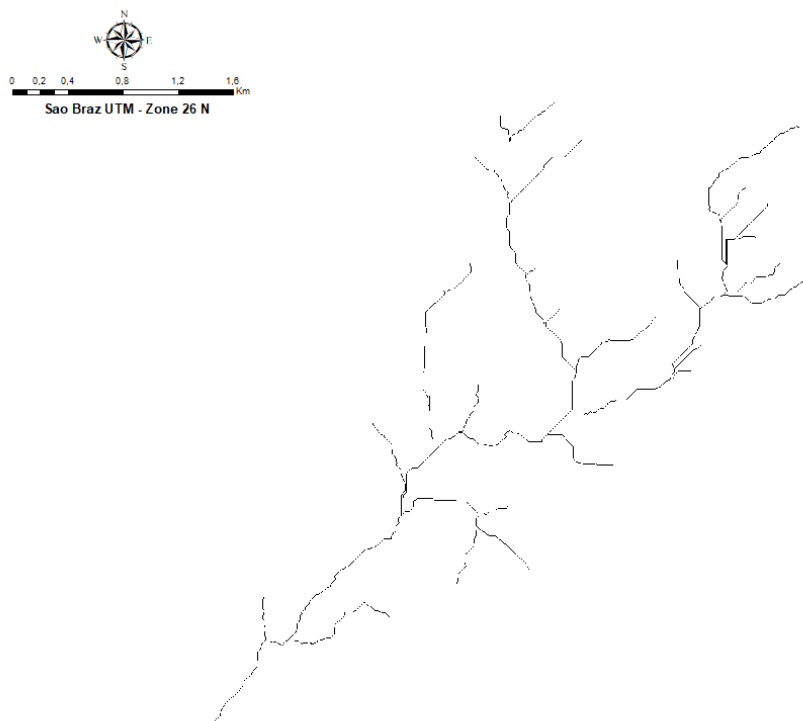


Figura 4 | *Layer* gerado do comando *Stream Definition*, definição da grelha de acumulação do escoamento superficial.

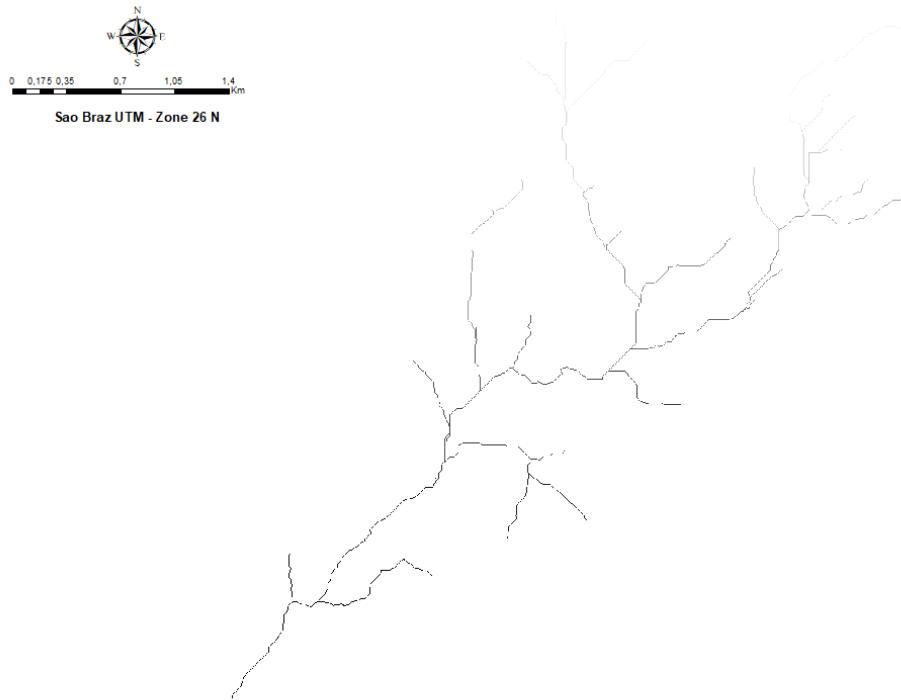


Figura 5 | Layer gerado no processo de segmentação da rede de drenagem.

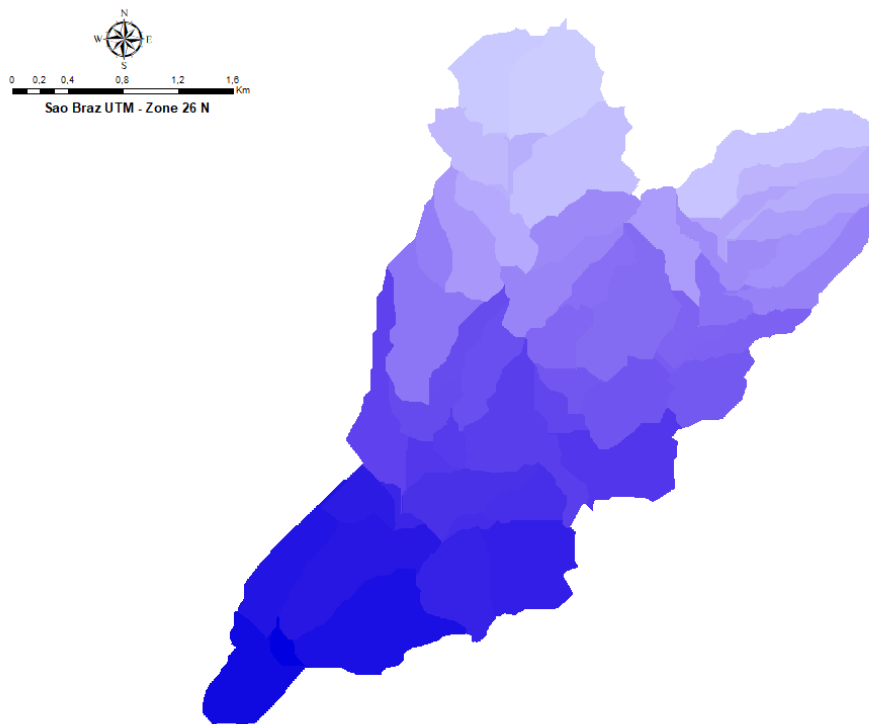


Figura 6 | Layer gerado no processo de delimitação das sub-bacias.

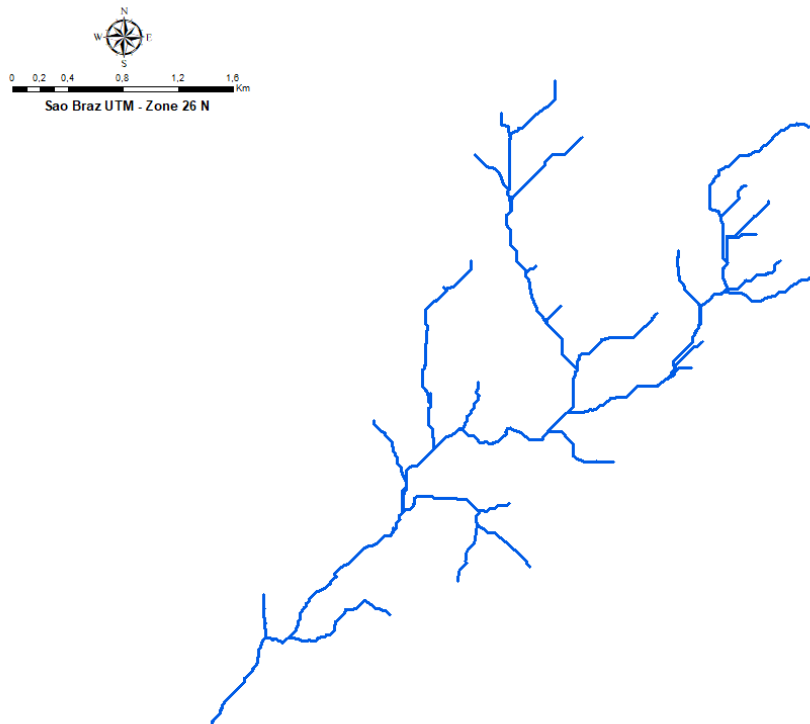


Figura 7 | *Layer* gerado no processo de definição da rede de drenagem final.

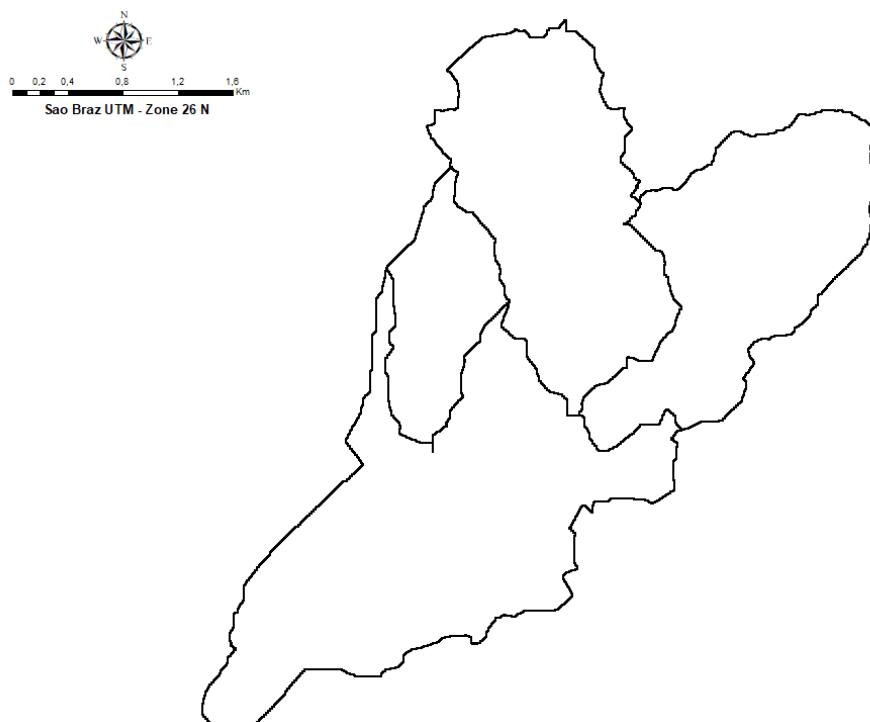


Figura 8 | *Layer* gerado no processo de definição final das sub-bacias.

ANEXO -B

(Layout's referente ao processo de modelação em HEC-RAS)

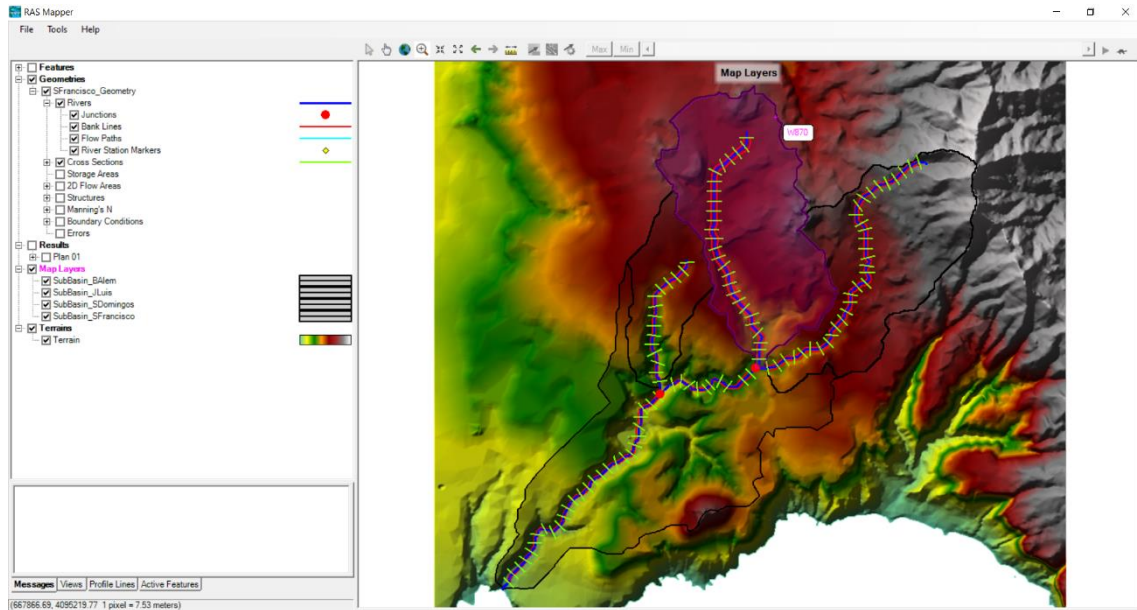


Figura 1 | Layer com a superfície de trabalho criado em RAS Mapper.

Edit Manning's n or k Values

River: (All Rivers) Edit Interpolated XS's Channel n Values have a light green background

Reach: All Regions

Selected Area Edit Options

	River	Reach	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	Branch	TributaryUS	2700	n	0.035	0.03	0.035
2	Branch	TributaryUS	2600	n	0.035	0.03	0.035
3	Branch	TributaryUS	2500	n	0.035	0.03	0.035
4	Branch	TributaryUS	2400	n	0.035	0.03	0.035
5	Branch	TributaryUS	2300	n	0.035	0.03	0.035
6	Branch	TributaryUS	2200	n	0.035	0.03	0.035
7	Branch	TributaryUS	2100	n	0.035	0.03	0.035
8	Branch	TributaryUS	2000	n	0.035	0.03	0.035
9	Branch	TributaryUS	1900	n	0.035	0.03	0.035
10	Branch	TributaryUS	1800	n	0.035	0.03	0.035
11	Branch	TributaryUS	1700	n	0.035	0.03	0.035
12	Branch	TributaryUS	1600	n	0.035	0.03	0.035
13	Branch	TributaryUS	1499.14	n	0.035	0.03	0.035
14	Branch	TributaryUS	1400	n	0.035	0.03	0.035
15	Branch	TributaryUS	1300	n	0.035	0.03	0.035
16	Branch	TributaryUS	1200	n	0.035	0.03	0.035
17	Branch	TributaryUS	1100	n	0.035	0.03	0.035
18	Branch	TributaryUS	999.9999	n	0.035	0.03	0.035
19	Branch	TributaryUS	900	n	0.035	0.03	0.035
20	Branch	TributaryUS	799.9999	n	0.035	0.03	0.035
21	Branch	TributaryUS	699.9999	n	0.035	0.03	0.035
22	Branch	TributaryUS	600	n	0.035	0.03	0.035
23	Branch	TributaryUS	515.6209	n	0.035	0.03	0.035
24	Branch	TributaryUS	400	n	0.035	0.03	0.035

Figura 2 | Tabela de edição do HEC-RAS relativa aos valores de n/k de Manning's .

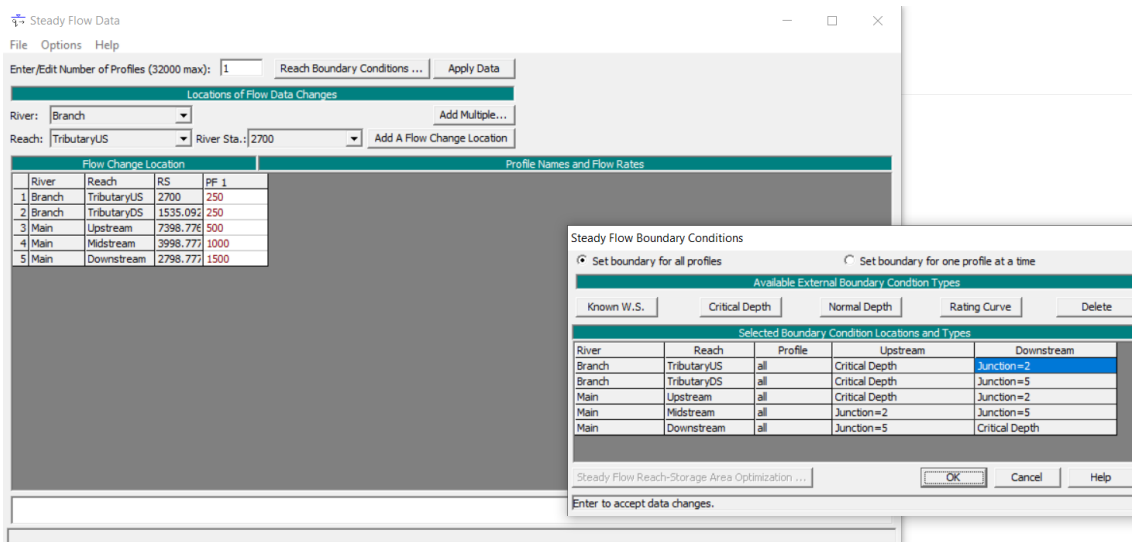


Figura 3 | Tabela de edição do HEC-RAS relativa aos valores de recarga e os limites de fluxo constante.

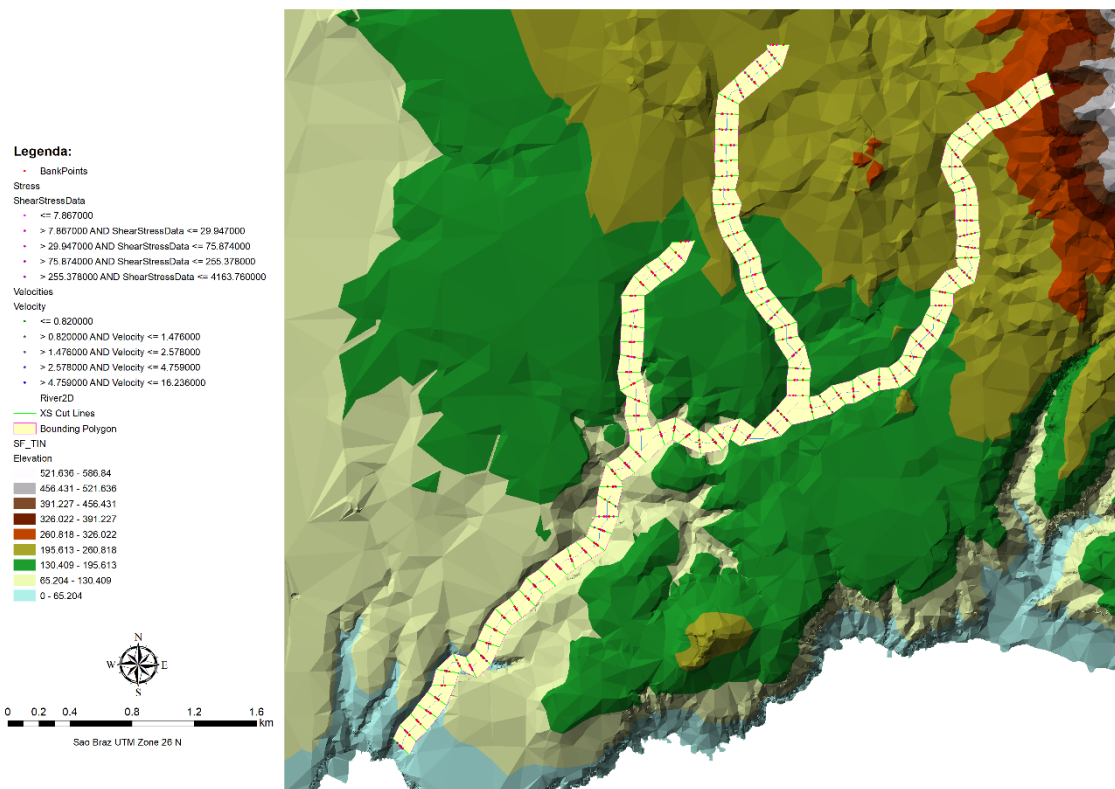


Figura 4 | Layer criado em ArcGIS com os dados importados do HEC-RAS.

ANEXO -C

(dados de precipitação)

Estação meteorológica do Aeroporto

		2015											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Total Diário	1	0,0	0,0	0,0	0,2	4,2	0,0	0,1	0,0	0,8	18,4	0,0	0,0
	2	0,0	0,0	0,0	0,0	10,4	0,0	6,6	0,2	2,7	11,6	10,1	4,3
	3	0,0	0,0	0,0	0,0	10,9	0,0	9,6	0,0	10,6	6,8	0,1	0,1
	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	10,7	2,4	10,3	0,0
	5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	2,3	0,6	24,7	0,0
	6	0,0	0,0	0,0	0,4	6,1	0,0	0,2	0,0	19,4	0,0	0,9	2,1
	7	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	0,3	0,0	1,5	5,0	0,0	1,8	0,3
	8	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	4,6	0,0	0,1	12,1	2,3	0,0	0,0
	9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
	10	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	11	0,0	0,0	0,0	3,2	32,2	0,1	0,2	2,6	3,8	0,0	0,3	18,8
	12	0,0	0,0	0,0	6,3	0,5	0,0	0,0	20,5	0,0	0,0	0,0	19,0
	13	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,2	0,0	1,6	0,0	0,0	0,1	0,1
	14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	60,0	0,0	9,0
	15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	6,9	0,0	12,1
	16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0
	18	0,0	0,0	0,0	5,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	2,5
	19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	7,1
	20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	2,7	0,0	0,2	0,2
	21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,4	0,0	0,2	0,0	0,1	0,5
	22	0,0	0,0	0,0	10,7	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3
	23	0,0	0,0	0,0	0,9	2,6	0,7	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
	24	0,0	0,0	0,0	5,0	0,1	0,0	13,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	25	0,0	0,0	0,0	0,3	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	0,1	7,7
	26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	28,9
	27	0,0	0,0	0,1	0,4	0,6	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,7
	28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	15,5	0,9	2,7	0,6	0,0
	29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,9	0,0	0,8	0,0	33,6	0,0	0,3
	30	0,0	0,0	0,0	24,7	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	2,8	0,0	1,5
	31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,8
Total Mensal		0	0	0,1	64,4	75,3	22,9	40,5	44,1	76,9	153	49,3	116,4
Total Anual		642,9											

Quadro 1 | Precipitação diária, em mm, registada em 2015 no posto udométrico do Aeroporto.

		2016											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Total Diário	1	0,0	0,0	0,0	16,7	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	16,1
	2	0,4	0,0	0,3	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	13,1
	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0	0,1	3,7	1,4
	4	0,3	0,0	1,4	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	3,0	3,0	1,6	0,1
	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0
	6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,5	3,6	1,0	27,4
	7	0,7	0,4	0,0	1,1	0,1	24,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	8	0,3	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7
	9	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,8	5,3	0,0	1,4
	10	2,8	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1	0,0	0,0
	11	0,2	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0
	12	1,8	0,0	4,8	0,0	0,4	0,2	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	2,9
	13	3,8	0,0	7,6	10,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	14	15,6	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4
	15	24,0	0,0	4,9	0,1	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	15,6	0,1	2,4
	16	1,1	0,0	3,6	0,3	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0
	17	0,0	0,2	1,7	25,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	18	1,7	0,6	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	1,3	0,6
	19	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	0,0	0,0	0,1	0,3
	20	0,1	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,1	0,8	0,5
	21	3,4	0,0	0,5	3,3	1,2	2,3	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0
	22	5,3	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,0	0,7	0,1	0,9	0,0	0,0
	23	13,3	0,2	0,0	1,0	4,6	0,2	0,9	11,8	0,0	4,8	0,0	0,0
	24	10,9	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	2,3	0,1	0,6	1,1	0,6	0,1
	25	0,0	0,0	0,1	7,6	0,4	0,0	0,3	0,0	0,0	0,4	0,2	0,0
	26	0,0	0,0	0,0	1,3	3,6	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,4
	27	9,6	1,1	0,0	0,1	2,6	0,4	0,0	0,0	0,0	8,0	6,2	0,0
	28	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	8,5	0,1	19,0
	29	0,0	0,0	12,5	0,0	15,9	0,0	0,0	3,1	1,0	0,8	7,1	37,8
	30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,7	0,0	0,0	0,0
	31	0,0	0,0	0,0	0,0	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2
Total Mensal		104,0	3,8	39	72,6	44,9	33,1	17,2	28,7	11,5	77,4	23,9	141,9
Total Anual		598											

Quadro 2 | Precipitação diária, em mm, registada em 2016 no posto udométrico do Aeroporto.

		2017											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Total Diário	1	8,4	0,0	0,5	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	12,6
	2	2,6	0,0	0,8	0,5	20,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
	3	13,6	0,0	0,0	0,2	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	8,9
	4	5,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	5,3
	5	1,4	0,1	0,0	0,0	0,9	0,1	0,0	0,0	4,1	0,0	0,8	7,2
	6	0,7	0,4	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,2
	7	1,5	0,0	0,0	4,9	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
	8	3,5	8,9	2,5	2,1	2,9	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0
	9	0,0	0,1	5,4	0,7	5,2	0,7	0,0	0,0	0,0	4,8	2,9	0,0
	10	0,0	1,0	0,3	5,4	0,8	0,0	0,0	2,6	0,2	0,0	8,4	0,0
	11	0,0	8,2	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	2,2	0,2
	12	1,8	0,7	0,0	8,7	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7
	13	3,2	0,1	0,0	4,7	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0
	14	8,4	0,7	0,0	15,7	1,1	0,0	0,0	8,1	0,0	13,9	18,0	0,5
	15	0,1	0,2	0,0	0,4	4,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,8	2,7	0,2
	16	34,2	1,0	5,4	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,5	0,0
	17	9,7	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	2,2	0,1	0,8
	18	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,5
	19	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
	20	0,0	1,1	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	3,4	34,3	0,0	0,0
	21	0,1	0,2	0,0	0,0	0,6	1,2	13,9	0,3	0,2	0,0	34,1	0,5
	22	0,0	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	5,9	0,0	0,8	0,0	1,6	0,0
	23	0,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	7,5	0,0	2,4	0,0
	24	1,9	0,0	0,0	14,2	6,6	0,0	0,0	10,3	8,3	0,1	0,4	0,0
	25	16,3	0,0	7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	31,9	24,6	0,0
	26	0,1	0,0	0,1	13,6	3,2	0,0	0,0	0,0	0,2	2,8	5,7	0,0
	27	0,2	0,4	1,6	10,1	1,0	0,0	0,1	1,3	0,2	4,4	4,5	0,0
	28	0,7	0,2	5,9	0,2	0,0	0,0	6,2	0,0	0,0	12,4	0,4	0,0
	29	0,1	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	7,9	0,0	0,0
	30	1,7	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	5,3	1,5
	31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total Mensal		116,4	24,9	34,6	92,4	73,8	7,5	27,5	22,7	23,7	79,8	168,7	39,9
Total Anual		711,9											

Quadro 3 | Precipitação diária, em mm, registrada em 2017 no posto udométrico do Aeroporto.

		2018											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Total Diário	1	0,0	0,0	4,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	25,5	6,0	0,0	0,0
	2	0,1	0,2	10,8	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	15,8	0,0	9,4
	3	0,0	1,1	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	2,2	12,9	0,2	3,2
	4	1,4	0,0	0,3	2,7	0,0	0,2	0,0	1,0	0,2	18,4	0,1	0,0
	5	1,3	0,0	4,6	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,2	0,0	0,0
	6	0,0	0,4	16,1	1,4	0,0	0,2	0,0	0,0	3,7	9,1	0,0	0,0
	7	0,6	0,5	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,3	1,8	0,1
	8	0,0	0,0	3,3	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	22,9	0,0	0,4	0,0
	9	0,2	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
	10	0,0	1,1	2,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	4,9	0,4	0,0
	11	0,9	0,0	9,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	1,2	0,8	0,1
	12	5,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,7	0,2	0,0	0,3	31,0	0,0	4,0
	13	0,6	2,3	6,7	1,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	14	0,4	1,0	2,2	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	10,2	0,4
	15	0,4	7,6	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,6	0,0	0,2
	16	0,6	0,4	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,9	0,5
	17	0,7	0,0	0,6	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	3,5	4,5
	18	0,0	0,0	1,2	1,4	0,0	0,0	1,4	0,2	5,1	0,0	0,4	0,0
	19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	3,9	2,0
	20	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,2	0,1
	21	0,4	0,3	0,0	0,3	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	7,5	0,4	0,0
	22	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,2	13,9	0,0	9,1
	23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,7	4,9	17,5
	24	0,6	18,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	16,9	5,9	8,2
	25	0,1	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	2,3	0,0	3,1
	26	0,0	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0
	27	0,0	2,7	0,0	0,4	0,0	0,0	0,5	0,8	0,6	1,6	0,0	0,0
	28	0,6	4,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,2	0,0
	29	0,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	16,8	0,0	0,0	5,2
	30	0,1	0,0	0,0	2,3	1,0	0,1	1,1	0,0	8,6	0,1	0,0	0,9
	31	0,3	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	4,8
Total Mensal		14,7	54,4	85,7	25,7	1,1	1,9	7,7	8,2	95,7	163,7	54,2	73,3
Total Anual		586,3											

Quadro 4 | Precipitação diária, em mm, registrada em 2018 no posto udométrico do Aeroporto.

		2019											
Dia\Mês		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Total Diário	1	0.5	0.0	0.0	0.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.1
	2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.2	0.0
	3	35.7	0.0	0.5	0.2	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	1.2	0.0	0.4
	4	0.8	0.8	0.0	0.4	2.8	0.0	0.1	0.0	1.7	0.0	0.1	0.1
	5	0.0	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
	6	2.4	0.0	0.0	0.2	1.2	0.4	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.0	0.0	5.7	2.5	0.0	0.0	2.5	0.2	1.0	0.5	0.0
	8	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	0.1	0.0	0.1	1.1	0.0	0.0	0.0
	9	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	10	14.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.7	0.0	0.4	0.0	1.2
	11	6.1	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	2.0	0.0	0.0
	12	0.1	10.2	1.1	0.4	8.3	0.0	0.0	0.0	0.1	8.3	0.0	0.0
	13	0.0	12.8	1.2	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0
	14	0.0	0.3	1.3	25.3	0.0	2.8	0.0	0.0	1.3	0.1	0.0	0.9
	15	0.0	0.9	0.0	2.5	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	4.0
	16	0.0	0.0	0.0	9.6	0.6	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
	17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	11.8	0.2	0.1	0.7
	18	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.9	0.0	8.6	0.1	0.1	2.7	5.0
	19	0.0	26.6	0.4	1.0	0.0	0.0	0.0	31.8	1.0	0.0	0.1	4.1
	20	0.0	12.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	3.6	0.0	3.1	0.9
	21	0.1	8.4	1.5	0.0	2.6	4.2	0.0	0.5	0.0	0.0	0.4	0.1
	22	3.1	7.9	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	2.4	0.0	0.0	0.1	0.2
	23	0.4	15.4	5.6	0.0	0.0	9.2	0.0	3.2	0.0	0.0	0.3	2.1
	24	0.0	3.4	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.4	0.0	25.5
	25	1.8	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	26.6	2.9	0.9
	26	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.9	34.8	0.9	2.0
	27	0.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	5.8
	28	3.1	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	7.1	0.0	5.5	0.0	1.2
	29	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.7	0.0	0.3	0.0	6.5
	30	0.3	0.0	0.3	3.3	0.0	0.0	0.0	0.1	12.8	2.8	0.4	0.0
	31	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total Mensal		69.7	102.4	25.7	64.5	39.3	38.5	2.2	70.8	35.6	119.8	14.2	62.4
Total Anual		645.1											

Quadro 5 | Precipitação diária, em mm, registada em 2019 no posto udométrico do Aeroporto.

Quadro 6 | Valor mensal da precipitação acumulada, em mm, no posto udométrico do Aeroporto.

		Mês												
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
Ano	2015	0	0	0,1	64,4	75,3	22,9	40,5	44,1	76,9	153	49,3	116,4	642,9
	2016	104	3,8	39	72,6	44,9	33,1	17,2	28,7	11,5	77,4	23,9	141,9	598
	2017	116,4	24,9	34,6	92,4	73,8	7,5	27,5	22,7	23,7	79,8	168,7	39,9	711,9
	2018	14,7	54,4	85,7	25,7	1,1	1,9	7,7	8,2	95,7	163,7	54,2	73,3	586,3
	2019	69,7	102,4	25,7	64,5	39,3	38,5	2,2	70,8	35,6	119,8	14,2	62,4	645,1

Quadro 7 | Valor anual da precipitação acumulada, em mm, no posto udométrico do Aeroporto.

		Precipitação Acumulada (anos)					Precipitação Total
Ano		2015	2016	2017	2018	2019	
Valor		642,9	598	711,9	586,3	645,1	3184,2

Estação meteorológica da Praia Formosa

		2015											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Total Diário	1	0	2,4	0	0	0	0	0	0	0,2	4,7	0,1	0
	2	0	0	0	0	2	0	10,8	0,5	4	1,7	14,6	2,3
	3	0	0,1	10,9	0	0	2,9	3,4	0	12,1	2,9	0	0,6
	4	0	0	6,9	0,1	0	0	0	0	14,2	2,9	6,6	0
	5	0	0,1	0	0	0	0	0	0	1,7	0,7	22,6	0
	6	0	0	0	0	0	0	0,4	0	15,4	0	1,9	3,3
	7	0	3,4	0	0	0	0,5	1,9	0	3,1	0	2,4	0,5
	8	0	6,2	2,5	0	0	15,9	0,3	0,5	12,4	0,9	0	0
	9	0	0,3	0,1	0	0	1,2	0	0	0	1,7	0	0
	10	0,5	0	0	0	0	1,2	0	0	0	0,1	0	0
	11	0	0	0	0	0	0,1	0,4	3,3	4,9	0	0	14,7
	12	0	0,3	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	5
	13	4	0	0	0	0	0	0	3,1	0,1	0	0	1,2
	37	0	1,5	0	0	0	0	0	0,4	0	37	0	3,9
	15	1,1	2	0	0	0	1	3,6	8	1,5	12,9	0	9,5
	16	0	0,7	0	0	0	11,3	0	6,5	1	0,7	0	15,4
	17	0	0,8	0	0	0	0	0,1	3,8	0	1,6	0	0
	18	0	0	0	0	0	0,1	0,2	2,3	0	0,3	0	4,2
	19	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0,9	0	0	3,5
	20	4	0	0	0	0	2,5	0	0,8	5,5	0	0	0,5
	21	0,7	0	0	0	2,3	0,3	0,5	0	1,7	0	0	0,2
	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	1,1
	23	0	2,9	0	1,8	0	2,1	0,1	0	0,1	4	0	0
	24	0,7	0	0	0	0	0	0	9,5	0	0	0	0
	25	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0,3	3,3	0,3	7,2
	26	0,3	0	0	3,3	0	1,4	0	0	1,8	0,1	13,7	20,3
	27	0,9	0	0	0,6	0	0,1	0,2	2,7	0	0	6,4	1,8
	28	0,3	0	0	5,3	0	0	0,1	15,8	0,4	2,3	0	0
	29	0	0	0	0	0	10	0	1,6	0	26,6	0	0,6
	30	0	0	0	0	0	0,5	1,2	0	2,2	4,9	0	1,6
	31	0,2	0	0	0	0	0	4,7	0	0	0	0	1,4
Total Mensal		12,7	20,7	20,6	11,1	4,3	51,1	37,4	52,3	83,6	109,3	68,6	98,8
Total Anual		570,5											

Quadro 8 | Precipitação diária, em mm, registada em 2015 no posto udométrico Praia Formosa.

		2016											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Total Diário	1	0	0	0	11,5	0	0,3	0,5	0	0	1,7	10,9	
	2	0,2	0	1,3	0,3	0	1,6	0,1	0	0	0,9	1,1	12,4
	3	0	0	0,6	0	0	1,6	0,6	0	0	0,1	0,9	3,7
	4	1	0	3,3	0	0	2,4	0	0	2,6	2,1	0,5	0,1
	5	0	0,3	0	0	0,1	0,1	0,7	0	0	1,1	0,2	0
	6	0,1	0,4	0	0,9	0	0	2,3	0	0,9	15,1	0,3	13,1
	7	2,6	0,1	1,2	1,7	0,2	3,6	0	0	0	0,1	0,3	0,1
	8	0,4	1,5	0,1	0	0,1	0,2	0	0	0	0,1	0,1	6,7
	9	0	0,2	0	3,8	0,6	0	0	0	0,7	4,8	0	1
	10	4,7	0	0	0,2	1,9	0	0	0	0,2	11,8	0	0
	11	1,4	0,5	0	3,1	0	0,2	4,7	0	0	0	0	1,5
	12	2,3	0	0,3	2,7	0	0,5	0	0	4,8	0	0	0,6
	13	23,1	0	2,9	5,8	0	0	0,2	0	0	0	1,2	0
	14	49,8	0	0,4	7,8	0	0,3	0,1	0	0	2,8	0,9	0
	15	8,7	0	1,7	1,9	0	0	1,1	0	0	37	1,6	3,2
	16	0,2	0,1	4,3	3,5	0	0	1,8	0,2	0	0	0,8	0
	17	0	1,8	0,7	16,9	0	0	0	0,1	0	0	0	2,3
	18	1,6	1,6	0	7,2	0	0	0,1	2,2	0,5	0	4,5	14,2
	19	8,9	0,2	0	0	1,4	0	0	3,5	2,1	0	0,6	6,2
	20	0,3	0	0,3	0,9	0	0	0	0	3,3	7,4	2,5	1,2
	21	3,3	0	1,6	1,7	1,1	6,6	0	0	0,6	0,1	0	0
	22	4,6	0	0,7	0,1	2,6	0,2	0	0,8	0	1,7	0,8	0
	23	3,9	0,9	0	0,8	0,4	0	3	5,9	0,1	6	0	0,4
	24	9,1	0,1	0	0	0	0,1	2,7	0,1	1	0,8	4,9	0,4
	25	0	0	0,1	8,9	1,5	1,5	4,9	0	0	0,4	0,4	0,5
	26	0,1	0	0	0,2	1,3	0,3	0	1,1	0	0,2	0,1	0,6
	27	10,6	0	0	0,2	0,3	1,9	0	0,1	0	7,3	5,4	0
	28	0,1	0,3	0,1	0	0	0	0,1	0	0	3,8	0,4	15,9
	29	0	0	19,2	0	13,4	0,2	0	1,6	7,3	2,4	7,3	4,8
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	3,1	0	0
	31	0	0	0	0	0	8,5	0	0	0,1	0	2,2	0
Total Mensal		137	8	38,8	80,1	33,4	21,6	22,9	15,7	24,5	111,3	36,5	103,1
Total Anual		632,9											

Quadro 9 | Precipitação diária, em mm, registada em 2016 no posto udométrico da Praia Formosa

		2017											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Total Diário	1	8,6	0,4	0	0,2	0,2	4,6	0	0	0	0	0	5,8
	2	5,2	0	0	0,3	13,1	0	0,3	0	0	0	0,2	0,3
	3	15,9	0	0	0,2	4,7	0	0	0	0	0	5,8	1,8
	4	1,5	0,1	0	0,2	0,1	0	0,2	0	0	0	4,1	2,7
	5	1,1	0,1	0	0	0,6	0,8	0	0	0	0	2,3	0,4
	6	1	0,2	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0,1	0
	7	1,1	0	0	1,3	3,6	0	0	0	0	0,9	1,1	0
	8	3,4	5,4	0,6	0,4	2,8	1,6	0	0	0	0	11,9	0
	9	0	0,1	2,2	0,2	6,7	1,3	0	0	0	2,5	9,7	0
	10	0	3,5	3,2	0,2	1,2	0	0	0	0	0	5,8	0
	11	0	3,6	0	0,1	0,3	0	0	0	0	0	2,3	0,7
	12	2,3	4,7	0	0,2	3,3	0	0	0	0	0	0,5	0
	13	7,8	2,2	0	0,1	5,9	0	0	0	0	0	2,2	0
	14	5,2	0	0	0	0	0	0	0	0	29,9	17,6	0,9
	15	0,1	0	0	0	0	0,7	0	0	0	1,1	3,4	0,3
	16	11,5	1,5	6,6	0	0	0,1	0	0	0	2	0,2	0
	17	0	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	4,5	0	0
	18	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0,8	0,6	0
	19	0	0	0	0	1,2	2,9	0	0	0	0	0	0
	20	0,2	1,9	2,1	0	0,2	0,1	0	0	0	2,6	14,8	0
	21	0,1	2	0	0	1	0,7	0	0	0	1,8	13,5	1
	22	0	0,9	0,2	0	0	0,1	0	0	0	0	1,2	0
	23	0,9	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	3,5	0
	24	2	0	0	0	3,9	0	0	0	0	1,6	2	0
	25	6,5	0	4,2	0	0	0	0	0	0	18,9	19,5	2,1
	26	0,5	0,1	5,5	0	3,6	0	0	0	0	0,2	6,3	0
	27	0,6	0	1,2	0	0,3	0	0	0	0	8,2	3,5	0
	28	0,4	0	2,5	0	0,1	0	0	0	0	3,8	5,9	0
	29	0	0	2,6	0	0	0	0	0	0	0	14,8	0
	30	1,8	0	1,6	0	0	0	0	0	0	0	6,9	4,3
	31	0	0	0,6	0	0,7	0	0	0	0	0	0	0
Total Mensal		77,7	26,9	33,2	3,4	55,5	12,9	0,5	0	0	78,8	159,7	20,3
Total Anual		468,9											

Quadro 10 | Precipitação diária, em mm, registada em 2017 no posto udométrico da Praia Formosa

		2018												
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
Total Diário	1	0	0,2	4	2,3	0	0	0	0	6,5	4,5	0	0	
	2	0	3,7	11,3	0	0	0	0	0,1	0	19,8	0	3,7	
	3	0	2	4,9	0	0	0	0	10,3	9,5	4,6	1,5	1,1	
	4	2,9	0	0,8	1,7	0	0,2	0,2	0,3	0,6	12,1	0	0	
	5	0,1	2,8	3,4	1,3	0	0,1	0	0	16	4,6	0	0	
	6	0	4,9	12,3	5,2	0	0,1	0	0	1,7	12,5	0,3	0	
	7	1,7	0,1	0,4	0	0	0	0	0	1,8	1,8	3,3	0	
	8	0	0	4,8	2,8	0	0	10,8	0	37,2	0	0,3	0	
	9	0,7	0,1	6,4	0	0	0	0	0	3,3	0	0	0	
	10	0	0	2,9	0	0	0,3	0	0	0	7,1	0,2	0	
	11	2,2	1,2	7,6	0,6	0,4	0	0	0	1,3	1,1	1,9	0	
	12	2	0	1,6	0	0,2	2,3	0	0	0,4	19,9	0,1	3,4	
	13	0	2,6	8,4	2,1	0,4	0	8,2	0	0	0	0	0,1	
	14	0,3	1,6	3	2,6	0	0	0	0	0	0,2	12,6	0,2	
	15	3,9	3,5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1,1	
	16	2,8	3,3	0	4,9	0	0	0	0	0	0	0	15,1	0
	17	1,7	0	0,9	2,4	0	0	0	0,8	0	0	1,7	4,5	
	18	0,1	0	0,9	0,1	0	0	0,3	1,3	19,3	0	1,7	0,1	
	19	0	0	0,2	0,1	0	0	2	0	0	0,2	3	3	
	20	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	6,8	0	0,1	
	21	0,2	0,5	0	0,7	0,8	1,1	0	0	0	6,6	1,8	0	
	22	0,2	2,8	0	0	0	0	0,1	0	0	20,8	0	6,2	
	23	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	7,2	9	4,8	
	24	0,9	21,9	0	0	0	0	2,2	0	1,1	18	6,1	5,2	
	25	0	3,8	0	0	0	0	0	1,1	0	0,5	0	5,2	
	26	0	3,2	0	0	0	0	2,3	0	0	2,3	0	0	
	27	0	2,2	0	0,8	0	0	0	1,4	0	3	0	0	
	28	2,5	4	3,2	0	0	0	0	0	0	15,4	0	0,4	0
	29	1,7	0	0	5,3	0	0	0	0,2	20	0	0	3,6	
	30	0	0	0	2,9	2,4	0,9	0,4	0	2,1	0	0	1,2	
	31	1,9	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1	
Total Mensal		25,8	64,5	86	35,8	4,8	5	26,5	15,5	136,2	154,6	59	44,6	
Total Anual		658,3												

Quadro 11 | Precipitação diária, em mm, registada em 2018 no posto udométrico da Praia Formosa

		2019											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Total Diário	1	0.1	0.3	0	0	6.8	0	0	0	1.8	0.1	0.3	0
	2	0.5	0	0	0	0	0	0	0.2	4.5	0.1	0	0
	3	11	0	0.8	1.6	0	0	0.3	0.1	0	2.1	0	2.1
	4	0.1	0	0	0.4	2.5	0	0.4	0	1.7	0	0.7	0.4
	5	0	1.5	0.1	0	0.2	0	0.1	0	0.7	0.6	0	0
	6	0.7	0	0	0.2	0.5	0.9	0	0	0	0.1	0	0
	7	0	0	0	7.9	2.9	0	0	0	0.6	5	3.3	0
	8	0	0	0	0	6.4	0.2	0.3	0	1.1	5.5	0	0
	9	0	0	0	0	13.9	0	0	0	0	0	0	0
	10	13.5	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0	8.7
	11	11.9	0	0.2	1.9	0.1	0	0	0	0	1.6	0	0
	12	0.3	0.1	2	0.5	1.3	0	0	0	1.6	9.7	0	0
	13	0	7.1	8.8	8.8	0	0	0	0	2.8	0.8	2.4	0
	14	0	18	1.6	13.6	0.3	0.9	0	0	3.6	3.2	0	0.8
	15	0	0	0.1	2.5	0	0.1	0.2	0	0.1	0	0.4	3
	16	0.7	1.9	0	6.4	1.7	6.6	0	0	0	1.1	1.6	0.7
	17	0	0	0	0.1	0.1	4.8	0	0	7.9	0.8	0	1.7
	18	0	0	0.4	0	0	1.7	0	0	1.1	0	8.3	3.1
	19	0	0	1.2	0	0	0	0	0	1.1	1.4	0.5	1.1
	20	0	12.5	0.6	0.1	0	0.1	0	0	0.8	0.2	6.2	1.4
	21	0.1	6	1	0	2.3	2.6	0	0	1.9	0.1	1.2	1
	22	6.4	11.3	0	0.3	0.1	0.3	0.1	0	0.1	0	1.8	0.5
	23	0.9	6	6.5	0	0	0.3	0.1	0	1.3	0	0.3	0.3
	24	0.1	10.9	15.8	0.1	0	0.1	0.1	0	5.7	11.6	0	0.3
	25	0.5	3.1	0	0	0	0.3	0	0	0	18	0.7	0.3
	26	0	1.3	0	0	0	0	0	0	3.7	5.2	0.1	0.3
	27	2	1.1	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0.5	0.5	0.3
	28	7	0.8	0	0	0	0.1	0.2	0	0	13	1	0.4
	29	0	0	0	0	0.3	0	0.1	0	0.9	0.1	0	0.2
	30	0.6	0	0	10.7	0	0	0	1.4	22.3	3.6	0.2	0.2
	31	1	0	0	0	0	0	0	0	1.6	0	0	0.2
Total Mensal		57.4	81.9	39.1	55.1	39.4	19.1	1.9	65.5	86.3	29.5	27	
Total Anual		503.9											

Quadro 12 | Precipitação diária, em mm, registrada em 2019 no posto udométrico da Praia Formosa

Quadro 13 | Valor mensal da precipitação acumulada, em mm, no posto udométrico da Praia Formosa.

		Mês												
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
Ano	2015	12,7	20,7	20,6	11,1	4,3	51,1	37,4	52,3	83,6	109,3	68,6	98,8	570,5
	2016	137	8	38,8	80,1	33,4	21,6	22,9	15,7	24,5	111,3	36,5	103,1	632,9
	2017	77,7	26,9	33,2	3,4	55,5	12,9	0,5	0	0	78,8	159,7	20,3	468,9
	2018	25,8	64,5	86	35,8	4,8	5	26,5	15,5	136,2	154,6	59	44,6	658,3
	2019	57,4	81,9	39,1	55,1	39,4	19,1	1,9	1,7	65,5	86,3	29,5	27	503,9

Quadro 14 | Valor anual da precipitação acumulada, em mm, no posto udométrico da Praia Formosa.

		Precipitação Acumulada (anos)					Precipitação Total
Ano	2015	2016	2017	2018	2019		
Valor	570,5	632,9	468,9	658,3	503,9	2834,5	

Estação meteorológica das Fontinhas

		2015											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Total Diário	1	0,3	3,3	0	0	0	0	0,1	0	0,6	6,2	0,4	0,3
	2	0,1	0,2	0	0	0	0,1	18,8	0,3	7,7	5,8	27	11,4
	3	0,1	1,1	0	0	0	0	5,5	0	9,6	1,5	0,9	0,8
	4	0	0	0	0	0	0,3	0,5	0,1	10,6	6,6	20,8	0
	5	11,2	0,2	0	0	0	0	0	0	2,7	1	56,8	0
	6	0	0,1	0	0	0	0,1	0,3	0	15	0	3	8,4
	7	0	4,5	0	0	0	1,4	4,1	0,1	6,1	0,1	6	0,5
	8	0	3,4	0	0	0	20,8	0,2	0	3,5	4,8	0	0,1
	9	0,3	0,9	0	0	0	1,3	0,3	0	1,7	3,1	0	0
	10	2,2	0	0	0	0	1,1	0,6	0	1,8	0,2	0	0
	11	0,3	0,1	0	0	0	0,5	0,2	5,1	4,6	0	0	22,4
	12	0	0,6	0	0	0	0	0,1	30,6	0	0	0	26,2
	13	5,6	0,1	0	0	0	0	0	8,4	0,9	0	0	0,5
	14	0,1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	26,6	0,2	22,8
	15	2,7	1,5	0	0	0	2,2	2,4	0	1,4	7,1	0,8	36,6
	16	0	1,7	0	0	0	0	0,1	0,6	0	0,9	1	26,9
	17	0,1	0,1	0	0	0	0	1	2,6	0	1,8	1	1,2
	18	0	0	0	0	0	0,2	0,5	0,5	0,9	0,2	1	10,1
	19	0	0,1	0	0	0	0	1,6	0,1	0,8	0	0,1	4,9
	20	3,4	0	0	0	0	1,8	0,6	0,1	13,5	0	0,1	0,6
	21	1,1	0	0	0	0	0,8	4	0	2,1	0	0	0,8
	22	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,6	0	0,1	1,7
	23	0	0	0	0	0	2,6	0,2	0	0	2,4	0	0
	24	0,4	0	0	0,4	0	0	7,6	0	0	0	0	0,2
	25	1,4	0	0	0	0	0,3	0,1	0	0	8	0,4	16,4
	26	1,2	0	0	0	2,9	0,9	0	0	2,2	0,2	0	17,2
	27	1,1	0	0	0	2,7	0	0	1	0	0	0	5,1
	28	0,2	0	0	0	3,9	0,1	0	18,7	1	11,9	3,7	0,4
	29	0	0	0	0	0,1	10,4	0	1,3	0	43	0,2	5,2
	30	0,1	0	0	0	1	0	5,9	0	2,4	5,2	0	2,7
	31	0,5	0	0	0	0	0	4,3	0	0	0,6	0	6,5
Total Mensal		32,4	18,4	0	0,4	10,6	44,9	59,1	69,7	89,7	137,2	123,5	229,9
Total Anual		815,8											

Quadro 15 | Precipitação diária, em mm, registada em 2015 no posto udométrico das Fontinhas.

		2016											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Total Diário	1	0	0	0,4	27,5	0	0,9	1,1	0	0	0	3	17
	2	2,5	0	2,1	0,1	0	7,1	0,3	0	0,1	1,9	3,7	11,8
	3	0,9	0,1	0,2	0,1	0	3,7	1,6	0	0,1	0,2	1,9	4,7
	4	3,5	0	4,1	0	0	3,4	0	0	3,9	5,3	0,6	1,4
	5	0,1	0,9	0,1	0	1,4	1,3	1,4	0	0,1	1,7	1,9	1,5
	6	3,2	0,5	0	0,7	0	0	2,5	0	1,3	23	0,9	30,7
	7	7,3	0,8	1	2,3	0,3	17	0	0,2	0	0,7	0	0,3
	8	0,6	2,3	0,1	0	0,2	0,1	0	0	0	0	0	10,7
	9	6,3	0,3	0	2,9	0,5	0,1	0,1	0	0,4	5,2	0	3,4
	10	14,4	0,2	0	0,1	2,5	0	0	0	0,5	23,3	0	0,1
	11	2,8	1,2	0	1,8	0	0,3	7,5	0	0,1	0,1	0	5,1
	12	7,7	0,4	4,1	2	0,4	0,4	0	0	6,1	0	0	1,8
	13	26,9	0,5	8	10,2	0,3	0,1	0,9	0	0	0	1,5	0,2
	14	65,6	0,1	1,8	5	0	1,1	0	0	0	2,5	1,7	0,5
	15	32,1	0	8,7	8,3	0	0	7,2	0	0	32,8	0,8	4,5
	16	0,8	0	14,2	2	0,3	0	3,1	0,7	0	0	1	0
	17	0,1	0,8	2	14,5	0	0	0	1,2	0	0	0	3,6
	18	5,4	1,2	0,1	9,8	0	0	1,2	3,4	1	0	4,4	3,8
	19	24,5	0	0,1	0	4,5	0	0	14,5	1,4	0	1,6	3,6
	20	2,9	0	2,5	0,2	0,1	0	0,1	0,5	3	10,5	2,2	1,7
	21	8	0	3,3	4	5	7,9	0	0,2	0,5	0	0	0
	22	14,5	0	1	0,3	1,6	0,8	0	0,4	0,1	2,2	1,2	0
	23	20,8	1,5	0,1	2,4	7,5	0,1	4,2	4,7	0,4	6	0,2	2
	24	9,2	1,6	0,5	0	0	0,1	1,7	0,1	4,9	1,3	4,3	1,3
	25	0,1	0	1	10,7	0,6	1,4	4,8	0	0	0,4	1,7	0,3
	26	0,7	0,1	0	4	0,7	0,4	0	3,4	0	0,2	0,2	0,7
	27	22,2	0	0	0,1	0,2	1,9	0	0,1	0	7,7	7,2	0,1
	28	0,1	0,5	0,1	0	0	0	0,1	0,1	0	11	0,1	18,1
	29	0	0	29,6	0	12,1	0	0	3,9	4,5	5,3	4,8	12
	30	0	0	0	0	0,9	0	0	0,3	1,6	5,1	0	0
	31	0	0	0	0	22,5	0	0	0	0	0	0	3,4
Total Mensal		283,2	13	85,1	109	61,6	48,1	37,8	33,7	30	146,4	44,9	144,3
Total Anual		1037,1											

Quadro 16 | Precipitação diária, em mm, registada em 2016 no posto udométrico das Fontinhas.

		2017											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Total Diário	1	10,9	1,7	2,3	0,5	0,5	4,3	0	0	0	0,3	0	15,4
	2	3,9	0,7	0,6	2,6	31,4	0	0,7	0	0,1	0,1	0,2	1,5
	3	31	0,3	0,3	5,6	3,8	0	0	0,1	0,7	0	4,1	7,8
	4	4,7	1,3	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,7	5,8	0	5,1	12
	5	1,5	0,9	0	0	2,6	1,5	0	4,5	3	0	2,7	4,7
	6	2,3	0,6	0,3	0	4,2	0	0	0	0,8	0	0,8	0,2
	7	1,3	0	0	4,1	9,3	0	0	0	0,7	2	2	0
	8	3,4	14,8	2,7	6,7	8	2,6	0	0	0,3	0,3	11,4	0
	9	0	0,1	7,2	5,6	11,9	3,2	0	0,5	0,2	3,8	9,9	0
	10	0	3,6	0,2	2,9	1,4	0	0	2,5	0,1	0,1	10,7	0,2
	11	0	7,7	0	7,6	0,2	0	0	0	0,1	0	3,3	1,1
	12	3,2	2,3	0	6,5	3,2	0	2	0,4	0	0	0,4	0,1
	13	12,4	0,1	0	7	14,5	0	1,1	0	0	0,1	5,7	0
	14	10	0	0	5,2	4,1	0	0	15,1	0,1	9,7	22,3	1,1
	15	0,2	0,1	0	0,2	14,4	0,4	0	0,5	0,1	4,3	8	1,2
	16	18,5	2,1	4	0,9	0	0,1	0	0	0	0	0,7	0,7
	17	1,1	0,2	0,2	0,7	0	0	2,4	0	4,6	0,3	0,3	0,3
	18	0,1	0	0	0,1	0,5	0	2,1	0	0	0,3	0,6	0,1
	19	0,1	0	0	0,9	2,8	5,1	0	0	0,4	0,2	0,3	0
	20	1,2	3	3,2	0,7	0,6	0	5,2	0	2,1	0	40,1	0
	21	0,1	5,8	0	0,1	3,2	8,1	5,9	0	0	0	27,4	1,1
	22	0	1,7	0,1	1,2	0	0,9	0,6	0	0,9	0,2	2,7	0
	23	1,7	0	0	0	0,3	0,1	0,3	0	7	0,2	3,9	0
	24	3,9	0	0	11,5	5	0	0,2	13,7	0,8	0,3	8,5	0
	25	19,7	1,2	14,9	0	0,2	0	0,1	0,5	0,4	0,9	23,8	3,8
	26	0,3	0,1	0,5	18,2	5,9	0	0	0	0,3	3,4	10,1	0,2
	27	1,4	1,4	3,1	11,9	4,1	0	0,1	6,5	0,1	3,1	5,9	0
	28	2,7	0,5	12,5	0,4	0,4	0	0,4	0,4	0,1	1,7	0,9	0
	29	0,4	0	8,9	0	0	0	1	2,2	0	1,1	19	0
	30	3,2	0	0,5	1,7	0	0	0,6	0,1	0,3	0,3	19	10,4
	31	0,2	0	123,2	0	2,7	0	9,6	0,2	0	0,1	0	0,1
Total Mensal		139,4	50,2	184,8	102,9	135,3	26,3	32,4	47,9	29	33,5	249,8	61,3
Total Anual		1092,8											

Quadro 17 | Precipitação diária, em mm, registrada em 2017 no posto udométrico das Fontinhas.

		2018											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Total Diário	1	0,3	0,5	4,1	2	0	0	0	0	1,3	0,2	0	0
	2	0,2	3,2	10,8	0	0,1	0	0,1	0	0	0,3	0	0
	3	0,1	1,8	20,2	0	0	0,9	0	11,8	6,4	0,5	0	0
	4	4,5	0	7,3	13	0	6	0,4	0,7	0,6	0,3	0	0
	5	0,3	2,4	4,9	3,6	0	0,4	0	0,4	2,8	0,5	0	0
	6	0	3,4	13,7	6,2	0	1,8	0	0	5,6	0,2	0,2	0
	7	2,9	0,2	0,9	0	0	0,1	0,1	0	0,8	0,3	0	0
	8	1	0	13,2	4	0	0	6,9	0	32,2	0,1	0	0
	9	2,3	0	14,6	0	0	0	0	0	9,3	0,1	0	0
	10	0	0	1,7	0	0,1	1,7	0	0	2,5	0	0	0
	11	18,9	2,3	24,3	6,4	2,3	0	0	0	0,3	2,1	0	0
	12	2,8	0	3,9	0,1	0,4	0,8	0,3	0	0,1	0,9	0	0,1
	13	0	11,4	18,5	4,4	0,2	0	8,3	0	0,1	0	0	0
	14	0,5	3,4	2,3	7	0	0	0,2	0	0	0	0,6	0
	15	4,3	6,3	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0,2	0	0	0
	16	3	2	0,8	276,3	0	0	0	0	0,2	0	3,5	0
	17	2,2	0	4,1	8,3	0	0	0	1,1	0,2	0	0	0,3
	18	0,4	0	1	0,2	0	0	1,9	1,1	0,2	0	0	0
	19	0	0	0,5	0,2	0,1	0	1,2	0	0,1	0	0	0
	20	1,4	0	0,2	0,1	2,3	0	0,5	0,1	0,1	0	0	0
	21	0,4	1,5	0	0,7	2,9	0,3	0	0	0,1	0	0	0
	22	0,2	2,1	0	0	0	0	0,2	0	0	0,1	0	0
	23	0,6	0,3	0,1	0	0	0,2	0,1	0	0	0	0	0
	24	1,2	22,2	0	0,1	0,2	0	1,6	0	0	0	0	0
	25	0,1	4,4	0	0	0	0	0	1,3	0	0	0	0
	26	0	14,5	0	0	0	0,1	3,6	0	0	0	0	0
	27	0,3	20,9	0	3,9	0	0,1	0,4	2,6	0	0	0	0
	28	2,7	6,2	1,9	0	0	0,1	0	0,1	0	0	0,4	0
	29	2,9	0	0	7,5	0	0,2	0	0	0,1	0	0	0
	30	0	0	5,4	4,4	14,1	1	1,7	0,1	0,1	0	0	0
	31	2,2	0	34,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Mensal		55,7	109	189,4	348,5	22,8	13,7	27,5	19,3	63,3	5,6	4,7	0,4
Total Anual		859,9											

Quadro 18 | Precipitação diária, em mm, registrada em 2018 no posto udométrico das Fontinhas.

		2019											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Total Diário	1	0	1	0,3	7,3	6,4	0	0	0	1,3	1,6	1,8	0,3
	2	0	0	0,5	71,6	0	0	0	0,4	6,5	16,9	0,1	0
	3	0	1	3,3	1,3	0,1	0,1	0,3	0	0	0,5	0	3,8
	4	0	0,3	1,6	1,6	6,7	0	0,4	0	3,6	0,1	0,7	0,1
	5	0	3,5	21,8	0	1,1	0	1,3	0,1	1,9	1	0	0
	6	0	0	0	13,2	5,8	2,3	0	5,9	0	0,4	0	0
	7	0	0	0,3	15,7	10,1	0	0	4,4	1	2,7	1,2	0
	8	0	1,6	0	0	18,1	1,2	4	0,1	1,5	3,1	0,6	0
	9	0	0,1	0	0	23,7	0	0,1	0,7	0	0	1	0,7
	10	0	0,1	0	1	0,4	0	0	11,6	1,3	0,3	0,5	8
	11	0	0	1,1	8,2	0,5	0,1	0	18,3	0,4	4	0,1	2,6
	12	0	1,8	1,5	3,1	4,8	0	0	0,6	6,4	6,7	0,2	0
	13	0	19,3	2,5	12,4	0,8	0	0	0	3,5	1,5	1,5	0
	14	0	13,5	2,2	15	0,1	1,9	0,1	0	4,8	2,3	0	6,2
	15	0	0,1	1,3	120,9	0	1,1	0	0,1	0,4	2,1	1	4,6
	16	0	2,8	0,1	19	1,4	19	0	0	0	5,6	1,2	0,7
	17	0	0	0	0,1	0,1	32,7	0	0,4	21,1	7,7	0	81,3
	18	0	0,2	1,8	0,4	0	0,8	0	48,9	1,5	0,3	0,9	22,2
	19	0	10,5	0,9	0,3	0	0,1	0	33,3	1,6	1,3	0,4	160,7
	20	0	41	1,9	1	0,1	0,4	0	0,6	11,2	0,3	0,8	114,6
	21	4,4	14,4	1,2	0	3,9	11,9	0	26,2	0	0,1	0,6	0,2
	22	5	77,5	0	1,5	0,1	0,8	0	32,5	0	0	0,2	1,6
	23	1,7	43,3	9,6	0	0	11,8	0	4,5	0	0,1	0,2	8,8
	24	0	21,7	11,8	0,7	0,1	0	0	3,6	0	32,3	0,2	47,2
	25	2,8	5,9	0	0	0	0	0	2,7	0	41,7	0	1,1
	26	0	1,5	0,1	0	0	0	0	4,9	0	15,5	4,6	5,2
	27	1,8	6,5	0,2	0,2	0	0	0	0	0	1,7	1	19,7
	28	15,4	3,8	5,2	0	0,5	0	0	1,2	0	25,1	2,5	4,4
	29	0,1	0	0	0,1	1	0	0	5,2	2,3	0,9	0	6,9
	30	0,6	0	0,9	8,2	0	0	0	16,1	20,6	12,1	0,1	0,1
	31	3,4	0	0	0	0	0	0	0,1	0	8,8	0	0
Total Mensal		35,2	271,4	70,1	302,8	85,8	84,2	6,2	222,4	90,9	196,7	21,4	501
Total Anual		1888,1											

Quadro 19 | Precipitação diária, em mm, registrada em 2019 no posto udométrico das Fontinhas.

Quadro 20 | Valor mensal da precipitação acumulada, em mm, no posto udométrico das Fontinhas.

		Mês												
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
Ano	2015	32,4	18,4	0	0,4	10,6	44,9	59,1	69,7	89,7	137,2	123,5	229,9	815,8
	2016	283,2	13	85,1	109	61,6	48,1	37,8	33,7	30	146,4	44,9	144,3	1037,1
	2017	139,4	50,2	184,8	102,9	135,3	26,3	32,4	47,9	29	33,5	249,8	61,3	1092,8
	2018	55,7	109	189,4	348,5	22,8	13,7	27,5	19,3	63,3	5,6	4,7	0,4	859,9
	2019	35,2	271,4	70,1	302,8	85,8	84,2	6,2	222,4	90,9	196,7	21,4	501	1888,1

Quadro 21 | Valor anual da precipitação, em mm, acumulada no posto udométrico das Fontinhas.

		Precipitação Acumulada (anos)					Precipitação Total
Ano		2015	2016	2017	2018	2019	
Valor		815,8	1037	1093	859,9	1888	5693,7