PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento
Cartas de zonas inundáveis e de riscos de inundações

Relatório 1 – Riscos de galgamento e inundação costeira
Relatório 2 – Riscos de inundação fluvial
Relatório 3 – Reavaliação das zonas inundáveis para as áreas de risco definidas no 1.º ciclo de planeamento (2016-2021)

PGRIA

plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

UNIVERSIDADE DOS AÇORES

Gaspar Frutuoso

RISCO DE GALGAMENTO E INUNDAÇÃO COSTEIRA
Relatório 1

CARTAS DE ZONAS INUNDÁVEIS | CARTAS DE RISCOS DE INUNDAÇÕES

2020

AÇORES 2020 PROGRAMA OPERACIONAL FEDER FSE

GOVERNO DOS AÇORES

PORTUGAL 2020

UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO 5

2. SÍNTESE DA METODOLOGIA 7

2.1. Seleção da informação e dados utilizados para a determinação das áreas/faixas de galgamento e inundação costeira 7
2.2. Determinação de faixas de suscetibilidade e de risco de galgamento e inundação costeira para as áreas críticas 9
2.3. Produção de Cartografia de Risco 18

3. RESULTADOS 27

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS 40

5. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA 42

APÊNDICE – CARTAS DE SUSCETIBILIDADE (cenários) 44

ANEXO I – CARTAS DE SUSCETIBILIDADE AO GALGAMENTO E INUNDAÇÃO COSTEIRA (ESCALA 1:5000) 54

ANEXO II – CARTAS de risco AO GALGAMENTO E INUNDAÇÃO COSTEIRA (ESCALA 1:5000) 64

ÍNDICE FIGURAS

Figura 2.1 – Trabalhos de campo: área crítica galgamento e inundação costeira para São Roque, ilha de São Miguel. 19
Figura 2.2 – Trabalhos de campo: área crítica galgamento e inundação costeira para a Lagoa, ilha de São Miguel. 21
Figura 2.3 – Trabalhos de campo: área crítica galgamento e inundação costeira para a Ribeira Quente, ilha de São Miguel. 23
Figura 2.4 – Trabalhos de campo: área crítica galgamento e inundação costeira para São Roque do Pico, ilha do Pico. 25
Figura 2.5 – Registo de evento de galgamento e inundação costeira 15/12/2019: área crítica galgamento e inundação costeira para São Roque do Pico, ilha do Pico. 26
Figura 3.1 – Grau de suscetibilidade (m^2) ao galgamento e inundação costeira nas quatro zonas críticas. ... 27
Figura 3.2 – Áreas de suscetibilidade (m^2) ao galgamento e inundação costeira por zona crítica. 28
Figura 3.3 – Áreas associadas a cada grau de suscetibilidade (%) ao galgamento e inundação costeira por zona crítica..... 29
Figura 3.4 – Grau de risco (m^2) ao galgamento e inundação costeira nas quatro zonas críticas. 30
Figura 3.5 – Áreas de risco (m^2) ao galgamento e inundação costeira por zona crítica. 30
Figura 3.6 – Áreas associadas a cada grau de risco (%) ao galgamento e inundação costeira por zona crítica. 31
Figura 3.7 – Carta de suscetibilidade ao galgamento e inundação costeira para São Roque (São Miguel).... 33
Figura 3.8 – Carta de suscetibilidade ao galgamento e inundação costeira para a Lagoa (São Miguel). 34
Figura 3.9 – Carta de suscetibilidade ao galgamento e inundação costeira para a Ribeira Quente (São Miguel). 34
Figura 3.10 – Carta de suscetibilidade ao galgamento e inundação costeira para São Roque (Pico). 35
Figura 3.11 – Carta de riscos de galgamento e inundação costeira para São Roque (São Miguel). 36
Figura 3.12 – Carta de riscos de galgamento e inundação costeira para a Lagoa (São Miguel). 36
Figura 3.13 – Carta de riscos de galgamento e inundação costeira para a Ribeira Quente (São Miguel). 37
Figura 3.14 – Carta de riscos de galgamento e inundação costeira para São Roque (Pico). 37
Figura 3.15 – Carta de riscos de galgamento e inundação costeira para São Roque (São Miguel), com elementos expostos. 38
Figura 3.16 – Carta de riscos de galgamento e inundação costeira para a Lagoa (São Miguel), com elementos expostos. 38
Figura 3.17 – Carta de riscos de galgamento e inundação costeira para a Ribeira Quente (São Miguel), com elementos expostos. 39
Figura 3.18 – Carta de riscos de galgamento e inundação costeira para São Roque (Pico), com elementos expostos. 39

ÍNDICE TABELAS

Tabela 2.1 - Parâmetros utilizados na determinação das áreas de inundação e galgamento. 11
Tabela 2.2 – Rumos/direção da agitação consideradas e respetiva ponderação, utilizadas na determinação de faixas de vulnerabilidade ao galgamento e inundação costeira. 12
Tabela 2.3 – *Run-up* calculados com base nas expressões Holman, 1986; Mase, 1989; Stockdon *et al.,* 2006, utilizadas na determinação de faixas de vulnerabilidade ao galgamento e inundação costeira. 13
Tabela 2.4 – Ponderações do cálculo matricial usadas nos cenários. 14
Tabela 2.5 – Obtenção do grau de risco de galgamento e inundação costeira [(COS.A/2018 + Carta de Suscetibilidade) / 2]. 16
Tabela 3.1 - Resultados obtidos para as faixas de suscetibilidade ao galgamento e inundação costeira. 27
Tabela 3.2 - Resultados obtidos para as faixas de risco de galgamento e inundação costeira. 29

1. INTRODUÇÃO

A Secretaria Regional do Mar, Ciência e Tecnologia do Governo dos Açores, por intermédio da Direção Regional dos Assuntos do Mar, adjudicou por ajuste direto à Fundação Gaspar Frutuoso (FGF) a aquisição de serviços para a elaboração do estudo "*Avaliação de Riscos de Inundações – Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro, que transpõe a Diretiva 2007/60/CE, de 23 de outubro – Risco de Inundações Costeiras*", no âmbito dos trabalhos de elaboração do 2.º Ciclo do Plano de Gestão dos Riscos de Inundações da Região Autónoma dos Açores (PGRIA).

A Diretiva n.º 2007/60/CE, do Parlamento e do Conselho, de 23 de outubro, transposta para o direito nacional através do Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro, estabeleceu o quadro normativo para a avaliação e gestão dos riscos de inundações no espaço da União Europeia (UE) com vista a reduzir, adaptar e minimizar os efeitos negativos associados à ocorrência destes fenómenos (ambientais, económicos, patrimoniais, segurança de pessoa e bens, entre outros).

Estes diplomas determinam que todos os Estados-Membros devam proceder à elaboração dos instrumentos de avaliação e gestão dos riscos de inundações, prosseguindo uma análise faseada atendendo às seguintes etapas de desenvolvimento (Capítulo II do Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro):

- Avaliação preliminar das áreas de risco de inundações;
- Elaboração das cartas de zonas inundáveis para as áreas de risco;
- Elaboração das cartas de riscos de inundações;
- Elaboração de planos de gestão dos riscos de inundações, que concretizam as medidas e ações que visam a mitigação dos riscos identificados nas fases antecedentes.

O presente relatório formaliza a entrega dos trabalhos em curso do 2.º Ciclo de planeamento (2021 - 2026), especificando as metodologias e resultados finais apurados relativos às inundações costeiras para a Região Hidrográfica dos Açores (RH9), designadamente: "Cartas das zonas inundáveis para áreas de risco" (Fase 2 – critérios revistos) e "Cartas de riscos de inundações" (Fase 3 do procedimento contratualizado).

Neste seguimento, procedeu-se ao cálculo e à representação cartográfica do nível máximo do mar/extensão de galgamento e inundação costeira, considerando as condições oceanográficas, meteorológicas e outros dados de ponderação disponíveis,

estimados para um período de retorno de 100 anos, e à determinação dos riscos associados face à inventariação dos potenciais elementos expostos (descritos na legislação).

Afigura-se importante salientar que a Diretiva n.º 2007/60/CE aponta a seguinte recomendação: "*A fim de evitar duplicações de esforços, os Estados-Membros deverão ser autorizados a utilizar as avaliações preliminares dos riscos de inundações, as cartas de zonas inundáveis, as cartas de riscos de inundações e os planos de gestão dos riscos de inundações existentes, para que sejam cumpridos os objetivos e requisitos da presente diretiva*." Acresce que o diploma de adaptação desta diretiva ao regime nacional, aconselha também que "*a elaboração dos planos de gestão de riscos de inundações deve aproveitar os trabalhos já produzidos anteriormente* (…).

Em conformidade e, face à carência generalizada de informação para os Açores, impeditiva de assegurar a implementação de modelos com maior potencial preditivo (referenciados na literatura), mas que exigiam parâmetros de entrada até agora indisponíveis, foi analisado um conjunto estudos anteriormente desenvolvidos, designadamente os trabalhos do Plano de Gestão da Região Hidrográfica dos Açores (2016-2021).

Neste contexto, a determinação das áreas de galgamento e inundação costeira incidirão nos quatro segmentos identificados com críticos na Fase 1 – Avaliação Preliminar dos Riscos de Inundações:

- Frente marítima de São Roque/Cais do Pico (costa norte da ilha do Pico);
- Frente marítima de São Roque/Rosto de Cão (costa sul da ilha de São Miguel);
- Frente marítima de Lagoa (costa sul da ilha de São Miguel);
- Frente marítima de Ribeira Quente (costa sul da ilha de São Miguel).

2. SÍNTESE DA METODOLOGIA

De forma a garantir a coerência e a integridade do racional lógico estabelecido para a determinação dos perímetros de galgamento/inundação e da avaliação dos riscos associados, a abordagem metodológica seguida é apresentada, de forma sistematizada, neste capítulo, em conformidade com a estrutura de tarefas previstas no plano de trabalhos, nomeadamente:

1. Recolha e seleção de informação sobre as áreas de galgamento/inundação costeira;
2. Caracterização das áreas de ocorrência de galgamento/inundação costeira, considerando as quatro áreas críticas identificadas na avaliação preliminar;
3. Determinação de faixas de suscetibilidade e de risco, materializadas em peças escritas e desenhadas;
4. Produção cartográfica e análise de resultados.

2.1. Seleção da informação e dados utilizados para a determinação das áreas/faixas de galgamento e inundação costeira

De acordo com o relatório de Avaliação Preliminar dos Riscos de Inundações na Região Autónoma dos Açores, 2.º ciclo de Planeamento, a avaliação dos riscos de inundações costeiras teve por base a conjugação combinada das seguintes coberturas temáticas:

1. Áreas edificadas/rede viária;
2. Áreas de Prevenção de Riscos Naturais - Zonas Ameaçadas pelo Mar, incluídas no estudo “Reserva Ecológica Regional – Caracterização dos Perigos em termos de Recursos Naturais e delimitação das respetivas Áreas Vulneráveis a considerar no Ordenamento do Território da RAA” (E-RER, 2011);
3. Ocorrências de inundações costeiras.

O cruzamento espacial das diferentes coberturas temáticas permitiu identificar, numa aproximação preliminar, as áreas correspondentes às classes de risco de inundação costeira, tendo presente a seguinte chave de classificação (critérios de escalonamento dos riscos de inundações):

- **Risco baixo** – corresponde às Zonas Ameaçadas pelo Mar (Reserva Ecológica Regional – Caracterização dos Perigos em termos de Recursos Naturais e delimitação das respetivas Áreas Vulneráveis a considerar no Ordenamento do Território da RAA” (E-RER, 2011), não integradas em áreas

edificadas/rede viária e onde não há registo de ocorrências regulares de inundações/galgamentos costeiros;

- **Risco moderado** – corresponde às Zonas Ameaçadas pelo Mar (Reserva Ecológica Regional – Caracterização dos Perigos em termos de Recursos Naturais e delimitação das respetivas Áreas Vulneráveis a considerar no Ordenamento do Território da RAA" (E-RER, 2011), integradas em áreas edificadas/rede viária e onde não há registo de ocorrências regulares de inundações/galgamentos costeiros;

- **Risco elevado** - corresponde às Zonas Ameaçadas pelo Mar (Reserva Ecológica Regional – Caracterização dos Perigos em termos de Recursos Naturais e delimitação das respetivas Áreas Vulneráveis a considerar no Ordenamento do Território da RAA" (E-RER, 2011), integradas em áreas edificadas/rede viária e onde há registo de ocorrências regulares de inundações/galgamentos costeiros.

Para efeitos de seleção das zonas críticas de inundações costeiras, foi considerado o levantamento e seriação de ocorrências de "Risco elevado", segundo a relevância dos eventos reportados pelos diretores dos Parques Naturais e de outras entidades consultadas, através de uma escala de 1 a 3, sendo de máxima relevância as áreas de risco elevado suscetíveis a impactos potenciais na salvaguarda de pessoas e bens, designadamente em "edifícios sensíveis" (Artigo 2.º, alínea a), do Decreto-Lei nº 115/2010, de 22 de outubro):

- **Relevância 1** – Pequenos estragos nas vias públicas e taludes, resultantes de ocorrências ocasionais associadas a eventos de galgamentos costeiros, não sendo expectáveis danos em edifícios sensíveis;

- **Relevância 2** – Estragos moderados nas vias públicas, taludes e anexos de edificações, resultantes de ocorrências regulares associadas a eventos de galgamentos costeiros, não sendo expectáveis danos em edifícios sensíveis;

- **Relevância 3** – Perdas de vidas humanas e estragos avultados nas vias públicas, taludes e edificações, resultantes de ocorrências frequentes associadas a eventos de galgamentos e/ou inundações costeiras, sendo expectáveis danos em edifícios sensíveis.

Os critérios adotados ditaram a identificação de quatro zonas críticas de inundação costeira, cuja seleção residiu na relevância dos eventos de inundações/galgamentos costeiros, designadamente a perda de vidas humanas e os danos causados (reais ou potenciais), podendo estar em causa os eventuais impactos em "edifícios sensíveis" (Relevância 3).

Para responder aos objetivos de análise das áreas de galgamento e inundação costeira para as áreas críticas identificadas, foi solicitada/consultada a seguinte informação:

- Plano de Gestão de Risco de Inundações dos Açores – trabalhos/estudos de desenvolvimento do 2.º ciclo.
- Plano de Gestão da Região Hidrográfica dos Açores (PGRH 2016-2021).
- Informação cartográfica e outra documentação (.txt):
  - Registo histórico de eventos de galgamento e inundação costeira recentes;
  - Registo histórico de eventos extremos recentes (tempestades, agitação, etc.);
  - Modelo Digital do Terreno;
  - Batimetria local;
  - Cartas geológica e geomorfológica;
  - Cadastro de obras de defesa costeira e respetiva tipologia das obras;
  - Carta de ocupação do solo dos Açores – COS.A/2018;
  - Registos de agitação;
  - Registo de marés astronómicas e meteorológicas (*Storm Surge*).

2.2. Determinação de faixas de suscetibilidade e de risco de galgamento e inundação costeira para as áreas críticas

A determinação e avaliação das áreas/faixas de ocorrência e risco de galgamento e inundação costeira para as quatro áreas críticas teve em consideração a morfologia costeira e as estruturas de defesa costeira. Importa referir que esta tarefa tem como resultados dois produtos principais: a representação de **faixas de suscetibilidade;** a representação de **faixas de risco.**

De notar que a Diretiva n.º 2007/60/CE, ao contrário do que sucede para as cheias e inundações originadas em cursos de água, estabelece uma abordagem metodológica mais genérica para a avaliação das zonas de risco e áreas críticas de inundações costeiras. Tal resulta em alguma incerteza nas melhores práticas a desenvolver e na ponderação a atribuir a alguns critérios de base.

Não obstante, com base na experiência no desenvolvimento de avaliação de suscetibilidade, de risco e de delimitação de áreas de galgamentos e inundações

costeiras e, ainda, na ponderação dos diversos elementos abaixo descritos, foi aplicada uma aproximação metodológica que responde aos requisitos estabelecidos pela referida diretiva.

De acordo com os modelos conceptuais do risco, a sua obtenção depende da probabilidade de ocorrência/suscetibilidade e da exposição de pessoas e bens a um determinado fenómeno natural e antropogénico.

Faixas de suscetibilidade de inundação costeira

Para a determinação da suscetibilidade foi considerada uma metodologia adaptada às condições locais baseada em Coelho, (2005), Borges *et al*. (2014), testada na ilha do Pico e anteriormente aplicada com êxito noutros territórios (Palmer *et al.,* 2011 e Davies, 2012), e RISC-KIT (2015).

Assim, numa fase inicial foram considerados os seguintes parâmetros:

- Topografia;
- Geologia;
- Geomorfologia (praias/tipo de arribas/vertentes costeiras);
- Exposição à ondulação e tempestades;
- Altura de onda significativa;
- Amplitude de maré;
- *Runup* máximo (cota máxima de espraiamento);
- Área de inundação/distância à linha de costa;
- Existência de estruturas de defesa costeiras;
- Uso do solo.

Contudo, após análise do acervo documental, ficou patente que a metodologia inicialmente prevista deveria ser reformulada. Assim, com base nos dados consultados/disponíveis, os parâmetros utilizados na determinação das faixas de inundação e galgamento são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Parâmetros utilizados na determinação das áreas de inundação e galgamento.

Dados/informação fornecida	Parâmetros	Observação
Registo histórico de eventos de galgamento e inundação costeira recentes	Inventário de eventos	Análise da localização dos galgamentos, dano provocado e probabilidade de ocorrência. Registo do número de ocorrências reduzido; descrição dos danos e áreas afetadas pouco detalhada, não possibilitante a identificação de pontos com maior potencial de galgamento e inundação nem a respetiva extensão.
Registo histórico de eventos extremos recentes (tempestades, agitação, etc.)	Inventário de eventos	Análise das condições de agitação marítima (Altura de onda, período e rumo), com a ou não ocorrência de galgamento e inundação. Registo do número de eventos extremos reduzido, com descrição dos danos e áreas afetadas pouco detalhada. Falta de um catálogo ou série temporal de eventos extremos que possibilitaria a definição uma "tempestade de projeto".
Modelo Digital do Terreno	Topografia, Declive, Exposição da agitação	Dados topográficos constantes na cartografia 1:5000.
Batimetria local	Exposição da agitação	Dados batimétricos escassos, resultando em modelos digitais pouco representativos do estudo da aproximação da agitação à costa.
Cadastro de estruturas de defesa costeira e respetiva tipologia das obras	Estruturas de defesa e infraestruturas portuárias	Tipologia de obra e material utilizados. Reduzida informação sobre as infraestruturas de defesa costeira e portuária, em particular aspetos construtivos como a implantação, inclinação de taludes, materiais utilizados nos taludes internos e externos destas infraestruturas.
Carta de ocupação do solo dos Açores – COS.A/2018	Usos do solo	As classes do nível III da COS.A/2018, tendo em consideração o nível de detalhe do presente trabalho, são muito abrangentes, como por exemplo, a subclasse "rocha nua", que inclui tanto zonas rochosas naturais ou construídas (infraestruturas de defesa), influenciando de modo significativo os resultados dos graus de risco obtidos, pelo que para o presente trabalho seria necessário um nível de detalhe das categorias da COS.A/2018 ainda mais pormenorizado do que o existente atualmente. .
Registos de agitação	Análise da altura significativa da onda, período médio e rumo dominante da agitação, *run-up*	Utilizados relatórios e análise de registos de agitação de curta duração. Falta de séries temporais de agitação com um período superior a 30 anos
Registo de marés astronómicas e meteorológicas (*Storm Surge*)	Considerada amplitude e maré 2m e maré meteorológica 0.5m	Não existe informação.
Linha de Costa	Determinação da distância à linha de costa: 10m, 20m, 30m e 100m	Cartografia topográfica (cota zero)

Cada um destes parâmetros foi classificado de acordo com uma escala que varia entre "muito baixo" (0) e "muito alto" (8), recorrendo a análise de imagens de satélite, análise de mapas de tipologia costeira e topografia, bem como ao geoprocessamento em aplicações de cartografia digital.

A topografia é um dos principais aspetos na avaliação da suscetibilidade da zona

costeira. Neste trabalho foi adotada uma classificação de altitudes dividida em cinco categorias: >25 metros, “muito baixa” (0); entre 25 – 15, “baixa” (2); entre 15-10, “moderada” (4); entre 10-5, “alta” (6); e <5 metros, “muito alta” (8).

Quanto ao declive, um dos parâmetros importantes no que toca ao *run-up*, foi adotada uma classificação dividida em cinco categorias (em graus): >60º, “muito baixo” (0); entre 60º – 40º, “baixa” (2); entre 40º-20º, “moderada” (4); entre 20º-10º, “alta” (6); e <10º, “muito alta” (8).

No que respeita à exposição costeira à agitação dominante, em particular durante eventos extremos (tempestades), foi determinada a orientação da zona costeira e a orientação batimétrica, tendo sido correlacionado com os rumos de agitação a que cada área critica em análise está exposto. Os rumos/direções foram classificados e atribuídos fatores de ponderação para cada uma das áreas de estudo de acordo com a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Rumos/direção da agitação consideradas e respetiva ponderação, utilizadas na determinação de faixas de vulnerabilidade ao galgamento e inundação costeira.

Local	Rumo/ Direção (º)							
	N (337,5-22,5)	NE (22,5-66,5)	E (66.5-112.5)	SE (112.5-157.5)	S (157.5-202.5)	SW (202.5-247.5)	W (247.5-297.5)	NW (297.5-337.5)
São Roque – São Miguel	0	0	6	8	8	8	4	0
Lagoa	0	0	4	8	8	8	8	0
Ribeira Quente	0	0	6	8	8	8	4	0
São Roque do Pico - Pico	6	2	4	8	0	0	6	8

Relativamente à altura de onda significativa e amplitude de maré (astronómica e meteorológica) foram analisados os registos históricos de agitação e de marés disponíveis e de ocorrência de eventos extremos. No entanto, os dados reportam a registos de curta duração, pelo que se considerou as alturas de ondas significativas dos eventos extremos.

Nestes termos, o cálculo do *run-up* máximo foi desenvolvido tendo em conta os valores de altura significativa de 9m, com períodos entre os 10-13s, sendo utilizadas diferentes formulações (Holman, 1986; Mase, 1989; Stockdon *et al*., 2006).

Tabela 2.3 – *Run-up* calculados com base nas expressões Holman, 1986; Mase, 1989; Stockdon *et al.*, 2006, utilizadas na determinação de faixas de vulnerabilidade ao galgamento e inundação costeira.

Parâmetros de base				*Run-up* máximo				
T (s)	Hs (m)	Preia-Mar (m)	Sobrelevação (m)	Mase (1989) / (m)	Holman (1986) / (m)	Holman (1986) / (m)	Stockdon *et al.*, (2006) / (m)	Média (m)
10	9	2	0,5	20,6	12,0	12,6	12,5	15,2
11	9	2	0,5	21,9	12,8	13,5	13,5	16,3
12	9	2	0,5	23,1	13,5	14,3	14,5	17,3
13	9	2	0,5	24,3	14,3	15,1	15,5	18,3

Ao resultado obtido foi adicionado o valor de praia mar de águas vivas (2m) e a sobrelevação da maré meteorológica (0,5m). Assim, foi atribuída a seguinte classificação de *run-up* com base na cota máxima: >20m, “muito baixa” (0); entre 20m – 15m, “baixa” (2); entre 15m – 10m, “moderada” (4); entre 10m – 5m, “alta” (6); e <5, “muito alta” (8).

Outro parâmetro considerado foi a distância à linha de costa. A área de inundação foi calculada numa faixa de 100 metros para terra, uma vez que este valor corresponde à distância modal de máxima penetração em terra para tempestades costeiras (Borges e Andrade, 1999).

Neste trabalho foi atribuído os seguintes fatores de ponderação quanto à distância da linha de costa: > 100m, “muito baixa” (0); entre 100-30m, “baixa” (2); entre 30 - 20m, “moderada” (4); entre 20-10m, “alta” (6); e <10m, “muito alta” (8).

Quanto às infraestruturas de defesa costeiras, a sua função é a proteção da costa e, consequentemente, a redução da suscetibilidade da faixa onde se encontram. Neste fator foram tidos em consideração: a configuração da estrutura de defesa ou portuária, nomeadamente perfil/declive, materiais de construção/rugosidade, largura da berma, direção da onda incidente (RISC-KIT, 2015).

Contudo, a caracterização das estruturas de defesa costeira carece de pormenorização tendo sido adotada a seguinte classificação: infraestruturas de defesa costeira ou portuária com taludes suaves, com manto de grande porosidade, em enrocamento/tetrápodes/antifer, “baixa” (2); muros verticais, “moderada” (4).

As grelhas obtidas foram reclassificadas, de acordo com a metodologia definida. Utilizando estes dados raster/matriciais (topografia, declive, exposição, *run-up*, infraestruturas de defesa e portuárias e distância à linha de costa/limite curva de nível 25m) através da soma dos diversos parâmetros e posterior divisão pelo número de nível de ponderação utlizados (6), foi determinado o grau de suscetibilidade para os quatro cenários, tendo em consideração as ponderações definidas na Tabela 2.4: “muito baixa”

(0); “baixa” (2); “moderada” (4); “alta” (6); e “muito alta” (8).

Tabela 2.4 – Ponderações do cálculo matricial usadas nos cenários.

Cenário	Variação Parâmetros							
	Peso Variáveis (%)						Limite curva Nível 25m	Limite faixa 100m para interior terra
	Topografia	*Runup*	Declive	Exposição	Estruturas costeiras	Distancia à linha de costa		
1	16,6(6)	16,6(6)	16,6(6)	16,6(6)	16,6(6)	16,6(6)	Não	Sim
2	60	-	10	10	10	10	Sim	Não
2A	60	-	10	10	10	10	Sim	Sim
3	20	-	20	20	20	20	Sim	Não
3A	20	-	20	20	20	20	Sim	Sim

Seguidamente, os resultados dos cinco cenários foram reclassificados obtendo-se o grau de suscetibilidade:

- “Muito baixa” (0) = Suscetibilidade Nula;
- “Baixa” (2) = Suscetibilidade Baixa;
- “Moderada” (4) = Suscetibilidade Moderada;
- “Elevada” (6) e “Muito Elevada” (8) = Suscetibilidade Elevada.

Os resultados obtidos foram submetidos à apreciação da Direção Regional dos Assuntos do Mar e da Direção Regional do Ambiente que, após análise, selecionou o Cenário 2 por considerar que é o que melhor representa o observado no terreno em termos de galgamentos e inundações das áreas em análise (**Apêndice**). De referir que foi feita uma análise aos resultados obtidos, Cenário 2, e com base em observações efetuadas no levantamento de campo foram realizados pequenos reajustamentos às áreas de suscetibilidade obtidas.

Faixas de risco de inundação costeira

Para a determinação das faixas de risco de galgamentos e inundações costeiras, para as quatro áreas críticas identificadas, no âmbito da determinação da probabilidade, tendo em conta um período de retorno de 100 anos, foi considerada uma altura de onda significativa de 9m e um período entre os 10-13s.

Com efeito, adaptou-se a metodologia de Coelho (2005), quanto à definição dos parâmetros de exposição ao risco, tendo em consideração quatro grupos:

- **Exposição humana** – Quantificada em função da densidade populacional das áreas em estudo. Áreas de maior densidade populacional terão maior risco. A sazonalidade também é fator importante a incorporar;

- **Exposição económica** – Quantificada em função das atividades e número de estabelecimento afetos a atividades económicas (turismo, pesca, agricultura, zonas portuárias, entre outros);

- **Exposição ambiental** – O património ecológico deve ser mantido. As alterações das características das zonas costeiras devem ser avaliadas considerando os ecossistemas costeiras ameaçados ou não pela ocorrência de eventos extremos;

- **Exposição patrimonial** – À semelhança do património ecológico, o património cultural deve ser mantido, dado que representa a história e a cultura de uma região (faróis, fortificações de defesa, infraestruturas industriais, entre outros).

Assim, na avaliação de risco foram cruzadas as faixas de galgamento e inundação preliminares obtidas a Carta de Ocupação do Solo da Região Autónoma dos Açores de 2018 (COS.A/2018), considerando a seguinte nomenclatura de classificação:

- Zonas de rocha nua (sem infraestruturas ou tecido urbano na envolvente) foram consideradas com “exposição nula” (0);
- Florestas e vegetação, com exposição “baixa” (2);
- Galerias ripícolas, zonas agrícolas, com exposição “moderada” (4);
- Equipamentos desportivos, culturais, turísticos e de lazer, com exposição “elevada “(6);
- Zonas de rocha nua (com infraestruturas/obras de defesa aderente adjacentes a tecido urbano), indústria, comércio, equipamentos gerais e infraestruturas, tecido urbano, infraestruturas costeiras e infraestruturas portuárias, com exposição “muito elevada” (8).

Com base no cruzamento da COS.A/2018 e da Carta de Suscetibilidade obtida foi determinado o risco de galgamento e inundação costeira.

De notar que, conforme explícito na metodologia acima descrita, para a delimitação das zonas inundáveis e das faixas de risco, optou-se por não considerar exclusivamente como base os elementos expostos para a delineação das zonas/faixas de risco, por se considerar que poderia ser redutora para a determinação das áreas efetiva e realmente inundáveis a partir do momento que não cruzassem com elementos considerados expostos/sensíveis na aceção do n.º 1 do artigo 8.º do Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro.

Tabela 2.5 – Obtenção do grau de risco de galgamento e inundação costeira [(COS.A/2018 + Carta de Suscetibilidade) / 2].

			Suscetibilidade			
			Nula	Baixa	Moderada	Elevada
		Ponderação	1	2	3	4
Ocupação solo (COS-A 2018)	Zonas de rocha nua (sem infraestruturas ou tecido urbano na envolvente) foram consideradas com exposição nula	0	0.5	1	1.5	2
	Florestas e vegetação, vegetação herbácea, com exposição baixa	2	1.5	2	2.5	3
	Galerias ripícolas, zonas agrícolas, com exposição moderada	4	2.5	3	3.5	4
	Equipamentos desportivos, culturais, turísticos e de lazer, com exposição elevada	6	3.5	4	4.5	5
	Rocha nua (infraestruturas – obras de defesa aderente – adjacentes a tecido urbano), indústria, comércio, equipamentos gerais e infraestruturas, tecido urbano, infraestruturas costeiras e infraestruturas portuárias, com exposição muito elevada	8	4.5	5	5.5	6

Grau de Risco	
0 - <1	Nulo
1 - <3	Baixo
3 - <5	Moderado
> 5	Elevado

Grau de Risco	
0 - <1	Nulo
1 - <3	Baixo
3 - <5	Moderado
> 5	Elevado

Assim, optou-se por considerar a ocupação de solo da COS.A/2018, dando particular relevância ao solo urbano e às infraestruturas costeiras, por se considerar que a prevenção do risco e da exposição é fundamental ao longo de toda a zona costeira, em particular nas faixas de risco associadas ao nível "elevado". Ou seja, mesmo que atualmente naquelas faixas existam elementos expostos (classificados de acordo com o n.º 1 do artigo 8.º do Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro), considerando que o uso do solo naquelas zonas é urbano e presença de infraestruturas costeiras, existe potencial significativo de instalação futura de elementos expostos nessas zonas, em

particular edifícios sensíveis, prevenindo desta forma o aumento da exposição de pessoas e bens.

Não obstante, e em conformidade com o referido n.º 1 do artigo 8.º do Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro, após a identificação das zonas inundáveis e faixas de risco, foi cruzada a informação geográfica referente a esses elementos, designadamente:

- Número indicativo de habitantes potencialmente afetados:
  - Apresentado de forma descritiva no Capítulo 3;
- Edifícios sensíveis, designadamente (apresentados, sempre que existentes, na cartografia 1:5000):
  - Escolas;
  - Hospitais e centros de saúde;
  - Instalações de agentes de emergência de proteção civil;
  - Estabelecimentos de hotelaria tradicional;
  - Infraestruturas portuárias e respetivos serviços, atividades e estruturas associadas;
- Tipo de atividade económica da zona potencialmente afetada, nomeadamente atividades agrícolas, industriais:
  - Apresentado de forma descritiva no Capítulo 3;
- Serviços considerados fundamentais, tais como infraestruturas de abastecimento público de água e infraestruturas rodoviárias e ferroviárias, consideradas críticas, e património cultural nacional e mundial (apresentados, sempre que existentes, na cartografia 1:5000), designadamente:
  - Captações, furos, reservatórios e estações de tratamento de água;
- Instalações referidas no anexo i do Decreto-Lei n.º 173/2008, de 26 de agosto, revogado pelo Decreto-Lei n.º 127/2013, de 30 de agosto, com adaptação à RAA pelo Decreto Legislativo Regional n.º 30/2010/A, de 15 de novembro que possam causar poluição acidental em caso de inundações (apresentadas, sempre que existentes, na cartografia 1:5000);
- Zonas protegidas identificadas nas subalíneas i), ii) e iv) da alínea jjj) do artigo 4.º da Lei da Água, potencialmente afetadas (apresentadas, sempre que existentes, na cartografia 1:5000), designadamente:

- As zonas designadas por normativo próprio para a captação de água destinada ao consumo humano ou a proteção de espécies aquáticas de interesse económico;

- As massas de água designadas como águas de recreio, incluindo zonas designadas como zonas balneares;

- As zonas designadas para a proteção de habitats e da fauna e da flora selvagens e a conservação das aves selvagens em que a manutenção ou o melhoramento do estado da água seja um dos fatores importantes para a sua conservação, incluindo os sítios relevantes da rede Natura 2000 (apresentadas, sempre que existentes, na cartografia 1:5000);

↗ Estabelecimentos abrangidos pelo Decreto-Lei n.º 254/2007, de 12 de julho, revogado pelo Decreto-Lei n.º 150/2015, de 5 de agosto, que estabelece o regime de prevenção de acidentes graves que envolvam substâncias perigosas e de limitação das suas consequências para o homem e o ambiente (apresentados, sempre que existentes, na cartografia 1:5000).

Foi com base nestes critérios e metodologias que se formaliza neste relatório final a delimitação das faixas de suscetibilidade e de riscos de galgamentos/inundações costeiras para as áreas críticas (cartografia à escala 1:5000).

2.3. Produção de Cartografia de Risco

Com base nos resultados obtidos na etapa anterior, foram desenvolvidas análises complementares e realizados trabalhos de campo com o objetivo de verificar no terreno a adequabilidade dos resultados, em particular de modo a despistar algum tipo de erros e desatualização da cartografia e da informação de base (ex: altimetria, delimitação de áreas ocupadas por edificações/ocupação humana, verificação do estado de conservação de estruturas de defesa costeira e de processos erosivos, verificação de locais de galgamentos recentes e avanço de águas do mar, entre outros.) As fotografias seguintes ilustram alguns pontos críticos e detalhes identificados nos levantamentos de terreno.

Zona Avenida do Mar

Zona Avenida do Mar - Forno da Cal

Zona Avenida do Mar – Praia de São Roque

Zona Igreja São Roque – Praia das Milícias

Figura 2.1 – Trabalhos de campo: área crítica galgamento e inundação costeira para São Roque, ilha de São Miguel.

Zona Portinho de São Pedro – Rua Calhau da Areia e Porto dos Carneiros

Zona Porto dos Carneiros – Piscinas da Lagoa

Zona Loteamento da Relvinha – Rua dos Biscoitos

Zona Rua dos Biscoitos – Baía de Santa Cruz (Avenida do Mar)

Zona Baía de Santa Cruz – Avenida do Mar

Figura 2.2 – Trabalhos de campo: área crítica galgamento e inundação costeira para a Lagoa, ilha de São Miguel.

Zona Praia do Fogo

Zona Praia do Fogo

Zona Rua da Trincheira

Zona Porto da Ribeira Quente e foz da Ribeira Quente

Figura 2.3 – Trabalhos de campo: área crítica galgamento e inundação costeira para a Ribeira Quente, ilha de São Miguel.

Zona Piscinas de Santo António

Zona Porto de São Roque do Pico – Rua do Cais (ER1)

Zona Porto de São Roque do Pico – Rua do Cais (ER1)

Zona balnear

Zona Avenida do Mar

Figura 2.4 – Trabalhos de campo: área crítica galgamento e inundação costeira para São Roque do Pico, ilha do Pico.

De notar que ainda durante o período de elaboração do presente relatório, foram registados eventos de galgamentos e inundações costeiras no dia 15 de dezembro de 2019 (comprovado pelo registo fotográfico apresentado na Figura 2.5) na zona da Avenida do Mar de São Roque do Pico, que resultaram em estragos em muros de proteção e infraestrutura rodoviária com transporte de sedimentos e materiais rochosos de granulometrias de dimensão média a grande. Para além dos registos anteriores, esta ocorrência vem validar as faixas de risco propostas para essa zona.

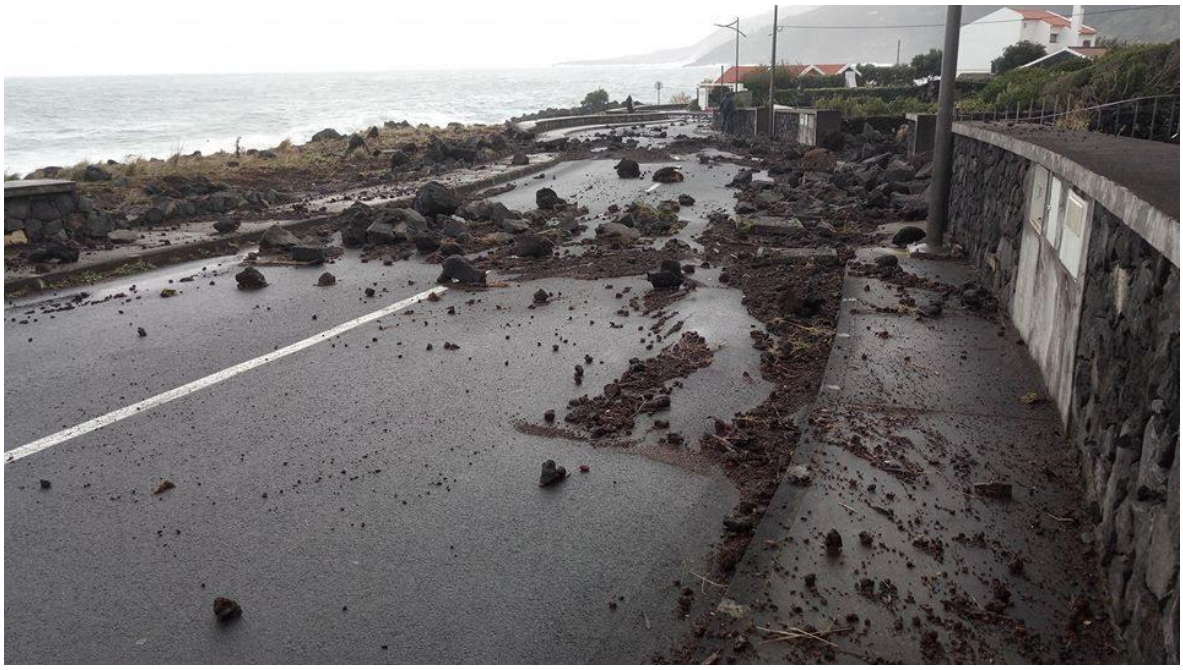


Figura 2.5 – Registo de evento de galgamento e inundação costeira 15/12/2019: área crítica galgamento e inundação costeira para São Roque do Pico, ilha do Pico.

Para a determinação das faixas de suscetibilidade e de risco foi utilizado o ARCGIS, recorrendo às funções cálculo de álgebra matricial obtendo faixas de risco para o **Cenário 2**.

Após a validação no terreno dos resultados obtidos, foram realizados alguns ajustes às faixas de suscetibilidade e de risco, e foi desenvolvida a **cartografia, na sua versão final, à escala 1:5000, com a delimitação das faixas de suscetibilidade e riscos** (Anexos I e II, respetivamente) **de galgamentos e/ou inundações costeiras para as áreas críticas** identificadas na avaliação preliminar, tendo em consideração os parâmetros definidos e a metodologia apresentada anteriormente.

A cartografia final é representada em mapas elaborados e apresentados no presente relatório final.

3. RESULTADOS

Considerando todos os constrangimentos anteriormente reportados, no que toca à qualidade e quantidade de informação e dados geográficos disponíveis, tornou-se indispensável ajustar a metodologia para obter produtos fiáveis e coerentes com as particularidades do território em estudo.

Os resultados obtidos para as **faixas de suscetibilidade ao galgamento e inundação costeira** para o cenário selecionado são apresentados na Tabela 3.1, na Figura 3.1 a Figura 3.3 e na Figura 3.7 a Figura 3.10 (no subcapítulo 3.1), sendo apresentadas com escala 1:5000 no Anexo I.

Tabela 3.1 - Resultados obtidos para as faixas de suscetibilidade ao galgamento e inundação costeira.

	São Roque São Miguel		Lagoa São Miguel		Ribeira Quente São Miguel		São Roque do Pico	
Classe	**Área m²**	**%**	**Área m²**	**%**	**Área m²**	**%**	**Área m²**	**%**
Nula	4 269	0.9%	2 286	4.6%	10 717	13.3%	23	0.0%
Baixa	156 614	31.9%	5 564	11.1%	14 367	17.8%	169 167	25.3%
Moderada	252 684	51.4%	17 392	34.7%	10 300	12.7%	263 367	39.3%
Elevada	77 771	15.8%	24 941	49.7%	45 490	56.2%	237 330	35.4%
Total	**491339**	**100%**	**50183**	**100%**	**80874**	**100%**	**669887**	**100%**

Da análise dos dados obtidos verifica-se que a área que apresenta uma percentagem mais elevada nas classes de suscetibilidade moderada+elevada é São Roque - São Miguel, e a que apresenta menor representação nestas mesmas classes é a Ribeira Quente – São Miguel (Figura 3.1 e Figura 3.3).

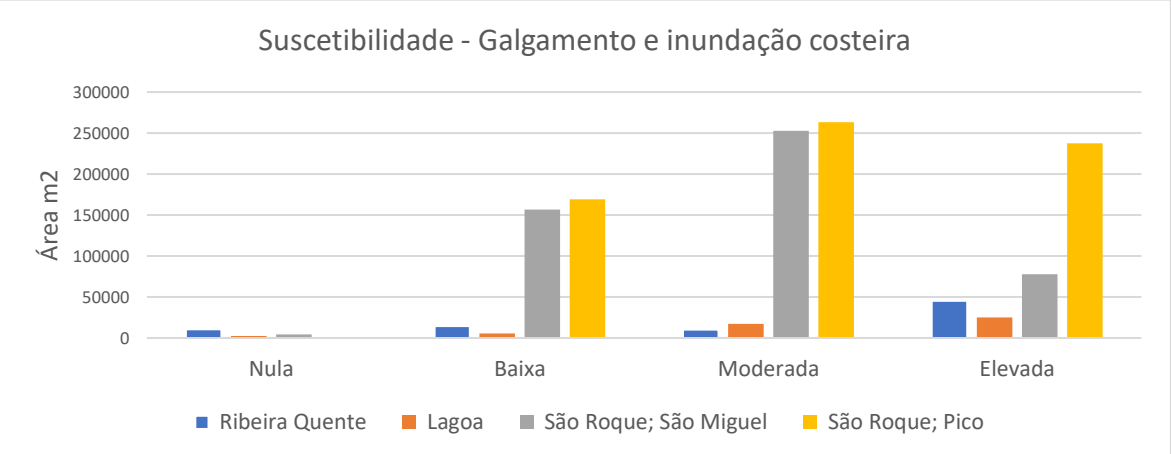


Figura 3.1 – Grau de suscetibilidade (m²) ao galgamento e inundação costeira nas quatro zonas críticas.

De acordo com a análise efetuada e dos trabalhos de campo realizados, verifica-se que as áreas críticas de São Roque, ilha de São Miguel, e São Roque, ilha do Pico, apresentam áreas significativas com grau de suscetibilidade moderado (51,4% e 39,3%) e elevado (15,8% e 35,4%), respetivamente. De salientar que a área com grau de suscetibilidade nula em São Roque, ilha de São Miguel, é residual. No que respeita à Ribeira Quente verifica-se que a suscetibilidade de grau elevado e moderado apresentam valores de 56,2% e 12,7%, respetivamente.

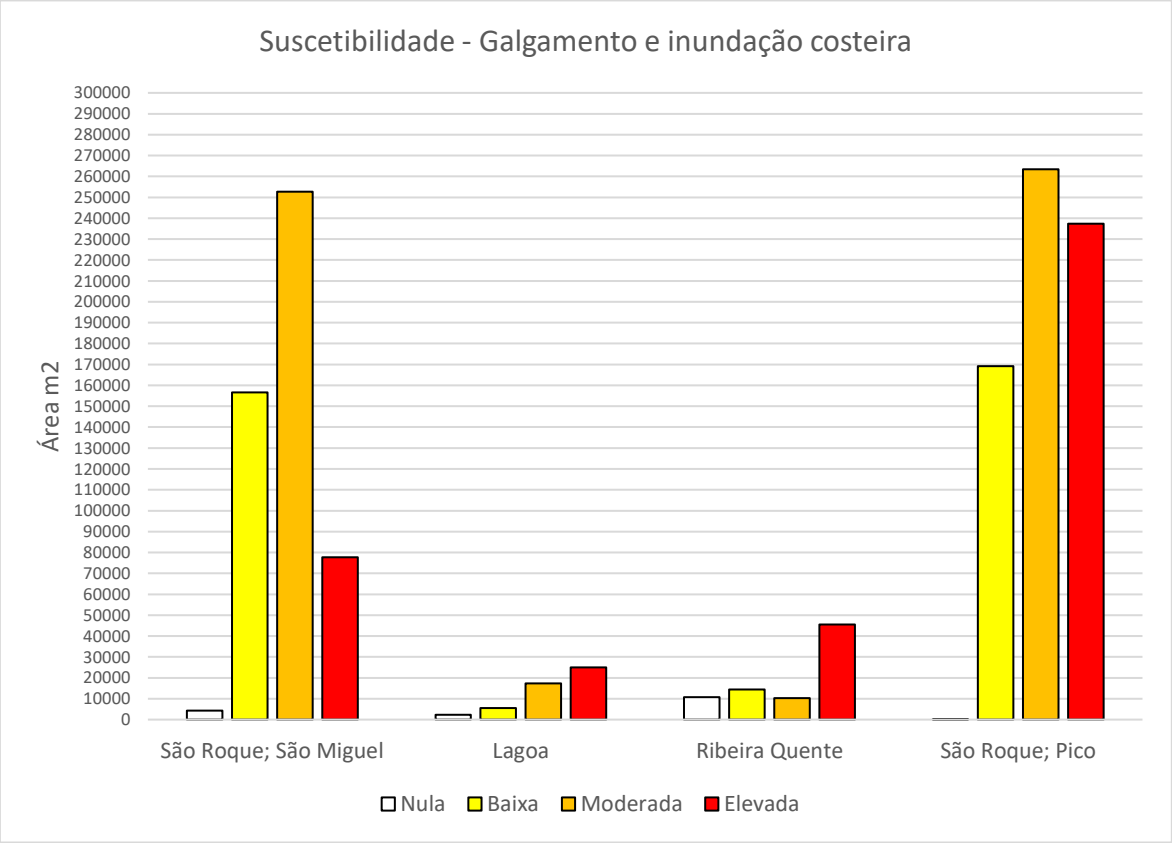
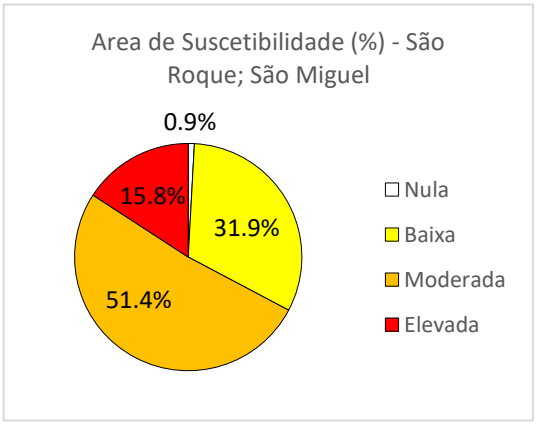
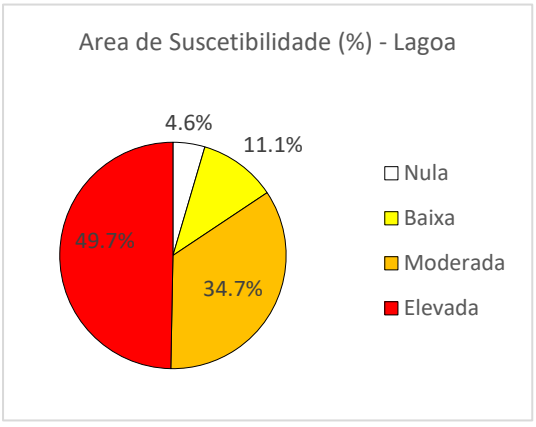


Figura 3.2 – Áreas de suscetibilidade (m²) ao galgamento e inundação costeira por zona crítica.





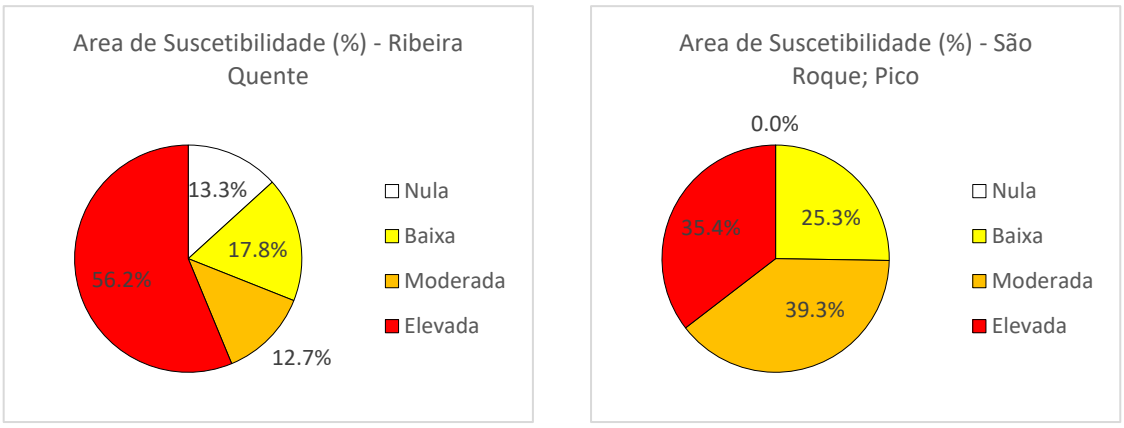


Figura 3.3 – Áreas associadas a cada grau de suscetibilidade (%) ao galgamento e inundação costeira por zona crítica.

Os resultados obtidos para **as faixas de risco de galgamento e inundação costeira** são apresentados na Tabela 3.2 e na Figura 3.4 a Figura 3.6 e na Figura 3.11 a Figura 3.14 (no subcapítulo 3.2), sendo apresentadas com escala 1:5000 no Anexo II.

Tabela 3.2 - Resultados obtidos para as faixas de risco de galgamento e inundação costeira.

	São Roque São Miguel		Lagoa São Miguel		Ribeira Quente São Miguel		São Roque do Pico	
Classe	**Área m²**	**%**	**Área m²**	**%**	**Área m²**	**%**	**Área m²**	**%**
Nulo	7320	1.5%	2264	4.6%	10643	13.2%	0	0.0%
Baixo	173372	35.9%	4491	9.1%	4211	5.2%	335691	51.7%
Moderado	234864	48.7%	22795	46.2%	21548	26.7%	164067	25.3%
Elevado	66842	13.9%	19742	40.1%	44205	54.8%	149644	23.0%
Total	**482 398**	**100,0%**	**49 292**	**100,0%**	**80 607**	**100,0%**	**649 401**	**100,0%**

Da análise realizada conclui-se que a área critica que apresenta uma percentagem mais elevada nas classes de risco moderada+elevada é Lagoa, ilha de São Miguel, e a que apresenta menor percentagem nestas mesmas classes é a São Roque – São Miguel (Figura 3.4 e Figura 3.6).

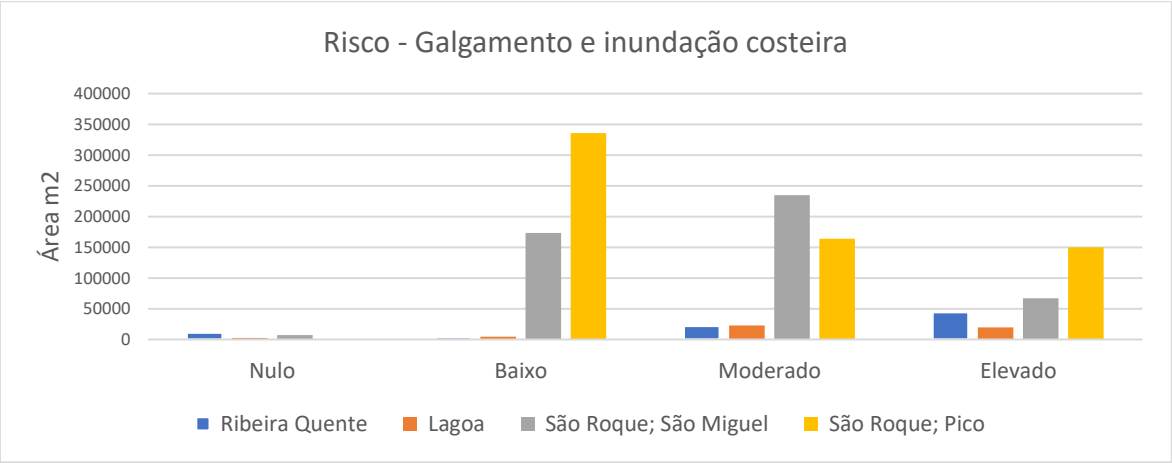


Figura 3.4 – Grau de risco (m²) ao galgamento e inundação costeira nas quatro zonas críticas.

De acordo com a Figura 3.5 e 3.6 e analisando apenas o grau de risco elevado as áreas críticas que apresentam menor valor são a São Roque – São Miguel e São Roque do Pico com 13,9 % e 23,0%, respetivamente. De referir que as áreas críticas Lagoa e da Ribeira Quente apresentam uma percentagem de grau de risco moderado, 46,2% e 26,7%, e para o grau de risco elevado uma percentagem 40,1% e 54,8% respetivamente, da área total considerada para cada zona critica.

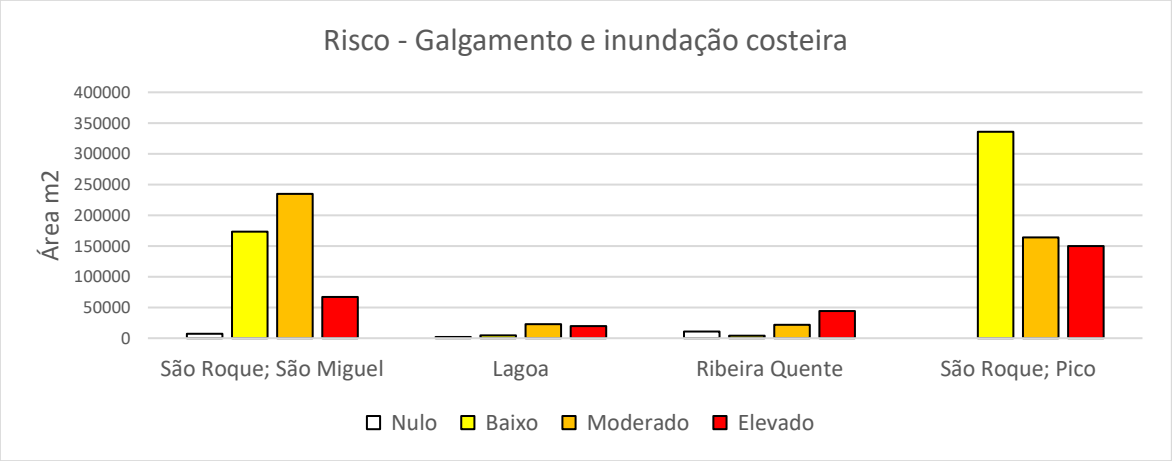


Figura 3.5 – Áreas de risco (m²) ao galgamento e inundação costeira por zona crítica.

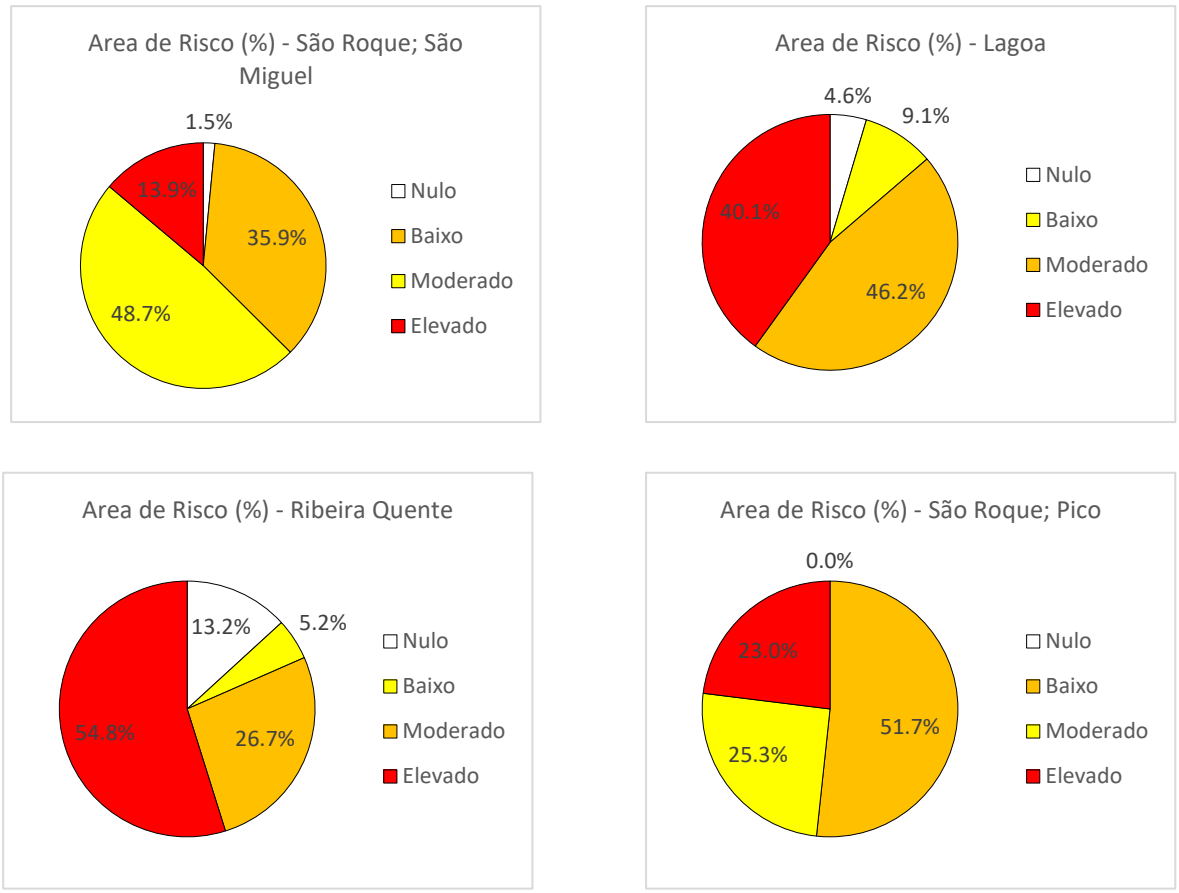


Figura 3.6 – Áreas associadas a cada grau de risco (%) ao galgamento e inundação costeira por zona crítica.

Ao nível da população potencialmente afetada pelos galgamentos e inundações costeiras, efetuado o cruzamento dos limites das subseções estatísticas da Base Geográfica de Referenciação da Informação (BGRI) do Instituto Nacional de Estatística (2011) com os polígonos das áreas de risco classificadas com os níveis "moderado + elevado", observa-se que zona crítica de São Roque (São Miguel) apresenta o potencial mais elevado, situando-se na ordem dos 3003 habitantes. Nas restantes zonas críticas os valores estimados são muito menos expressivos: Lagoa (São Miguel), 754 habitantes; Ribeira Quente (São Miguel), 367 habitantes; São Roque (Pico), 584 habitantes.

No que respeita ao tipo de atividade económica das zonas potencialmente afetadas:

- **São Roque (São Miguel):** na faixa identificada na cartografia como zona inundável, localizam-se essencialmente atividades de comércio e serviços (incluindo restauração e serviços postais). Destaca-se nesta faixa ainda a existência de atividades e elementos que potenciam também a atividade económica ao nível do comércio e serviços, designadamente a existência de zonas de lazer (Avenida do Mar com restauração, ciclovia e zona de prática de

exercício físico (cainha e equipamentos urbanos em zona verde) e zonas balneares, nomeadamente: Forno da Cal (classificada como águas balneares no âmbito da Portaria n.º 141/2019, de 14 de maio) e outras áreas balneares (não classificadas, mas com uso balnear, como é o caso da Praia de São Roque), que apesar de se encontraram já no limite adjacente, mas fora da zona crítica, potenciam a ocupação e usufruto da zona crítica

- **Lagoa (São Miguel):** a faixa identificada na cartografia como zona inundável é constituída essencialmente por áreas residenciais, sendo que adjacente (mas exterior) ao seu extremo oeste existem algumas instalações associadas a atividades e desportos náuticos de recreio e uma zona balnear – Piscinas Naturais da Lagoa (classificada como água balnear no âmbito da Portaria n.º 141/2019, de 14 de maio), mas que cuja frequência não tem implicações na ocupação temporária da área crítica identificada.

- **Ribeira Quente (São Miguel):** a faixa identificada na cartografia como zona inundável é constituída essencialmente por uma área residencial ao longo da faixa costeira com um estabelecimento de restauração. O extremo oeste adjacente à faixa é totalmente ocupado por uma zona balnear (Praia do Fogo – classificada como água balnear no âmbito da Portaria n.º 141/2019, de 14 de maio), com bastante afluência durante a época balnear e respetivos apoios (incluindo estabelecimento comercial de restauração), pelo que, apesar de estar fora da área crítica, o seu usufruto implica uma ocupação temporária com alguma significância de grande parte da zona crítica (estacionamentos).

- **São Roque do Pico (Pico):** para além de área residencial, são abrangidas ao longo da faixa de risco diversas atividades económicas, desde comércio e serviços (restauração, farmácias, postos de correios, comércio diversificado). No limite a norte exterior à faixa localiza-se o Parque de Combustíveis e a zona portuária - infraestrutura portuária de Classe B - com as respetivas infraestruturas, atividades e serviços, associados quer à atividade piscatória, quer de transporte de cargas, quer de passageiros. De notar, igualmente, que ao longo da zona inundável localizam-se diversas áreas balneares (sendo duas delas identificadas como associadas a águas balneares classificadas no âmbito da Portaria n.º 141/2019, de 14 de maio: Piscina do Cais, Poças de São Roque), algumas com os respetivos apoios, e em alguns casos com pequenos estabelecimentos comerciais de restauração.

3.1. Cartas de Suscetibilidade ao Galgamento e Inundação Costeira

As figuras seguintes apresentam graficamente as cartas com as faixas das zonas inundáveis propostas preliminarmente para as zonas críticas em análise.

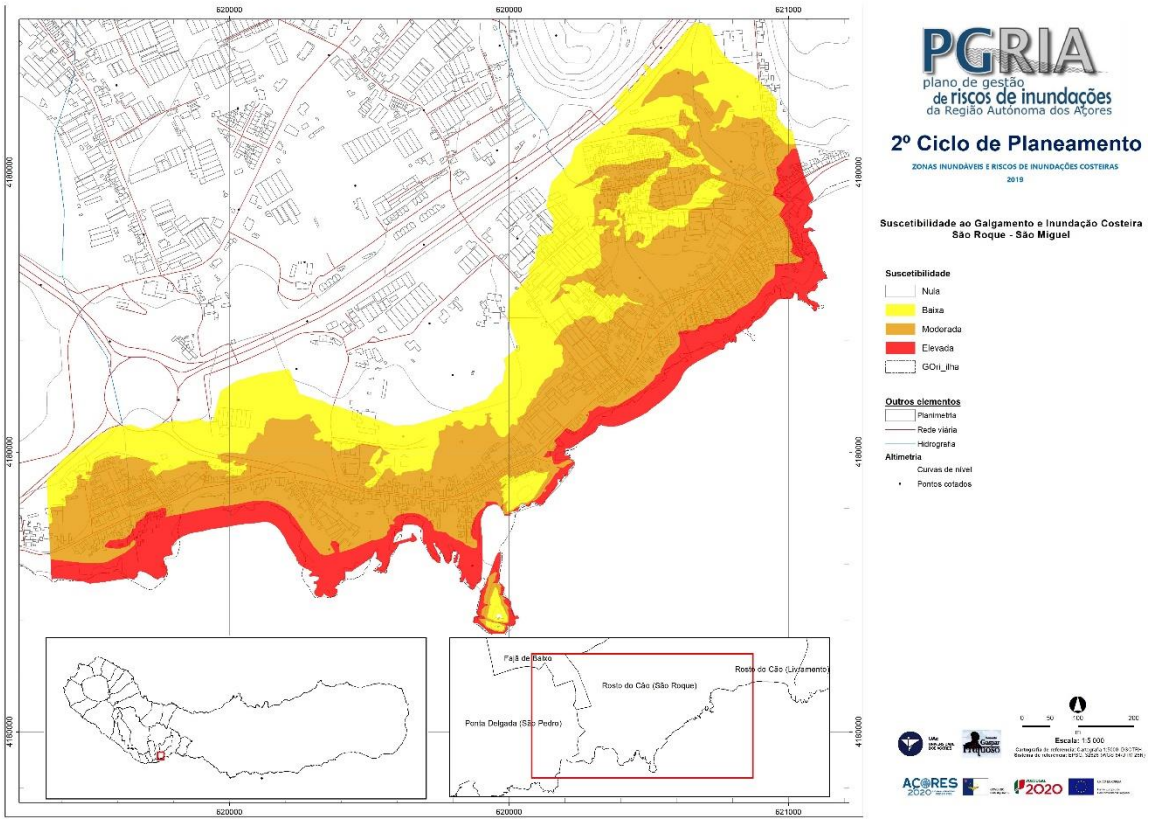


Figura 3.7 – Carta de suscetibilidade ao galgamento e inundação costeira para São Roque (São Miguel)

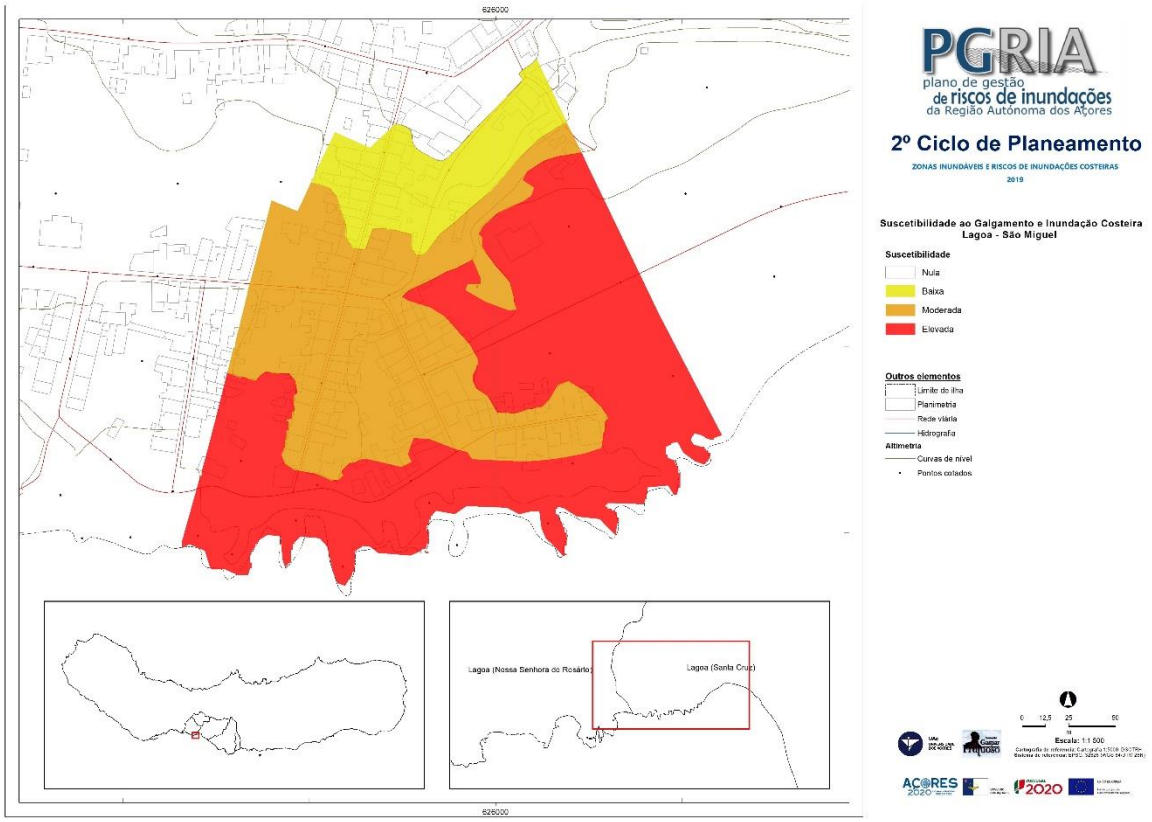


Figura 3.8 – Carta de suscetibilidade ao galgamento e inundação costeira para a Lagoa (São Miguel).

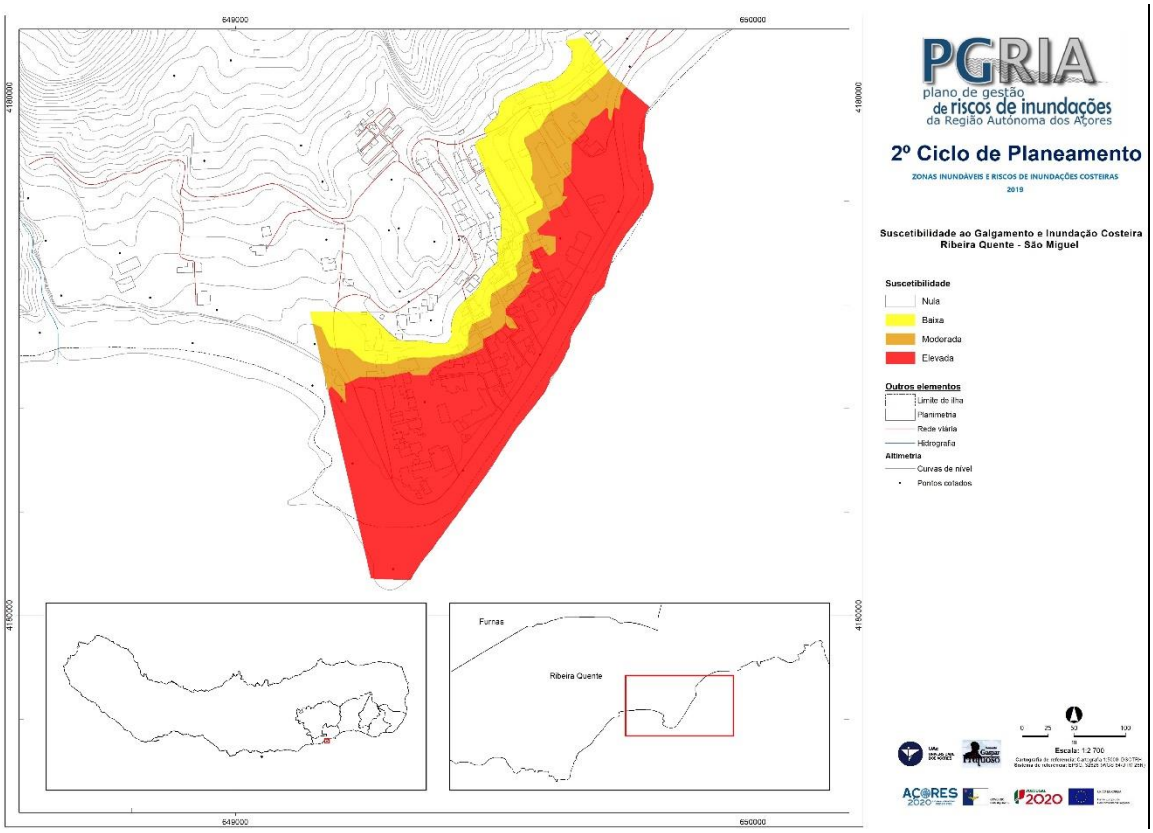


Figura 3.9 – Carta de suscetibilidade ao galgamento e inundação costeira para a Ribeira Quente (São Miguel).

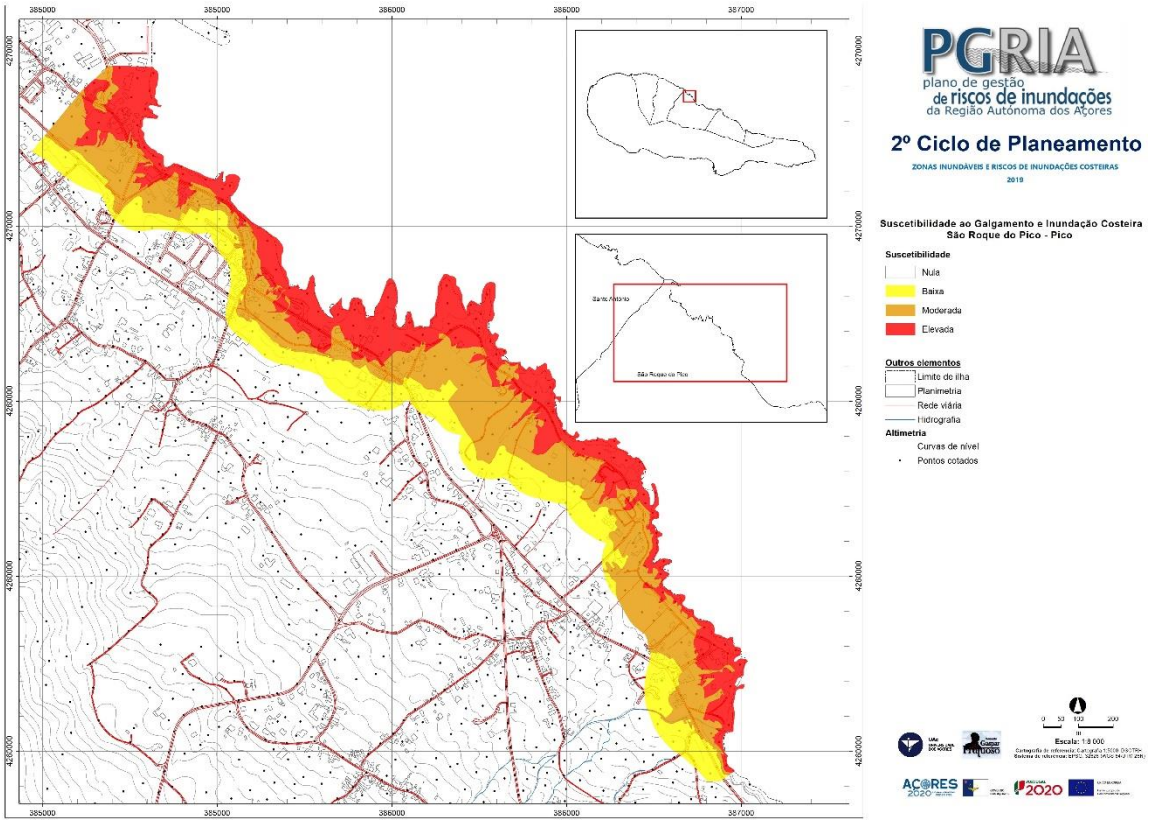


Figura 3.10 – Carta de suscetibilidade ao galgamento e inundação costeira para São Roque (Pico).

3.2. Cartas de Riscos de Galgamento e Inundação Costeira

As figuras seguintes apresentam graficamente as cartas de riscos de galgamentos e inundações costeiras e cartas com localização dos elementos expostos, propostas preliminarmente, para as zonas críticas em análise.

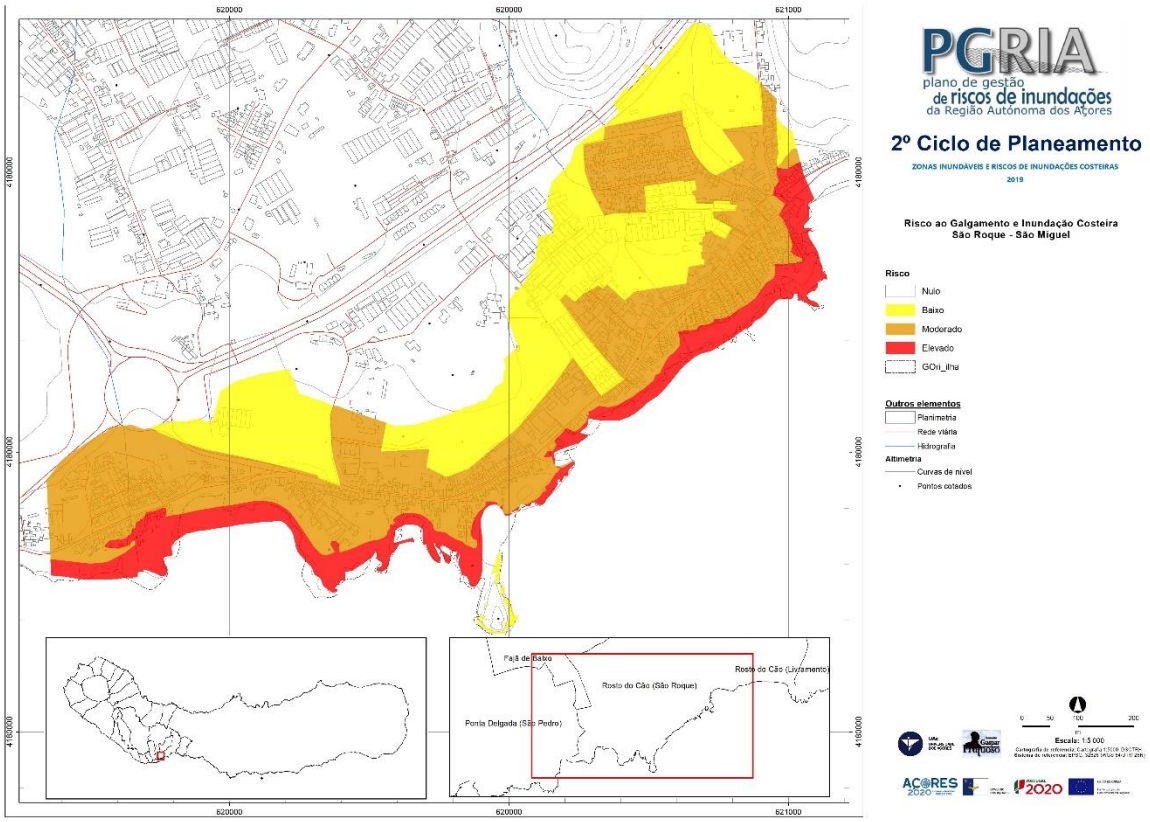


Figura 3.11 – Carta de riscos de galgamento e inundação costeira para São Roque (São Miguel).

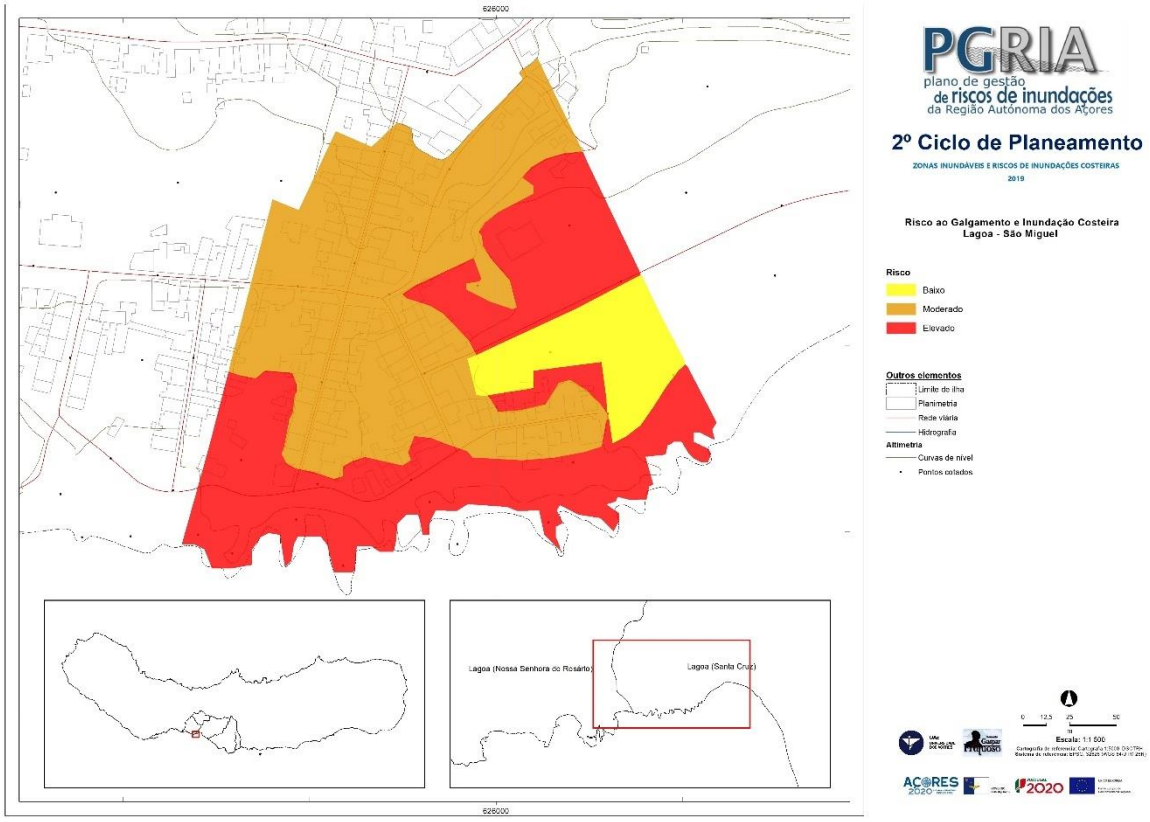


Figura 3.12 – Carta de riscos de galgamento e inundação costeira para a Lagoa (São Miguel).

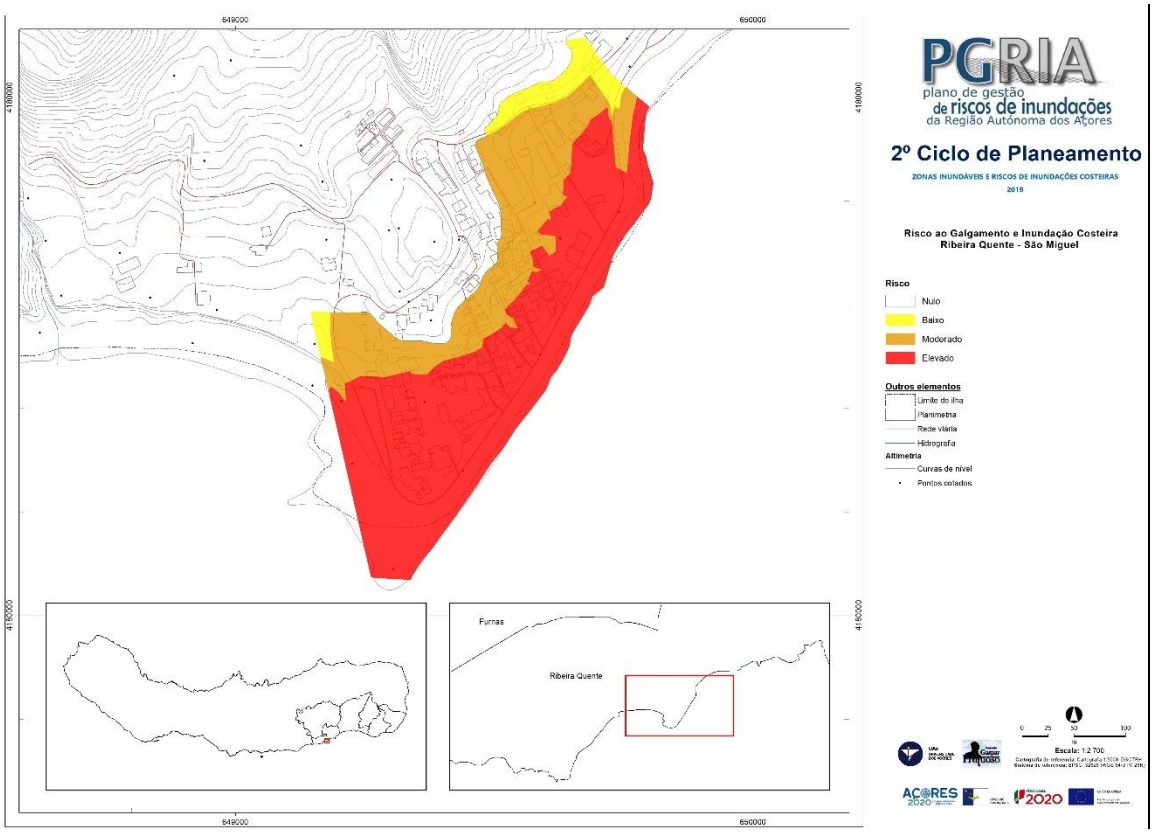


Figura 3.13 – Carta de riscos de galgamento e inundação costeira para a Ribeira Quente (São Miguel).

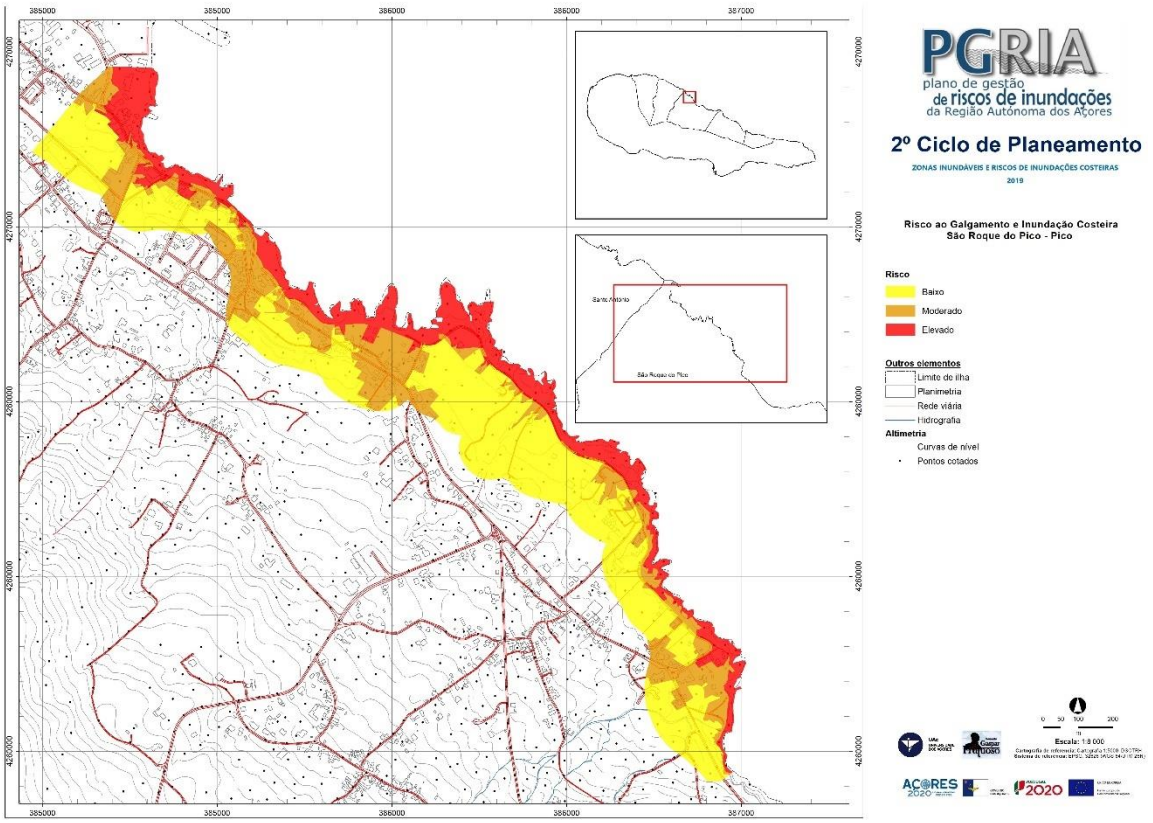


Figura 3.14 – Carta de riscos de galgamento e inundação costeira para São Roque (Pico).

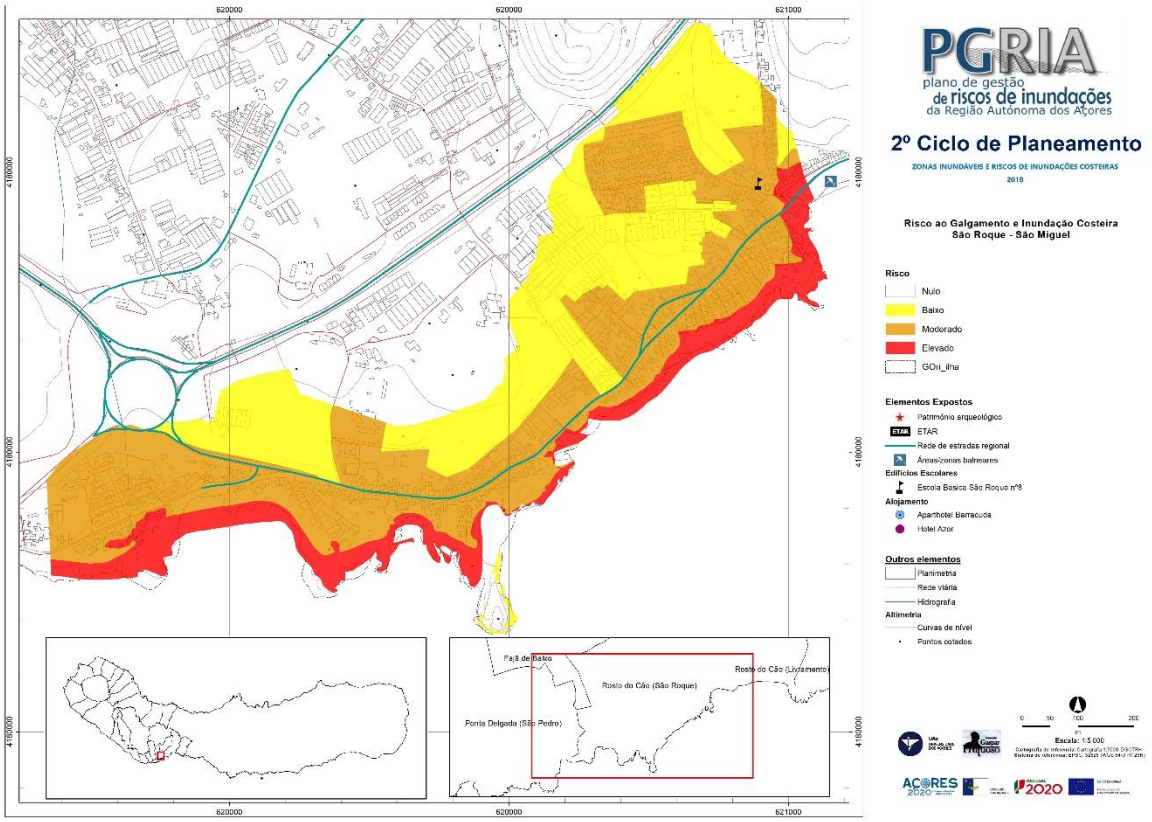


Figura 3.15 – Carta de riscos de galgamento e inundação costeira para São Roque (São Miguel), com elementos expostos.

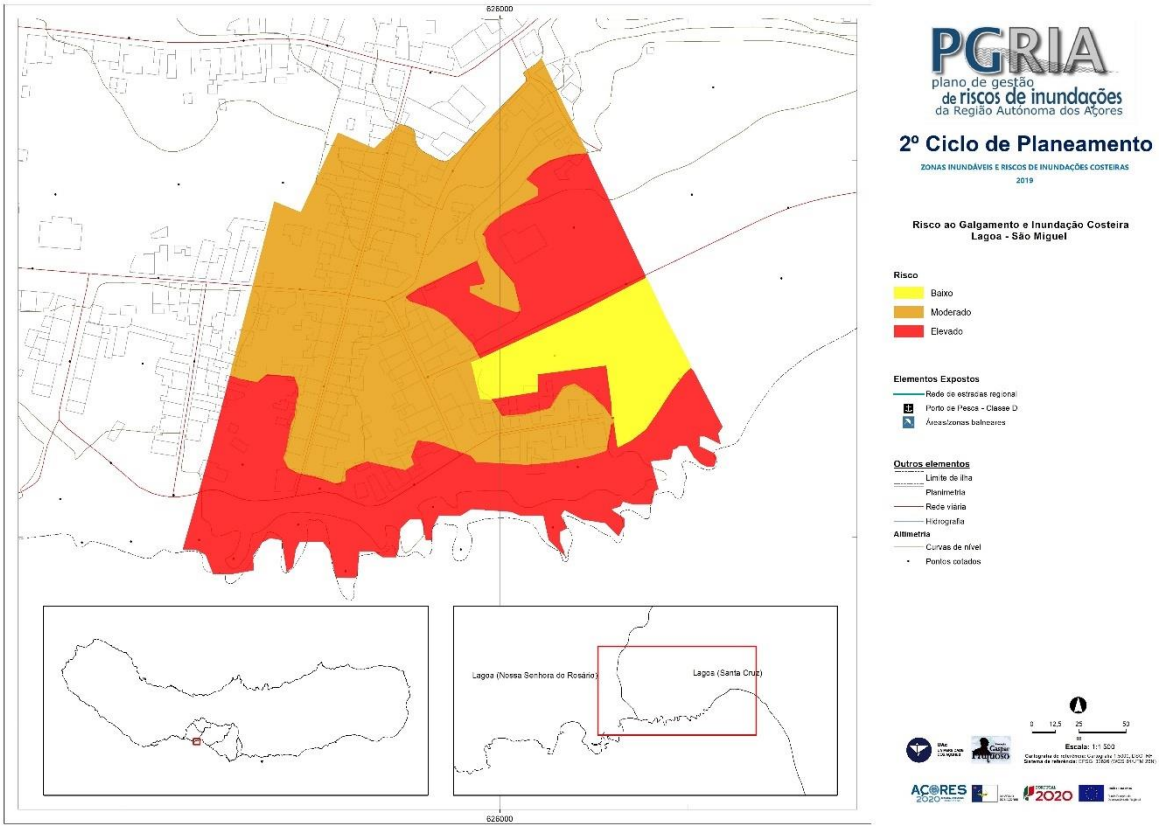


Figura 3.16 – Carta de riscos de galgamento e inundação costeira para a Lagoa (São Miguel), com elementos expostos.

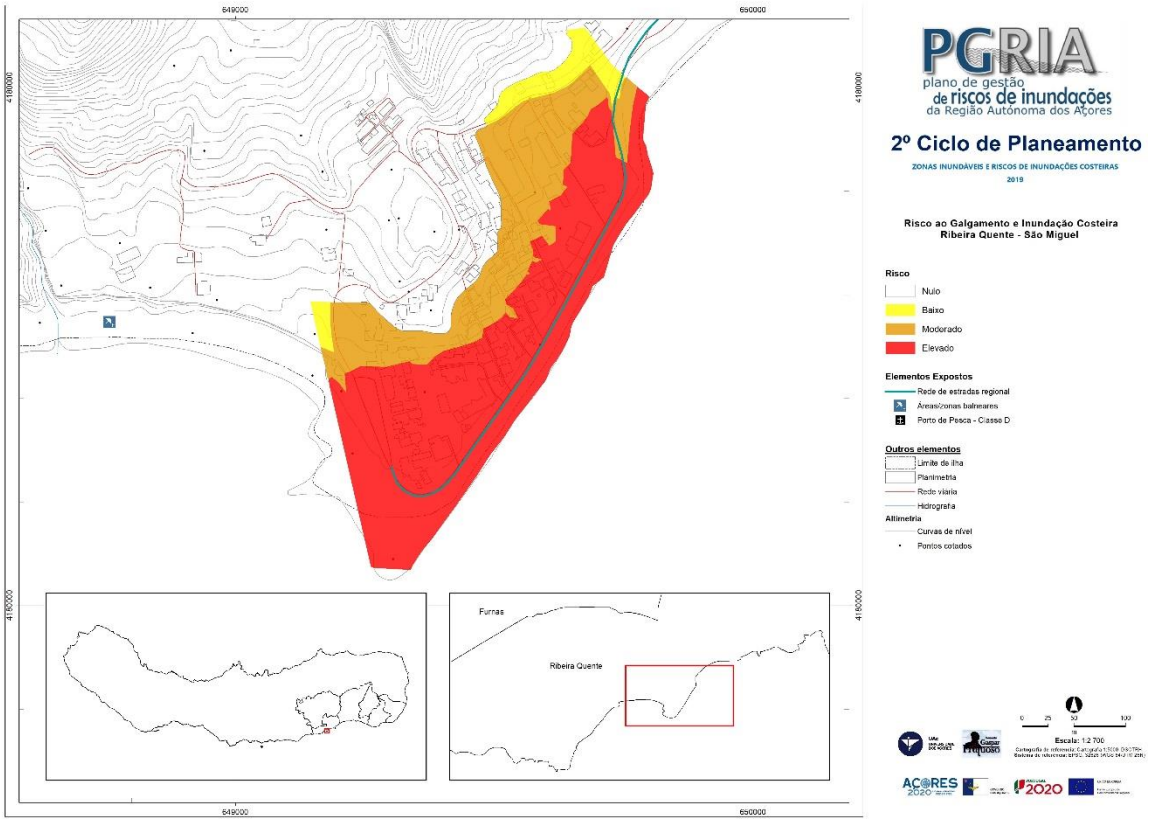


Figura 3.17 – Carta de riscos de galgamento e inundação costeira para a Ribeira Quente (São Miguel), com elementos expostos.

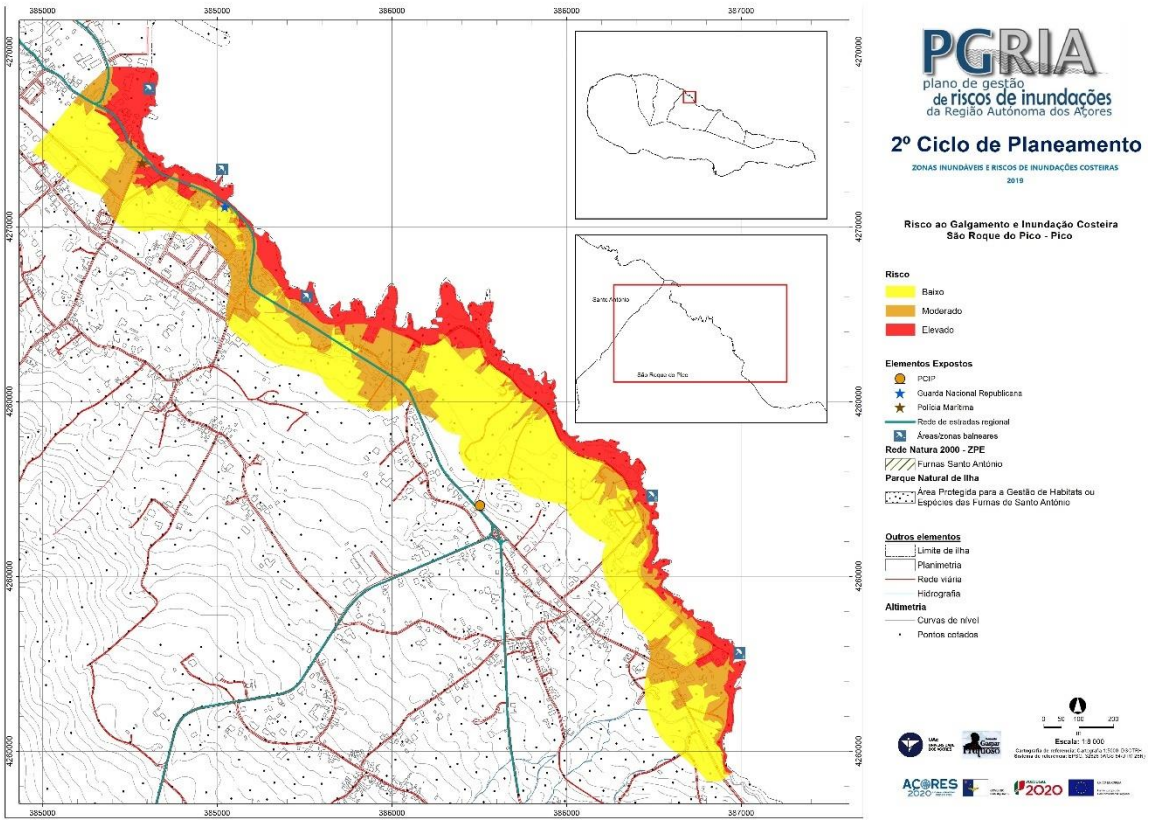


Figura 3.18 – Carta de riscos de galgamento e inundação costeira para São Roque (Pico), com elementos expostos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos desenvolvidos e apresentados no presente relatório expõem os resultados apurados para a suscetibilidade e risco ao galgamento e inundação costeira para as quatro áreas críticas identificadas na 1ª fase do PGRIA.

Na elaboração deste trabalho foram identificados diversos constrangimentos, em particular os que dizem respeito à qualidade e quantidade de informações de base. Importa salientar a falta de dados, designadamente: de séries temporais de longa duração de agitação marítima resultantes de monitorização de boias ondógrafo; a reduzida informação relativa às características das estruturas de defesa costeiras no que toca à inclinação de taludes e material do manto exterior; a carta geológica e geomorfológica costeira; a desatualização do levantamento topográfico e batimétrico, não incorporando alterações significativas, como a expansão da zona marginal no sentido do mar; a impossibilidade de utilizar o modelo digital do terreno de alta resolução, considerando o fato de não estar referido ao nível médio da água do mar/zero hidrográfico; a precisão da informação geográfica disponível a diferentes escalas e provindas de bases cartográficas distintas; e a reduzida informação sobre eventos extremos, em particular quanto aos danos (humanos e materiais) e às áreas afetadas.

De referir que foram apresentados cinco cenários de suscetibilidade alternativos à metodologia inicial (Apêndice), tendo a DRA/DRAM selecionado o **Cenário 2**, por considerarem que este representa de modo mais adequado a realidade das áreas críticas em análise. Após a validação no terreno dos resultados obtidos, foram realizados alguns ajustes às faixas de suscetibilidade e de risco, e foi desenvolvida a cartografia, na sua versão final, à escala 1:5000, com a delimitação das faixas de suscetibilidade e riscos (Anexos I e II, respetivamente) de galgamentos e/ou inundações costeiras para as áreas críticas.

Em síntese, apesar dos diversos constrangimentos metodológicos e materiais, foi possível conceber as Cartas de suscetibilidade e de risco, com um rigor técnico significativo, seguindo as melhores práticas e procedimentos científicos face às informações disponíveis.

Perante os resultados obtidos, deverão ser definidas e implementadas medidas de minimização e de adaptação, a consagrar nos instrumentos de gestão territorial com incidência na orla costeira, bem como noutros programas de monitorização das infraestruturas de defesa costeira e portuárias, com vista à monitorização de eventos

extremos de galgamento costeiro, tendo ainda presente a problemática associada às alterações climáticas.

5. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Andrade, C.; Trigo, R.M.; Freitas, M.C.; Gallego, M.C.; Borges, P. and Ramos, A.M., 2008. Comparing historic records of storm frequency and the North Atlantic Oscillation (NAO) chronology for the Azores region. The Holocene, 18(5), 745-754.

Borges P, Phillips M, Ng K, Medeiros A, Calado H (2014) Preliminary coastal vulnerability assessment for Pico Island (Azores). Journal of Coastal Research, (70): 385-388.

Borges, P. and Andrade, C., 1999. Storm characterization in the Azores archipelago on the XIX and XX centuries. Unpublished Technical Report/Project STORMS – Storminess and Environmentally Sensitive Atlantic Coastal Areas of the European Union.

Borges, P., 2003. Ambientes litorais nos grupos Central e Oriental do arquipélago dos Açores, conteúdos e dinâmica de microescala. Ponta Delgada, Portugal: University of the Azores, Ph.D. thesis, 413p.

Coelho, C. (2005). Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira. Tese de doutoramento. Secção Autónoma de Engenharia Civil. Aveiro, Universidade de Aveiro: 404.

Davies, W.T.R., 2012. Applying a Coastal Vulnerability Index (CVI) to the Westfjords, Iceland: a preliminary assessment. Ísafjörður, Iceland: University of Akureyri, Master's thesis, 109p.

NG, K., 2013. Feasibility study on multifunctional artificial reefs for the Azores. Ponta Delgada, Portugal: University of the Azores, Ph.D. thesis, 125p

Palmer, B J., Van der Elst, R.,Mackay, F., Mather, A A., Smith, A M., Bundy, S C., Thackeray, Z., Leuci, R. and Parak, O., 2011. Preliminary coastal vulnerability assessment for KwaZulu-Natal, South Africa, Journal for Coastal Research, 64, 1390-1395.

PEAMA, 2017. Monitorização Oceanográfica 2016-2017. Associação Para o Estudo do Ambiente Insular – Observatório do Ambiente dos Açores, 21p.

PEAMA, 2018. Tempestade 27 de fevereiro de 2017. Monitorização Oceanográfica 2017-2018. Associação Para o Estudo do Ambiente Insular – Observatório do Ambiente dos Açores, 21p.

PEAMA, 2019. Tempestade HELENE, 16 de setembro de 2018. Climatologia da Agitação 2018-2019. Associação Para o Estudo do Ambiente Insular – Observatório do Ambiente dos Açores, 21p.

RISK-KIT, 2015. Resilience-Increasing Strategies for Coasts – Toolkit. Coastal Hazard Assessment Module.

Santos, C., 2016. Cartografia da Perigosidade e Suscetibilidade de Ocorrência de Seca em Cabo Verde a Partir de Informação Obtida por Deteção Remota. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento, Universidade de Lisboa, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, 103 p.

APÊNDICE – CARTAS DE SUSCETIBILIDADE (CENÁRIOS)

PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

UNIVERSIDADE DOS AÇORES

Gaspar Frutuoso

RISCO DE GALGAMENTO E INUNDAÇÃO COSTEIRA FASE 2

CARTAS DE SUSCETIBILIDADE - CENÁRIOS

2020

AÇORES 2020 PROGRAMA OPERACIONAL FEDER FSE

GOVERNO DOS AÇORES

PORTUGAL 2020

UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

1. INTRODUÇÃO

A Secretaria Regional do Mar, Ciência e Tecnologia do Governo dos Açores, por intermédio da Direção Regional dos Assuntos do Mar, adjudicou por ajuste direto à Fundação Gaspar Frutuoso (FGF) a aquisição de serviços para a elaboração do estudo "*Avaliação de Riscos de Inundações – Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro, que transpõe a Diretiva 2007/60/CE, de 23 de outubro – Risco de Inundações Costeiras*", no âmbito dos trabalhos de elaboração do 2.º Ciclo do Plano de Gestão dos Riscos de Inundações da Região Autónoma dos Açores (PGRIA).

No seguimento da reunião de 21 de fevereiro 2020, onde foi discutido o relatório "RISCO DE GALGAMENTO E INUNDAÇÃO COSTEIRA, FASE 2 – Versão Final", foi solicitada a alteração da designação de cartas de vulnerabilidade para cartas de suscetibilidade, bem como a cenarização da alteração quer de elementos topográficos limitativos, quer do peso das diversas variáveis na determinação das áreas suscetíveis a galgamentos e inundações costeiras. Neste contexto, no presente documento são apresentados os resultados de cinco cenários considerados.

2. SÍNTESE DA METODOLOGIA

A determinação e avaliação das áreas/faixas de suscetibilidade de galgamento e inundação costeira para as quatro áreas críticas identificadas na avaliação preliminar teve por base uma abordagem metodológica considerando a morfologia costeira e as estruturas de defesa costeira.

No estudo desenvolvido para a avaliação de zonas/faixas de ocorrência de galgamentos e inundações costeiras e explicitado no relatório "RISCO DE GALGAMENTO E INUNDAÇÃO COSTEIRA, FASE 2 – Versão Final" apresentado em dezembro de 2019, foi utilizado e determinado o parâmetro suscetibilidade (Figura 1) cruzando e tendo em consideração:

- [1] a espacialização da probabilidade de ocorrência de um determinado evento extremo numa dada área com base nos fatores condicionantes do terreno [suscetibilidade] e;
- [2] a ocorrência de um evento extremo com uma determinada intensidade, associado a um grau de dano ou perda potencial de um elemento ou conjunto de elementos[1].

De acordo com os dados consultados/disponíveis, foi considerado um evento extremo com um período de retorno de 100 anos, uma altura significativa da onda de 9m, com períodos entre os 10-13s.

No entanto, no seguimento da citada reunião (Direção Regional do Ambiente – Direção de Serviços de Recursos Hídricos e Ordenamento do Território, foram produzidas cartas de suscetibilidade (tendo, para tal, sido necessário suprimir a componente [2] das cartas apresentadas anteriormente), com a cenarização da aplicação de diversas ponderações matriciais dos temas cruzados (Topografia, Declive, Exposição, Estruturas costeiras e Distância à linha de costa).

De seguida são apresentados os resultados obtidos da suscetibilidade para as quatro

[1] Conceitos:
Perigosidade (P) - Probabilidade de ocorrência (avaliada qualitativa ou quantitativamente) de um fenómeno com uma determinada magnitude (a que está associado um potencial de destruição), num determinado período de tempo e numa dada área;
Suscetibilidade (S) - pode ser entendida como a probabilidade espacial de ocorrência de um determinado fenómeno numa dada área com base nos fatores condicionantes do terreno, independentemente do seu período de retorno;
Vulnerabilidade (V) - Grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos vulneráveis, resultante da ocorrência de um fenómeno (natural ou induzido pelo Homem) com determinada magnitude ou intensidade. A vulnerabilidade, V, representa assim o grau de danos ou perdas potenciais num elemento ou conjunto de elementos como consequência da ocorrência de um fenómeno de determinada intensidade. Depende das características do elemento considerado (não do seu valor económico) e da intensidade do fenómeno. O seu valor varia entre 0 (sem danos) e 1 (perda ou destruição total do elemento).

áreas críticas, considerando quatro cenários alternativos (Tabela 1 e **Figura 2** a 5).

Considerações/Notas:

- Cenário 1 - Apresentado no relatório no "RISCO DE GALGAMENTO E INUNDAÇÃO COSTEIRA, FASE 2 – Versão Final", dezembro de 2019;
- Novos Cenários – 2, 2A, 3 e 3A;
- Limite da curva de nível de 25m significa que quando a cota topográfica for >25m a suscetibilidade = Nula;
- Limite da faixa de 100m para o interior de terra: significa que foi aplicada a limitação, de acordo com a bibliografia de referência, de inexistência de *runup* para além dos 100m para o interior de terra;
- No caso de curva de nível de 25m cruzar a faixa de 100m e quando a cota topográfica for >25m a suscetibilidade = Nula.

Tabela 1 – Ponderações do cálculo matricial usadas nos cenários

Cenário	Variação Parâmetros							
	Peso Variáveis (%)						Limite curva Nível 25m	Limite faixa 100m para interior terra
	Topografia	*Runup*	Declive	Exposição	Estruturas costeiras	Distancia à linha de costa		
1	16,6(6)	16,6(6)	16,6(6)	16,6(6)	16,6(6)	16,6(6)	Não	Sim
2	60	-	10	10	10	10	Sim	Não
2A	60	-	10	10	10	10	Sim	Sim
3	20	-	20	20	20	20	Sim	Não
3A	20	-	20	20	20	20	Sim	Sim

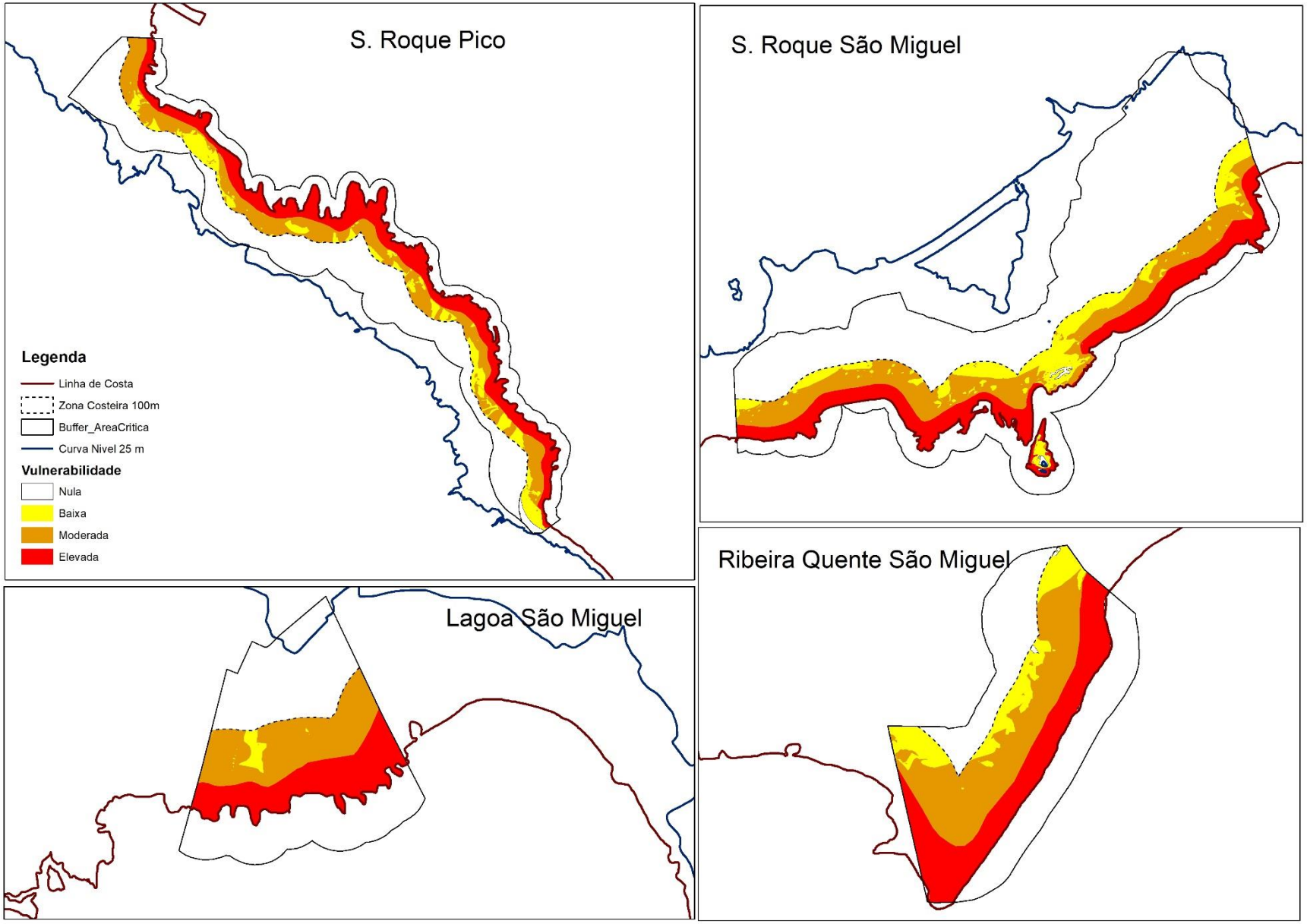


Figura 1 - Cenário 1: Cartas de suscetibilidade para as 4 áreas críticas identificadas e propostas na primeira versão do relatório "RISCO DE GALGAMENTO E INUNDAÇÃO COSTEIRA, FASE 2 – Versão Final de dezembro 2019".

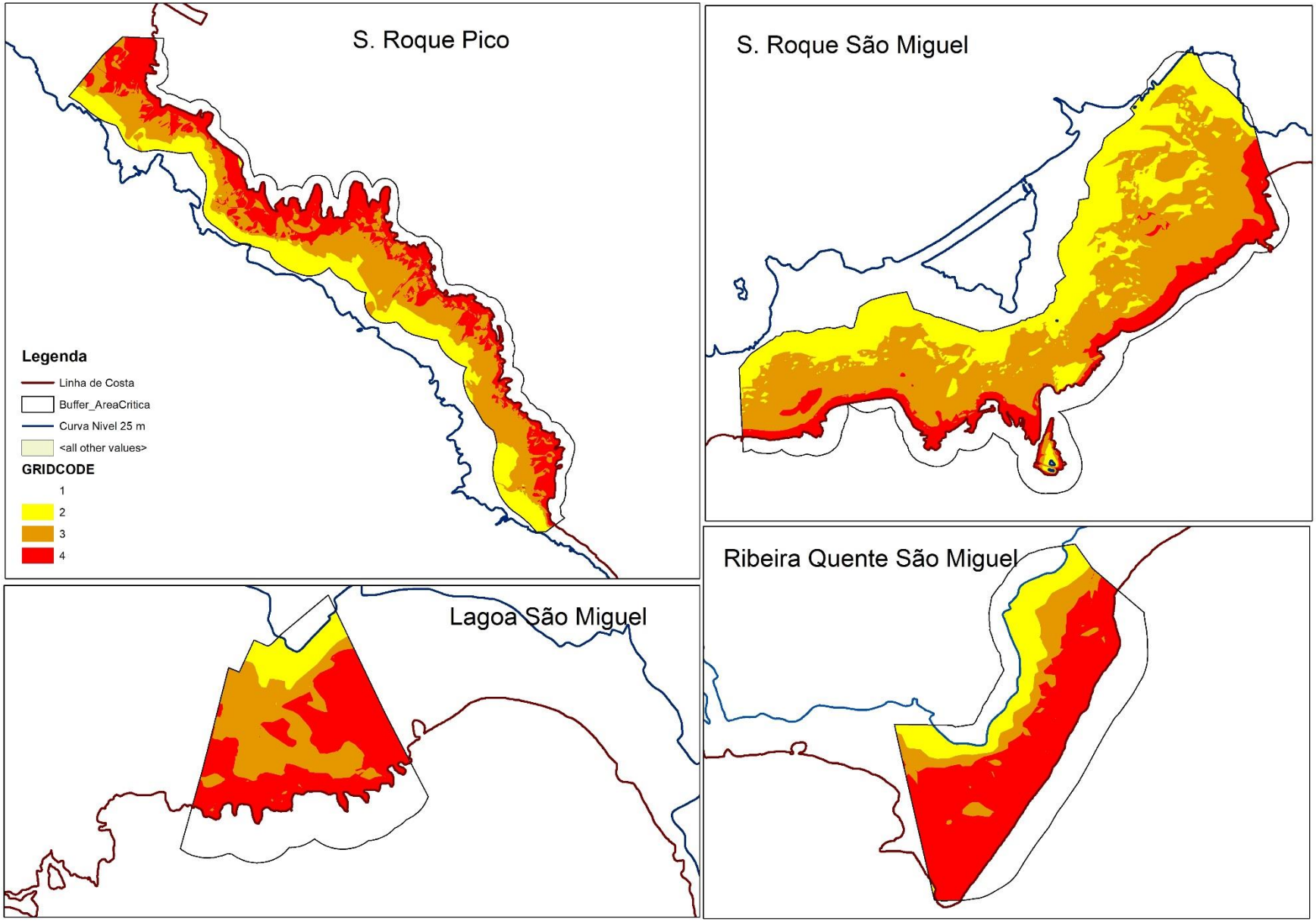


Figura 2 - Cenário 2: Cartas de Suscetibilidade considerando a variável topografia com um peso de 60% e cada uma das restantes variáveis (quatro) com 10%, para toda a área dada como crítica, tendo como limite a curva de nível de 25 metros.

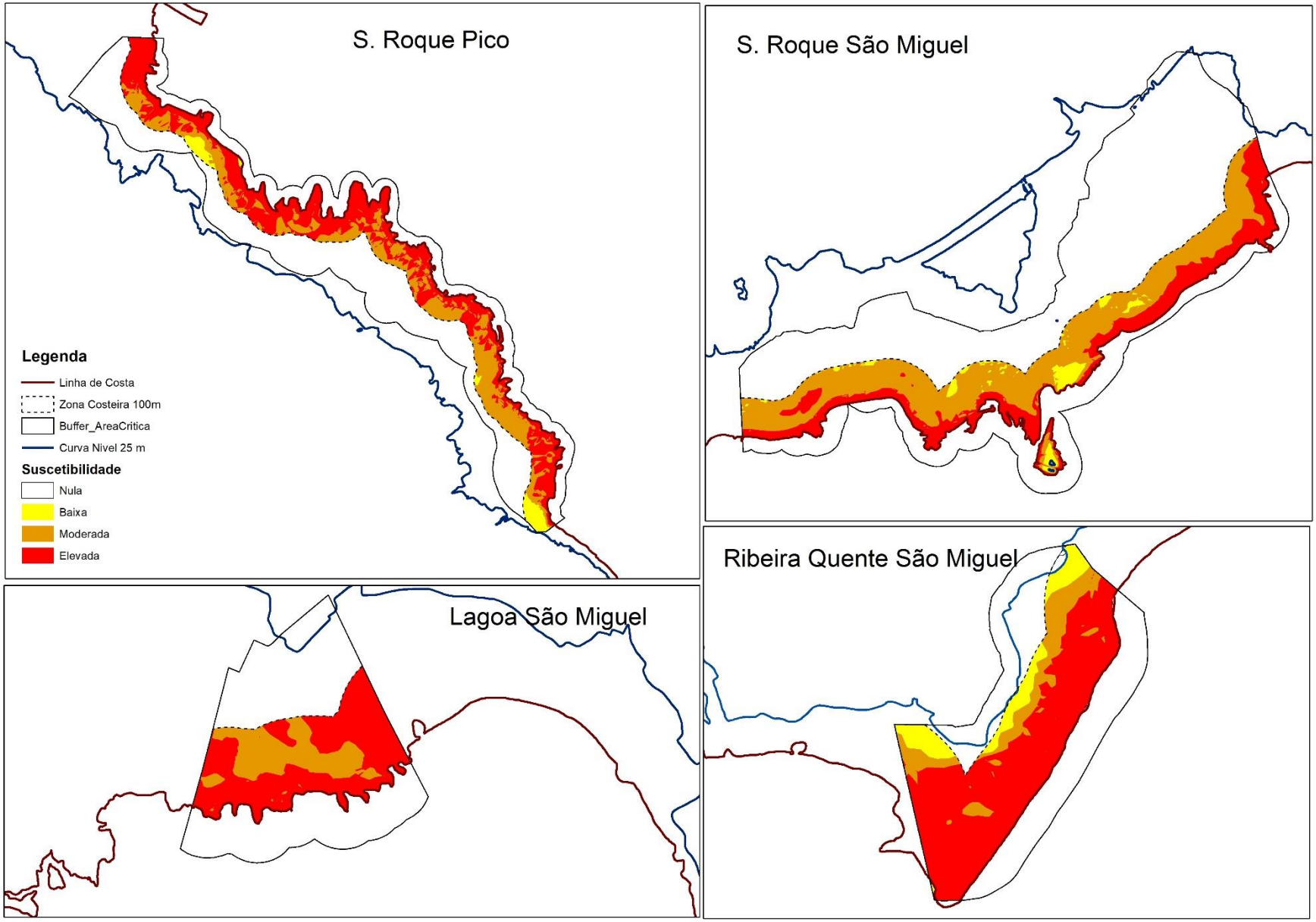


Figura 3 - Cenário 2A: Cartas de Suscetibilidade considerando a variável topografia com um peso de 60% e cada uma das restantes variáveis (quatro) com 10%, para uma faixa limite de 100 metros, sendo identificada a curva de nível de 25 metros.

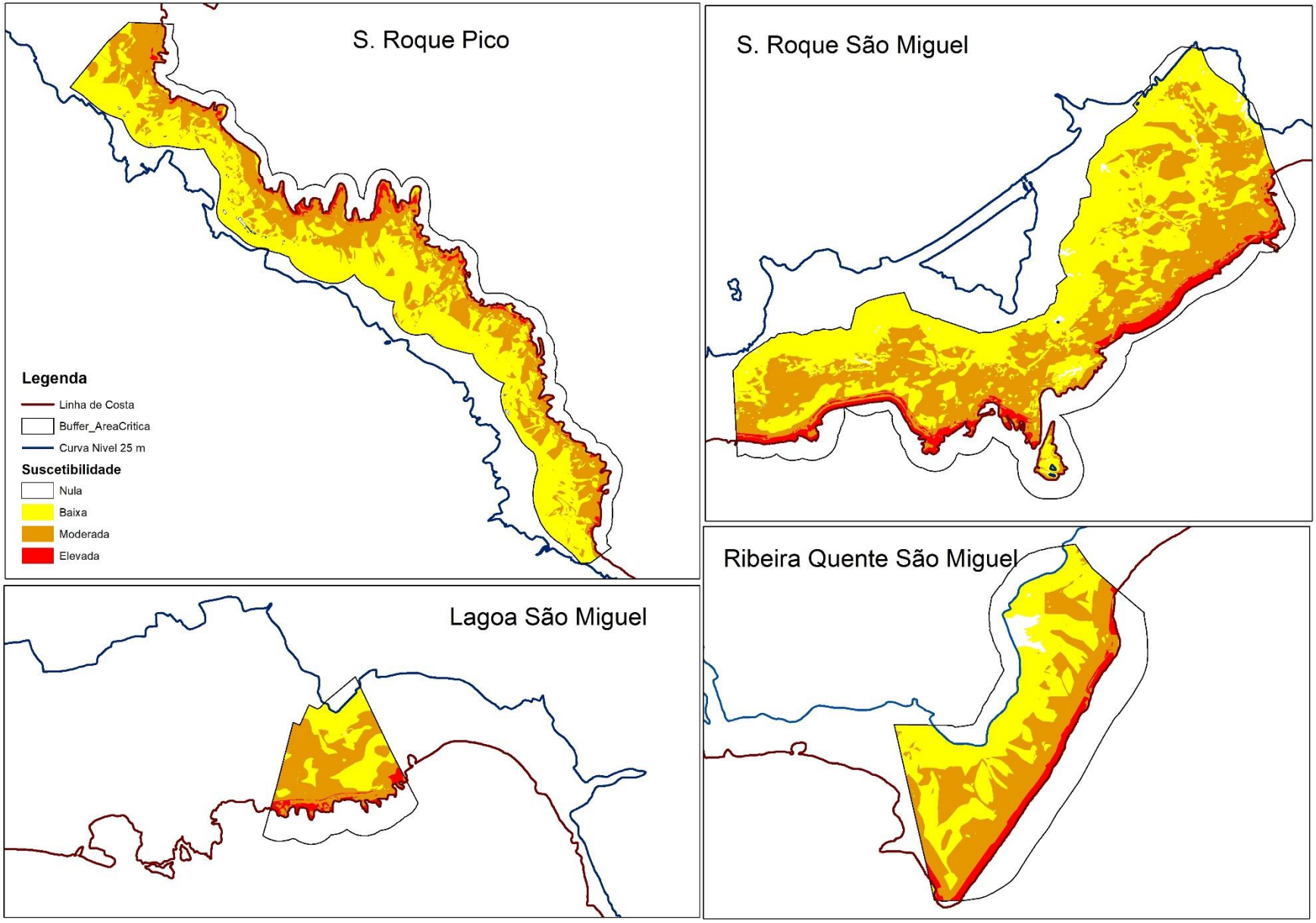


Figura 4 - Cenário 3: Cartas de Suscetibilidade considerando o mesmo peso para todas as variáveis (cinco) de 20%, para toda a área como crítica, tendo como limite a curva de nível de 25 metros.

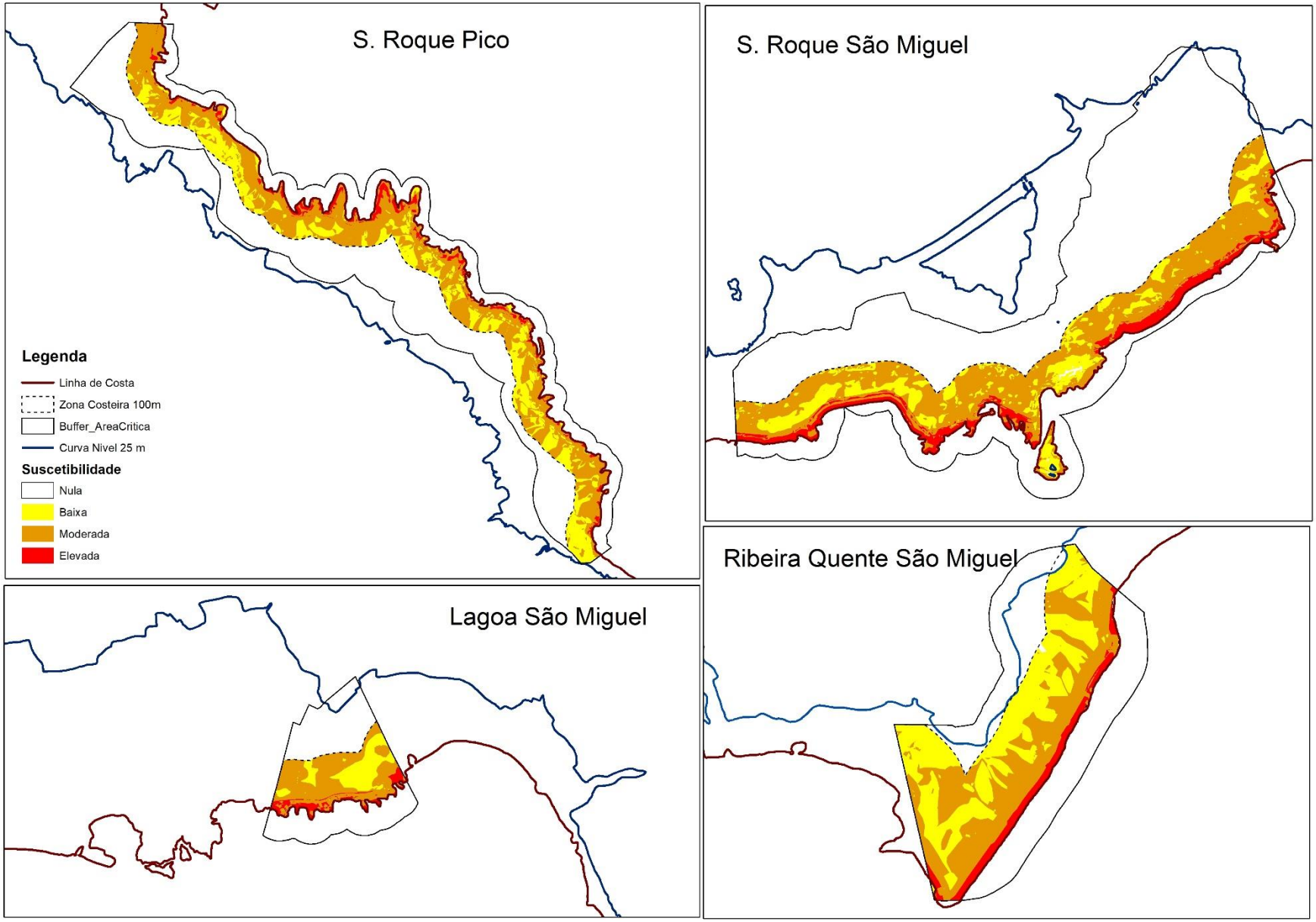
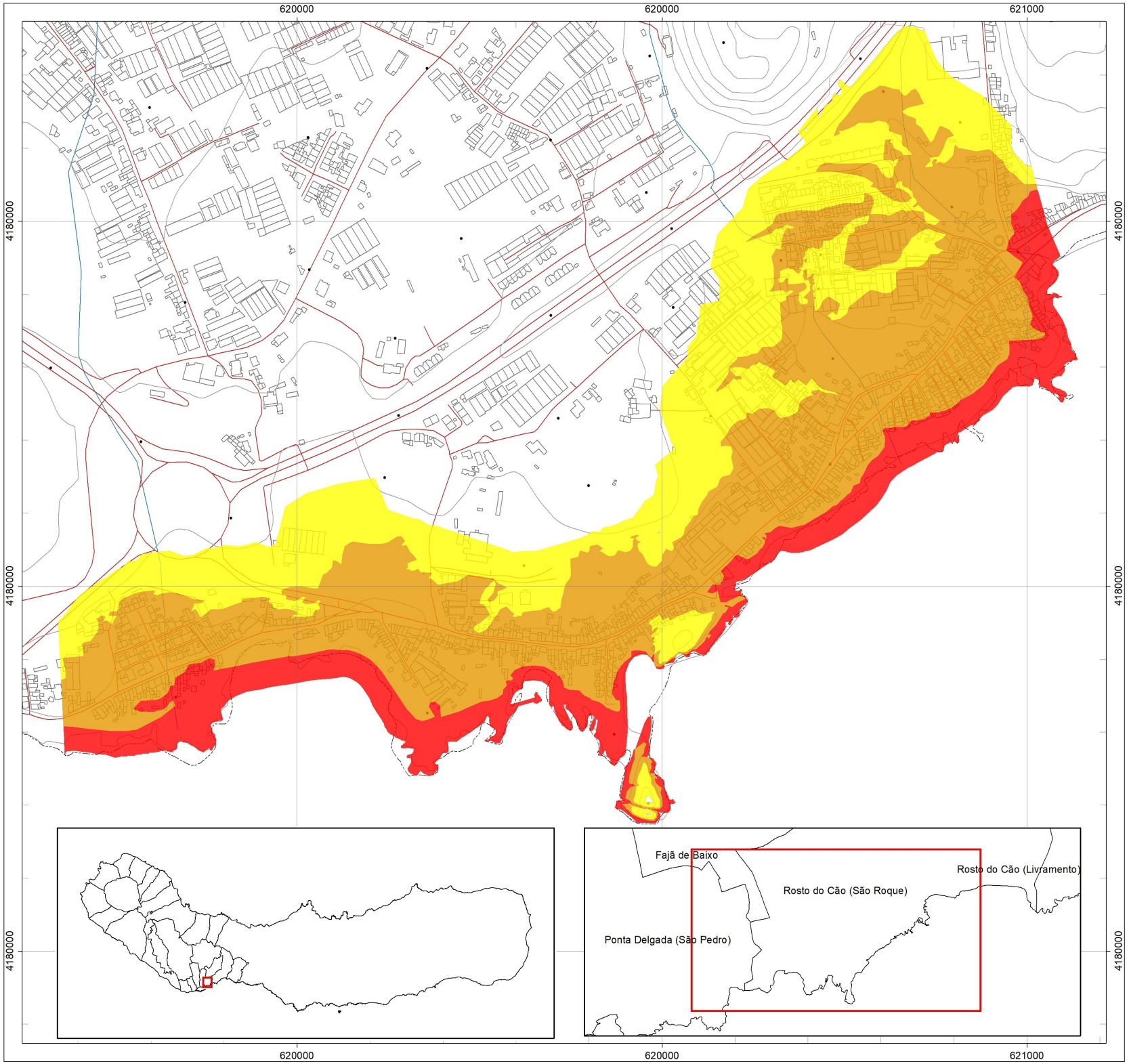


Figura 5 - Cenário 3A: Cartas de Suscetibilidade considerando o mesmo peso para todas as variáveis (cinco) de 20%, para uma faixa limite de 100 metros, sendo identificada a curva de nível de 25 metros.

ANEXO I – CARTAS DE SUSCETIBILIDADE AO GALGAMENTO E INUNDAÇÃO COSTEIRA (ESCALA 1:5000)



PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS
2019

Suscetibilidade ao Galgamento e Inundação Costeira São Roque - São Miguel

Suscetibilidade

- Nula
- Baixa
- Moderada
- Elevada

Outros elementos

- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

Altimetria

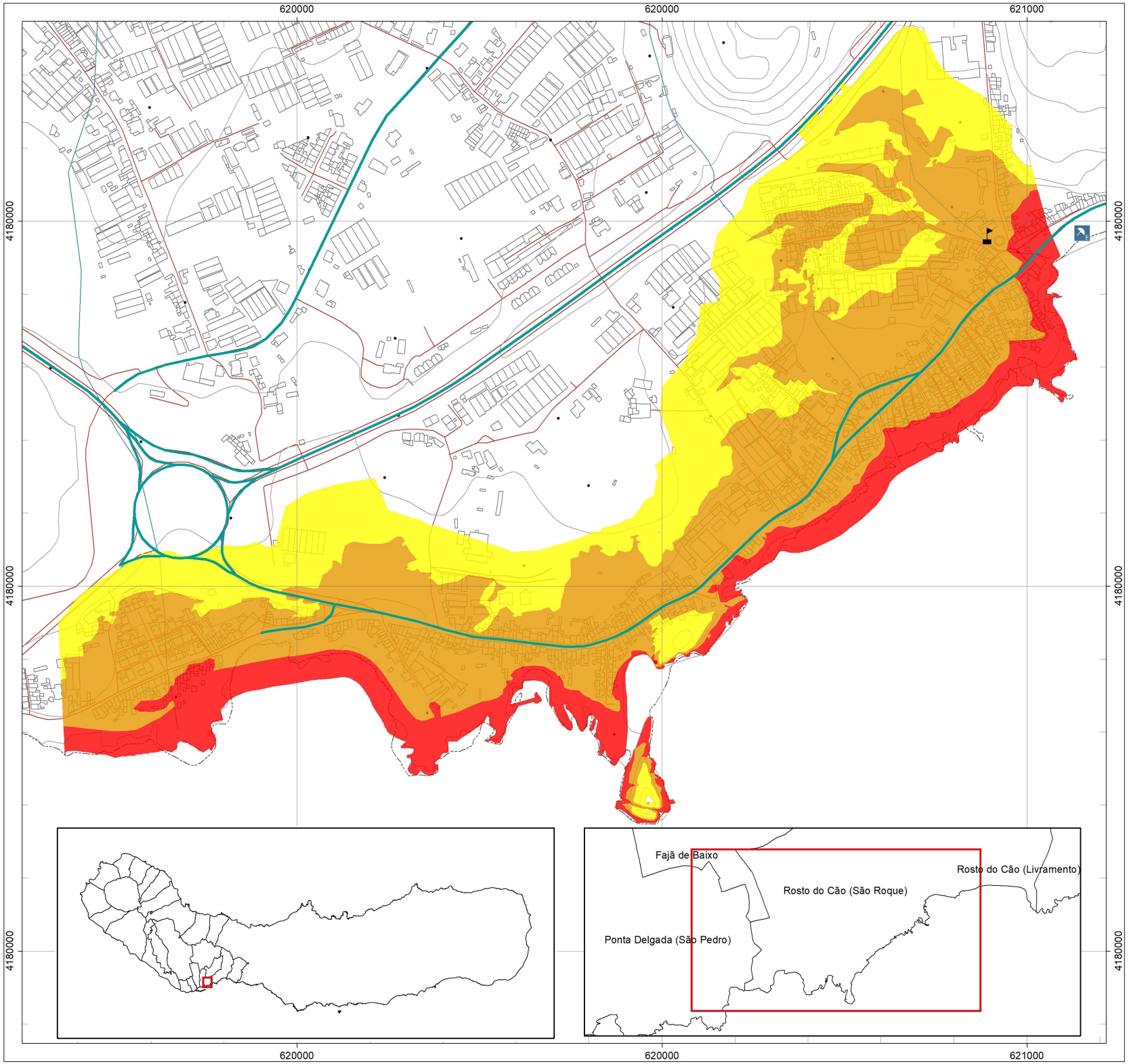
- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000

Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Gaspar Frutuoso
AÇORES 2020
GOVERNO DOS AÇORES
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA

plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS

2019

Suscetibilidade ao Galgamento e Inundação Costeira São Roque - São Miguel

Suscetibilidade

- Nula
- Baixa
- Moderada
- Elevada

Elementos Expostos

- Património arqueológico
- ETAR
- Rede de estradas regional
- Áreas/zonas balneares

Edifícios Escolares

- Escola Básica São Roque nº8

Alojamento

- Aparthotel Barracuda
- Hotel Azor

Outros elementos

- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

Altimetria

- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200 m

Escala: 1:5 000

Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES

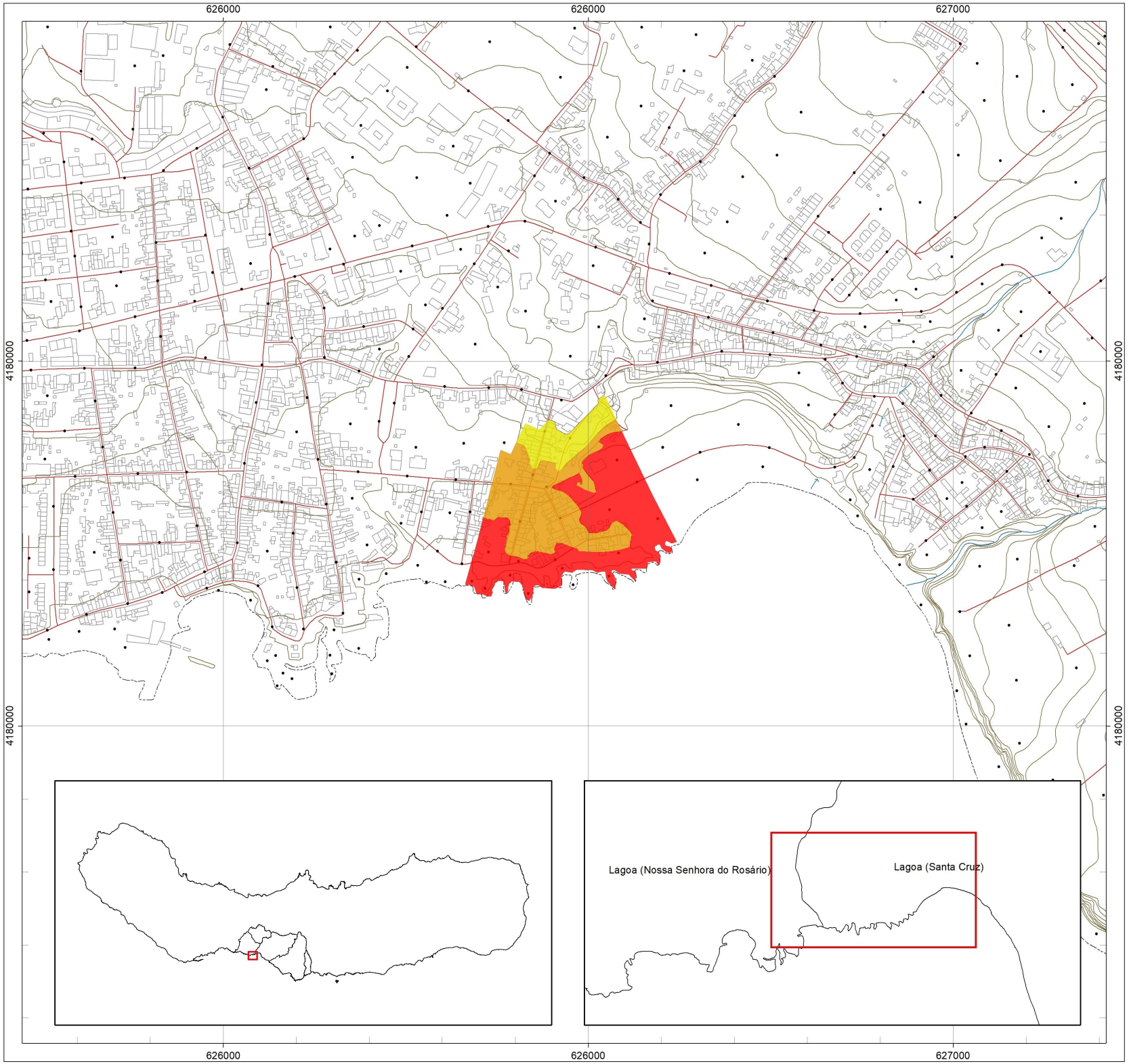
Gaspar Frutuoso

AÇORES 2020 PROGRAMA OPERACIONAL FEDER FSE

GOVERNO DOS AÇORES

PORTUGAL 2020

UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS

2019

Suscetibilidade ao Galgamento e Inundação Costeira Lagoa - São Miguel

Suscetibilidade

- Nula
- Baixa
- Moderada
- Elevada

Outros elementos

- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

Altimetria

- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000

Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES

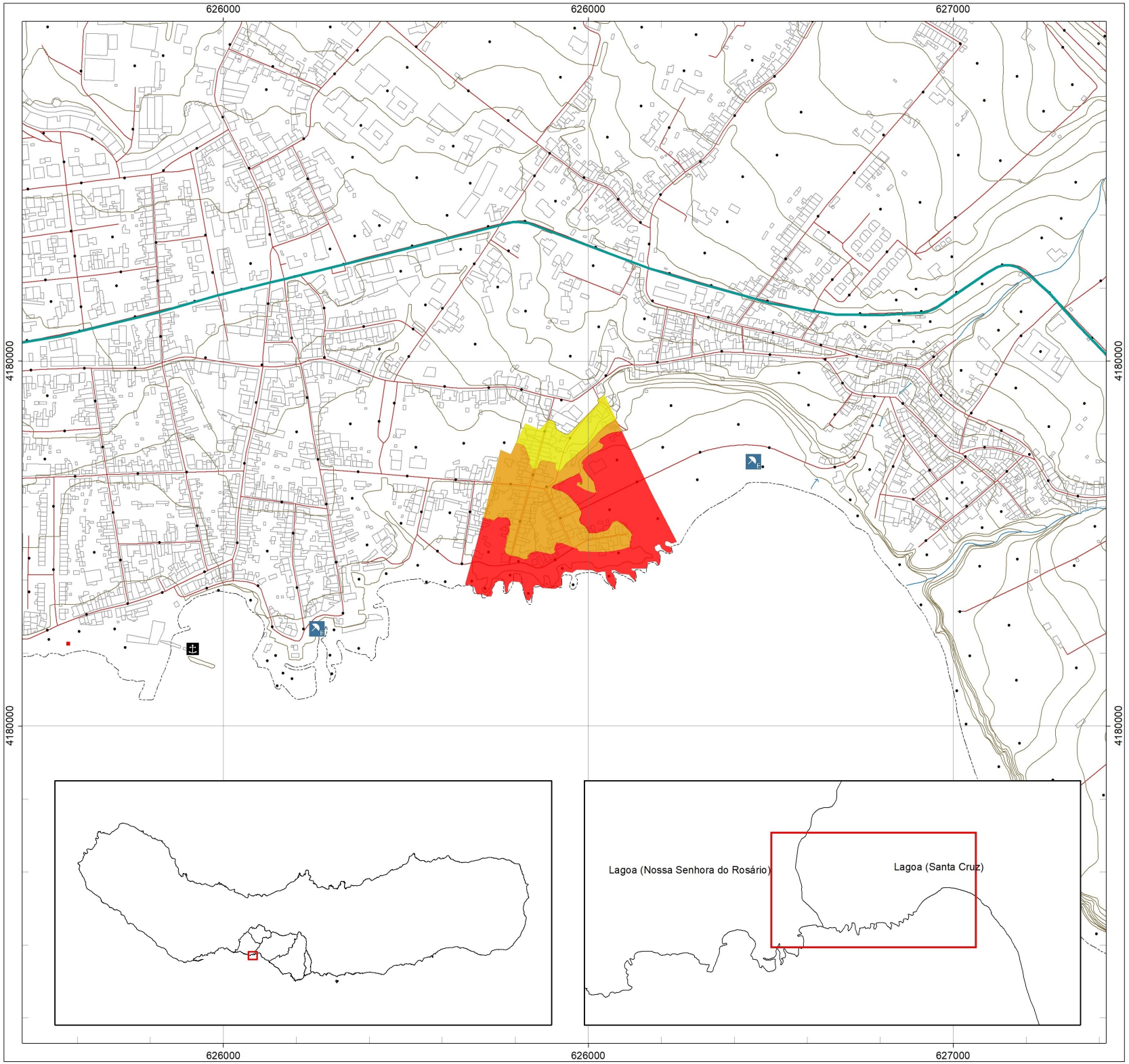
Gaspar Frutuoso

AÇORES 2020 PROGRAMA OPERACIONAL FEDER FSE

GOVERNO DOS AÇORES

PORTUGAL 2020

UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS
2019

Suscetibilidade ao Galgamento e Inundação Costeira Lagoa - São Miguel

Suscetibilidade

- Nula
- Baixa
- Moderada
- Elevada

Elementos Expostos

- Rede de estradas regional
- Porto de Pesca - Classe D
- Áreas/zonas balneares

Outros elementos

- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

Altimetria

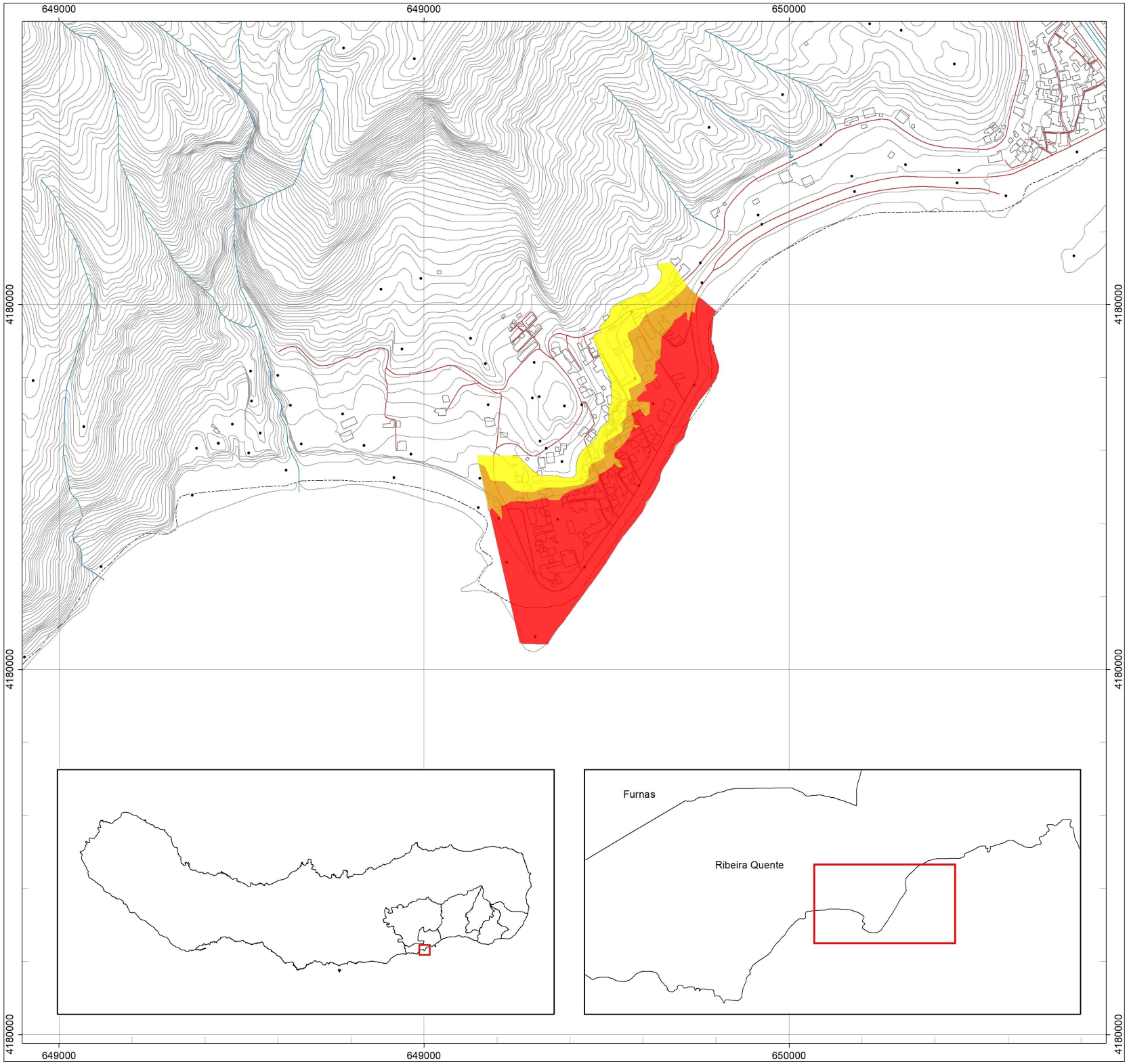
- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000

Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Gaspar Frutuoso
AÇORES 2020 PROGRAMA OPERACIONAL FEDER FSE
GOVERNO DOS AÇORES
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS

2019

Suscetibilidade ao Galgamento e Inundação Costeira Ribeira Quente - São Miguel

Suscetibilidade

- Nula
- Baixa
- Moderada
- Elevada

Outros elementos

- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

Altimetria

- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000

Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES

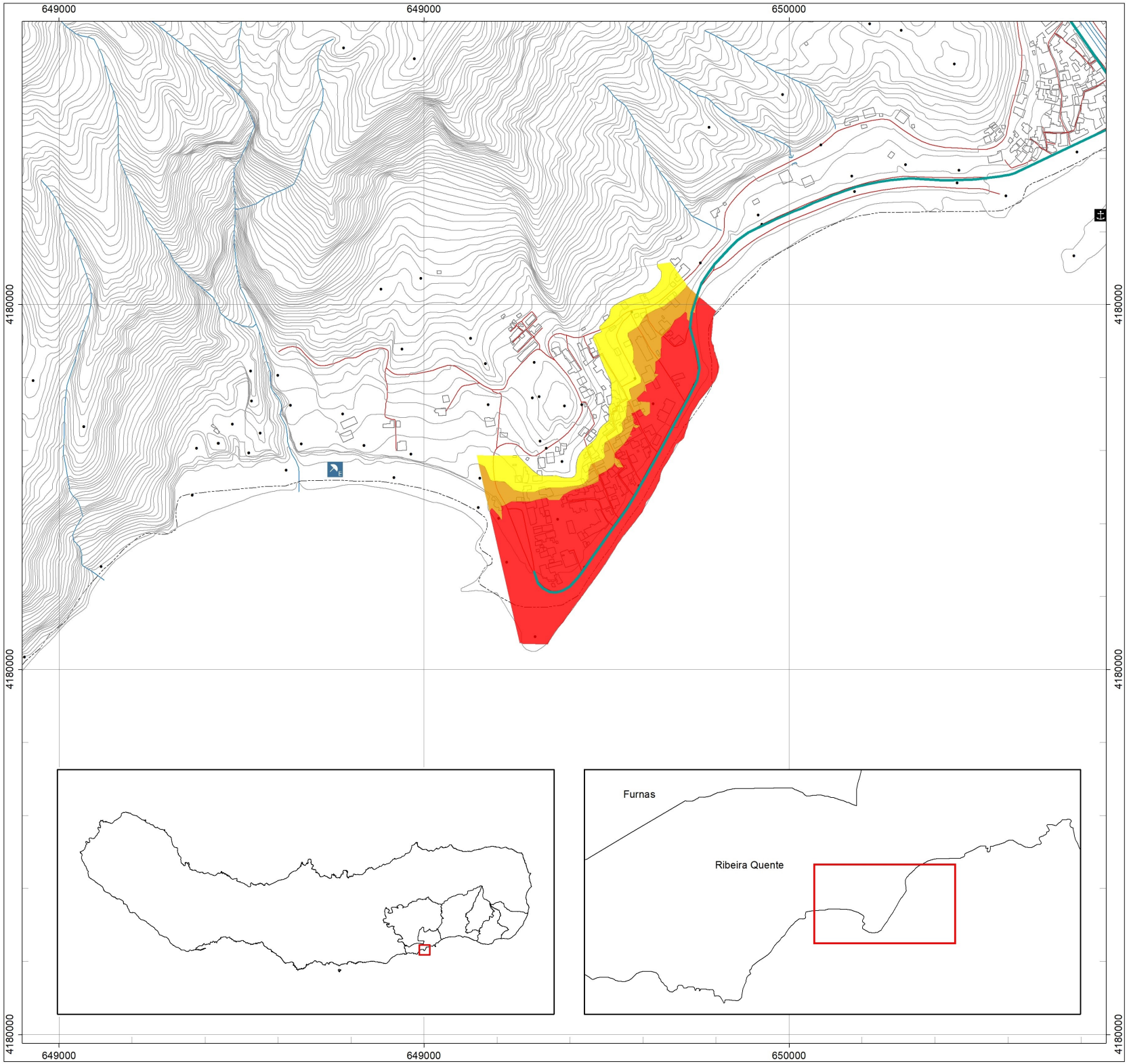
Gaspar Frutuoso

AÇORES 2020 PROGRAMA OPERACIONAL FEDER FSE

GOVERNO DOS AÇORES

PORTUGAL 2020

UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS
2019

Suscetibilidade ao Galgamento e Inundação Costeira Ribeira Quente - São Miguel

Suscetibilidade
- Nula
- Baixa
- Moderada
- Elevada

Elementos Expostos
- Rede de estradas regional
- Áreas/zonas balneares
- Porto de Pesca - Classe D

Outros elementos
- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

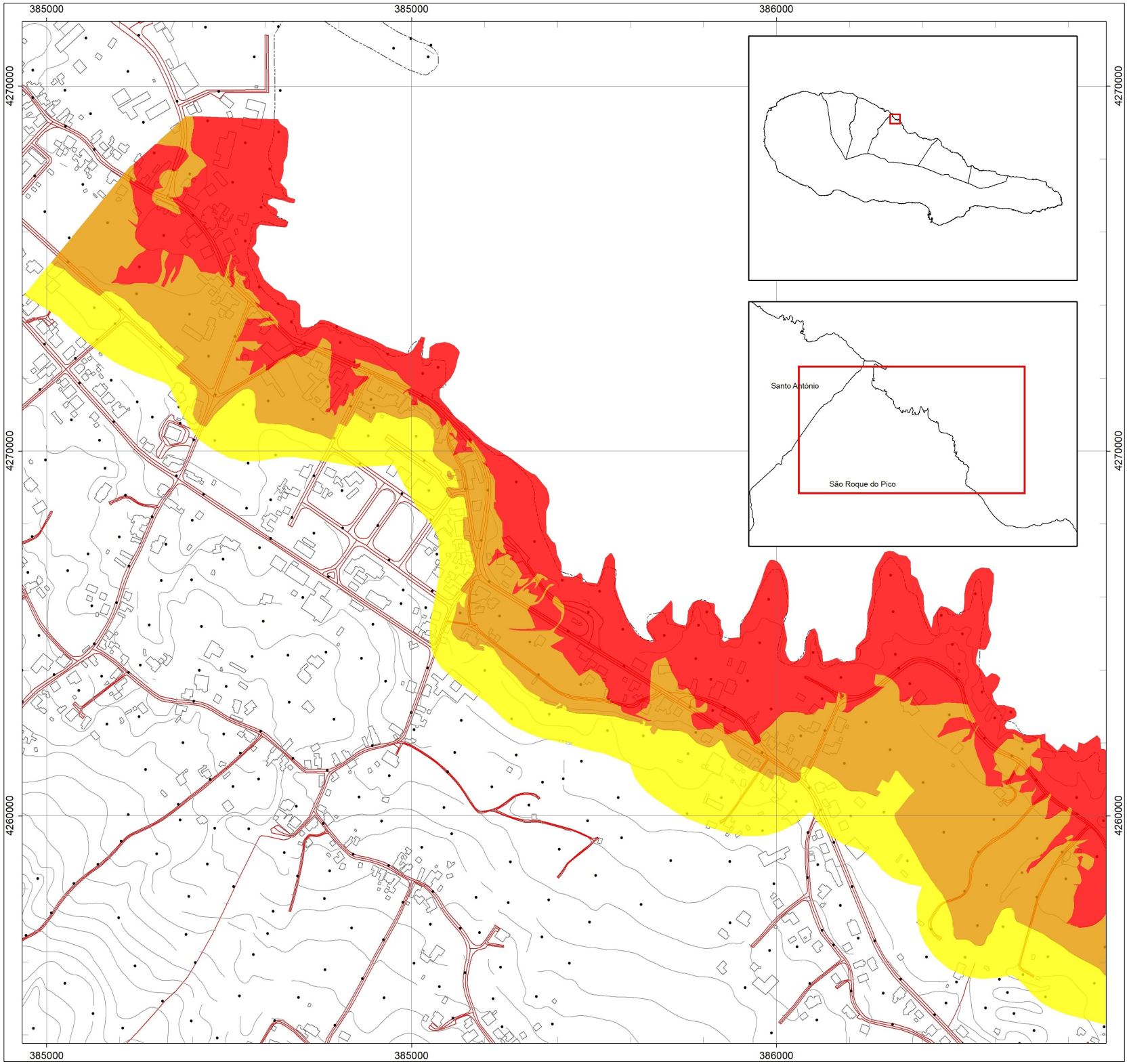
Altimetria
- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000

Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc Universidade dos Açores
Gaspar Frutuoso
AÇORES 2020 Programa Operacional FEDER FSE
Governo dos Açores
PORTUGAL 2020
União Europeia Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS
2019

Suscetibilidade ao Galgamento e Inundação Costeira
São Roque do Pico - Pico | 1

Suscetibilidade
- Nula
- Baixa
- Moderada
- Elevada

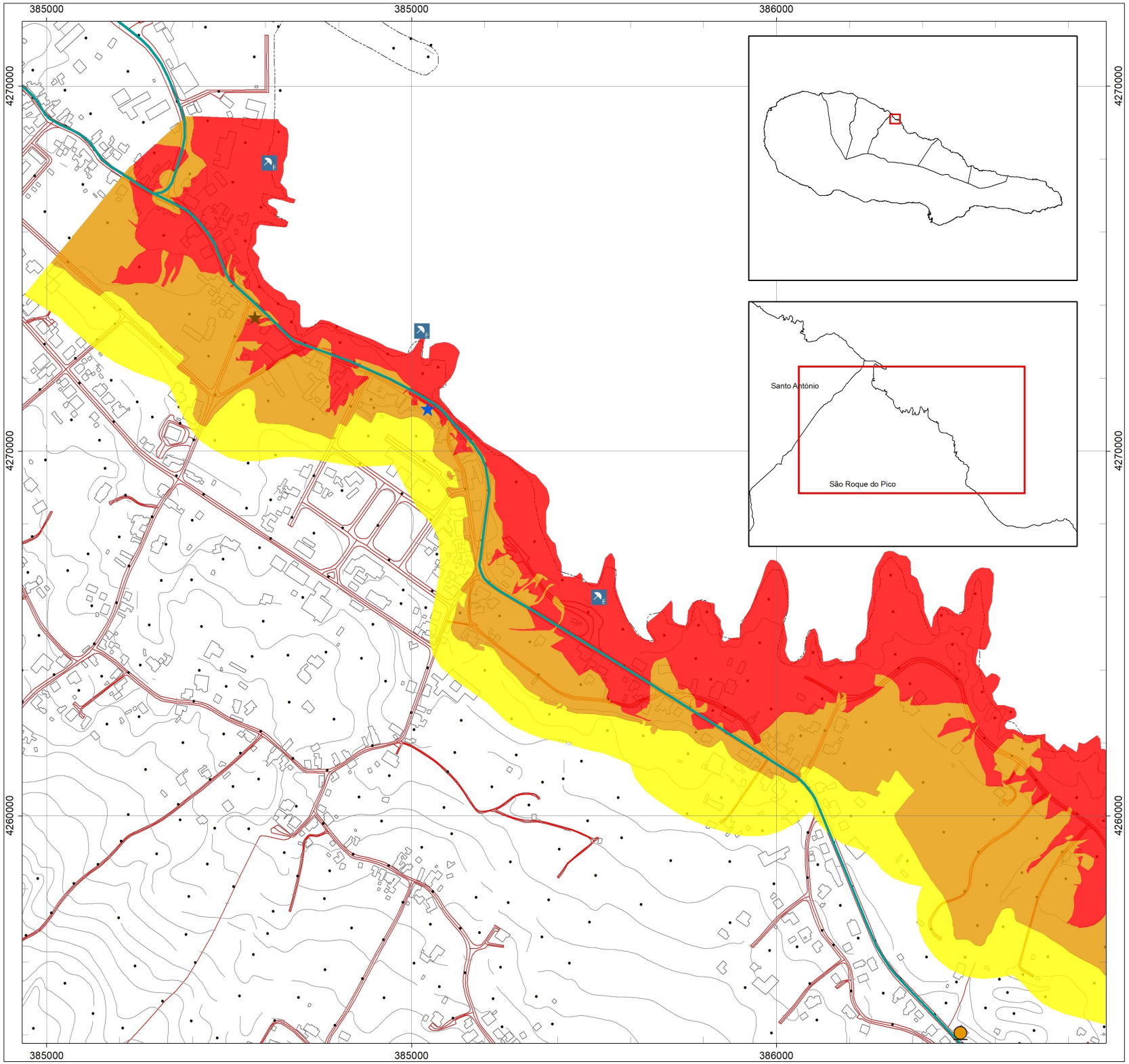
Outros elementos
- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

Altimetria
- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000
Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Gaspar Frutuoso
AÇORES 2020 PROGRAMA OPERACIONAL FEDER FSE
GOVERNO DOS AÇORES
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS
2019

Suscetibilidade ao Galgamento e Inundação Costeira
São Roque do Pico - Pico | 1

Suscetibilidade
- Nula
- Baixa
- Moderada
- Elevada

Elementos Expostos
- PCIP
- Guarda Nacional Republicana
- Polícia Marítima
- Rede de estradas regional
- Áreas/zonas balneares

Rede Natura 2000 - ZPE
- Furnas Santo António

Parque Natural de Ilha
- Área Protegida para a Gestão de Habitats ou Espécies das Furnas de Santo António

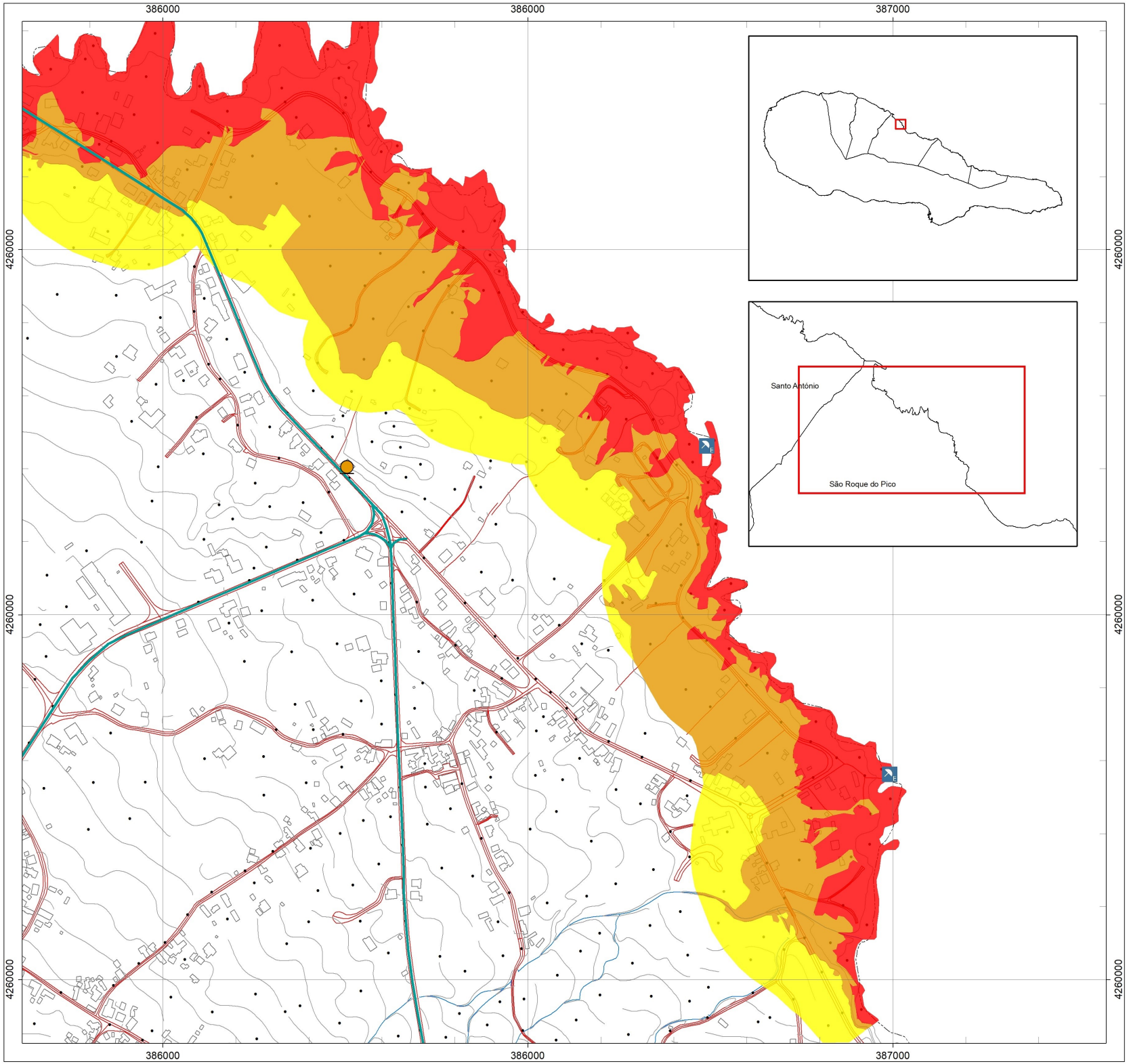
Outros elementos
- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

Altimetria
- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000
Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Gaspar Frutuoso
AÇORES 2020 PROGRAMA OPERACIONAL FEDER FSE
GOVERNO DOS AÇORES
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA

plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS

2019

Suscetibilidade ao Galgamento e Inundação Costeira
São Roque do Pico - Pico | 2

Suscetibilidade

- Nula
- Baixa
- Moderada
- Elevada

Elementos Expostos

- PCIP
- Guarda Nacional Republicana
- Polícia Marítima
- Rede de estradas regional
- Áreas/zonas balneares

Rede Natura 2000 - ZPE

- Furnas Santo António

Parque Natural de Ilha

- Área Protegida para a Gestão de Habitats ou Espécies das Furnas de Santo António

Outros elementos

- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

Altimetria

- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000

Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES

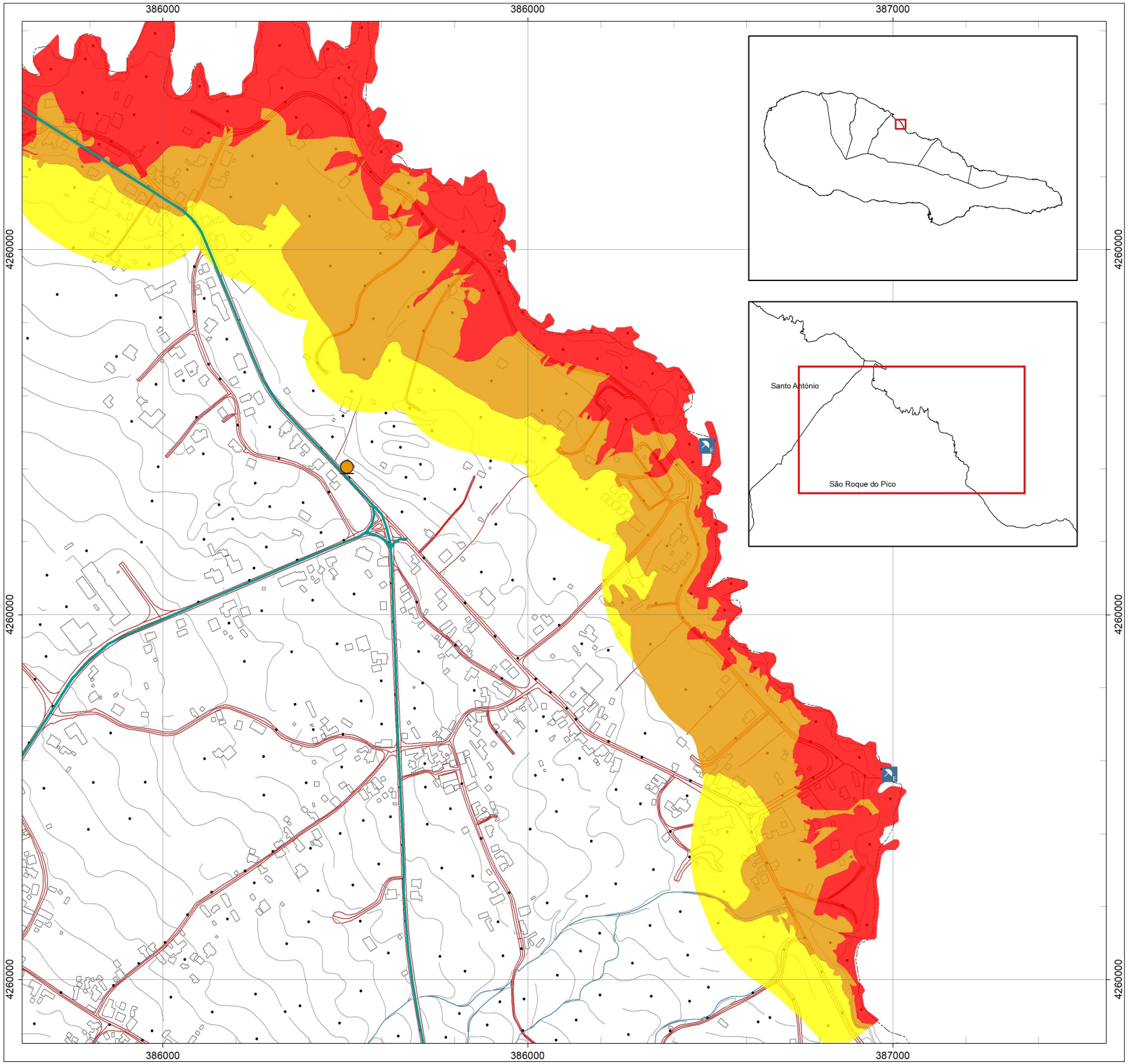
Gaspar Frutuoso

AÇORES 2020 PROGRAMA OPERACIONAL FEDER FSE

GOVERNO DOS AÇORES

PORTUGAL 2020

UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA

plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS

2019

Suscetibilidade ao Galgamento e Inundação Costeira
São Roque do Pico - Pico | 2

Suscetibilidade

- Nula
- Baixa
- Moderada
- Elevada

Elementos Expostos

- PCIP
- Guarda Nacional Republicana
- Polícia Marítima
- Rede de estradas regional
- Áreas/zonas balneares

Rede Natura 2000 - ZPE

- Furnas Santo António

Parque Natural de Ilha

- Área Protegida para a Gestão de Habitats ou Espécies das Furnas de Santo António

Outros elementos

- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

Altimetria

- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000

Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES

Gaspar Frutuoso

AÇORES 2020 PROGRAMA OPERACIONAL FEDER FSE

GOVERNO DOS AÇORES

PORTUGAL 2020

UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

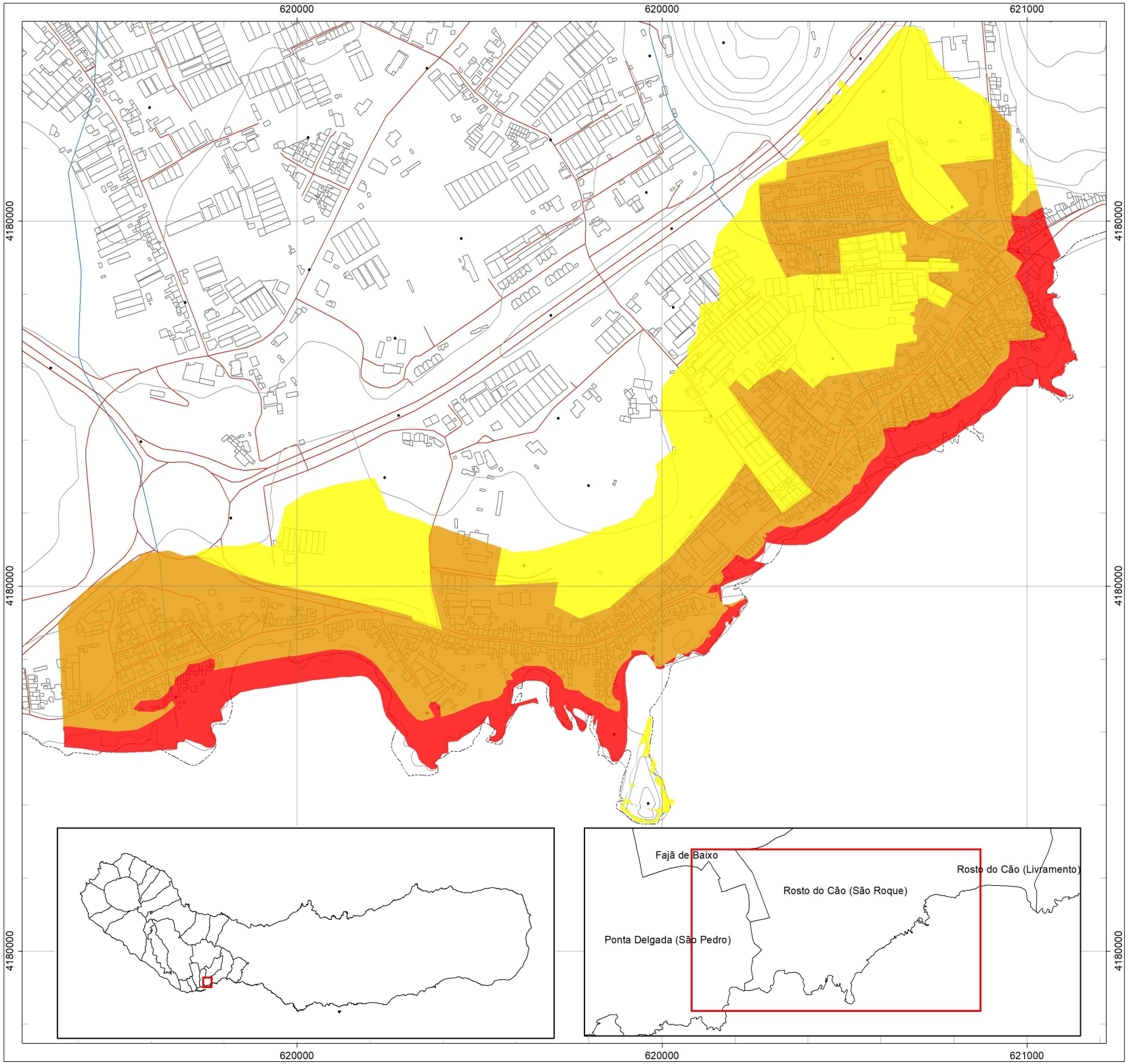
ANEXO II – CARTAS DE RISCO AO GALGAMENTO E INUNDAÇÃO COSTEIRA (ESCALA 1:5000)

PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS
2019

Risco ao Galgamento e Inundação Costeira
São Roque - São Miguel



Risco

- Nulo
- Baixo
- Moderado
- Elevado

Outros elementos

- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

Altimetria

- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000

Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Gaspar Frutuoso

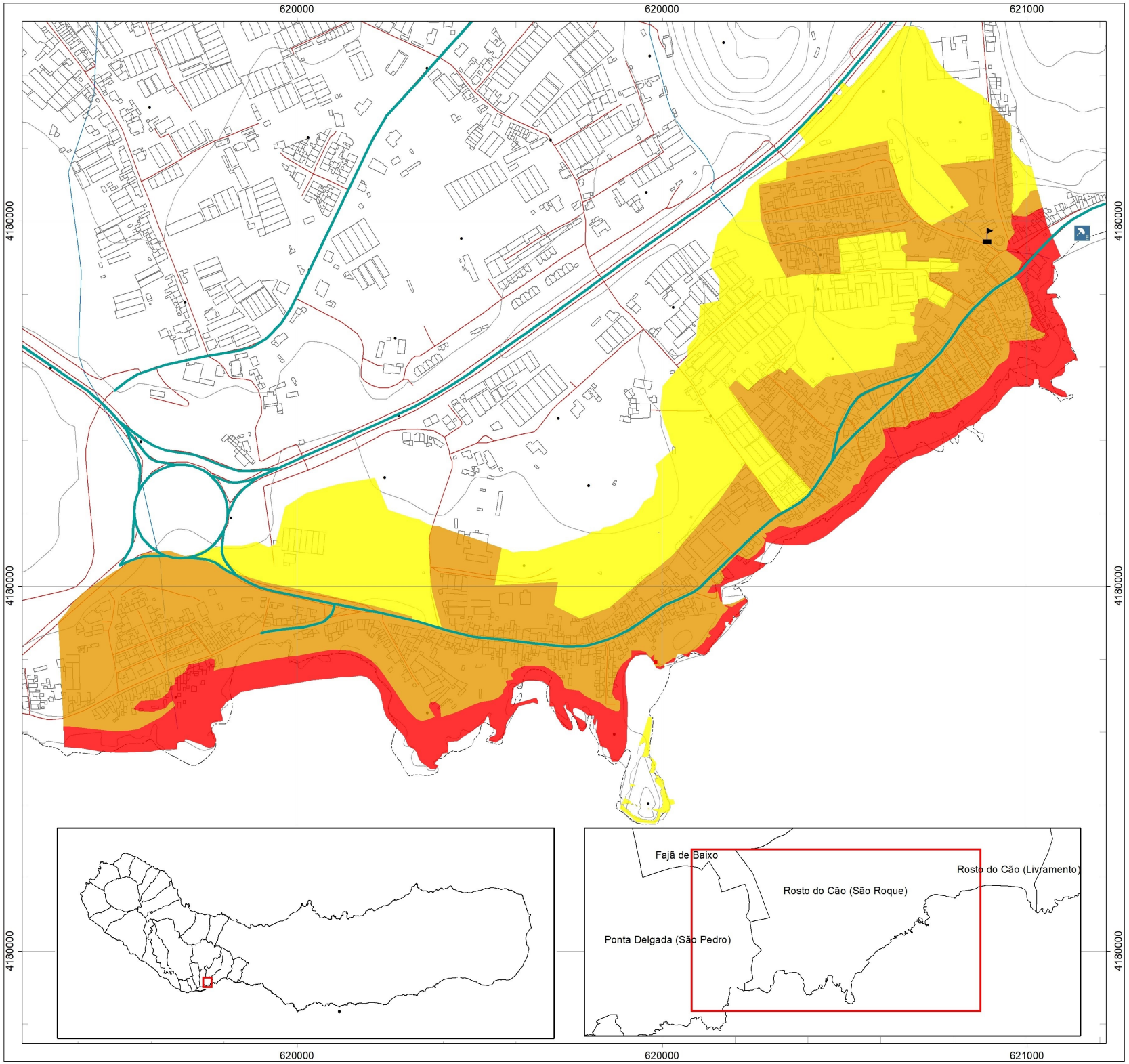
AÇORES 2020 PROGRAMA OPERACIONAL FEDER FSE
GOVERNO DOS AÇORES
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS
2019

Risco ao Galgamento e Inundação Costeira
São Roque - São Miguel



Risco
- Nulo
- Baixo
- Moderado
- Elevado

Elementos Expostos
- Património arqueológico
- ETAR
- Rede de estradas regional
- Áreas/zonas balneares

Edifícios Escolares
- Escola Básica São Roque nº8

Alojamento
- Aparthotel Barracuda
- Hotel Azor

Outros elementos
- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

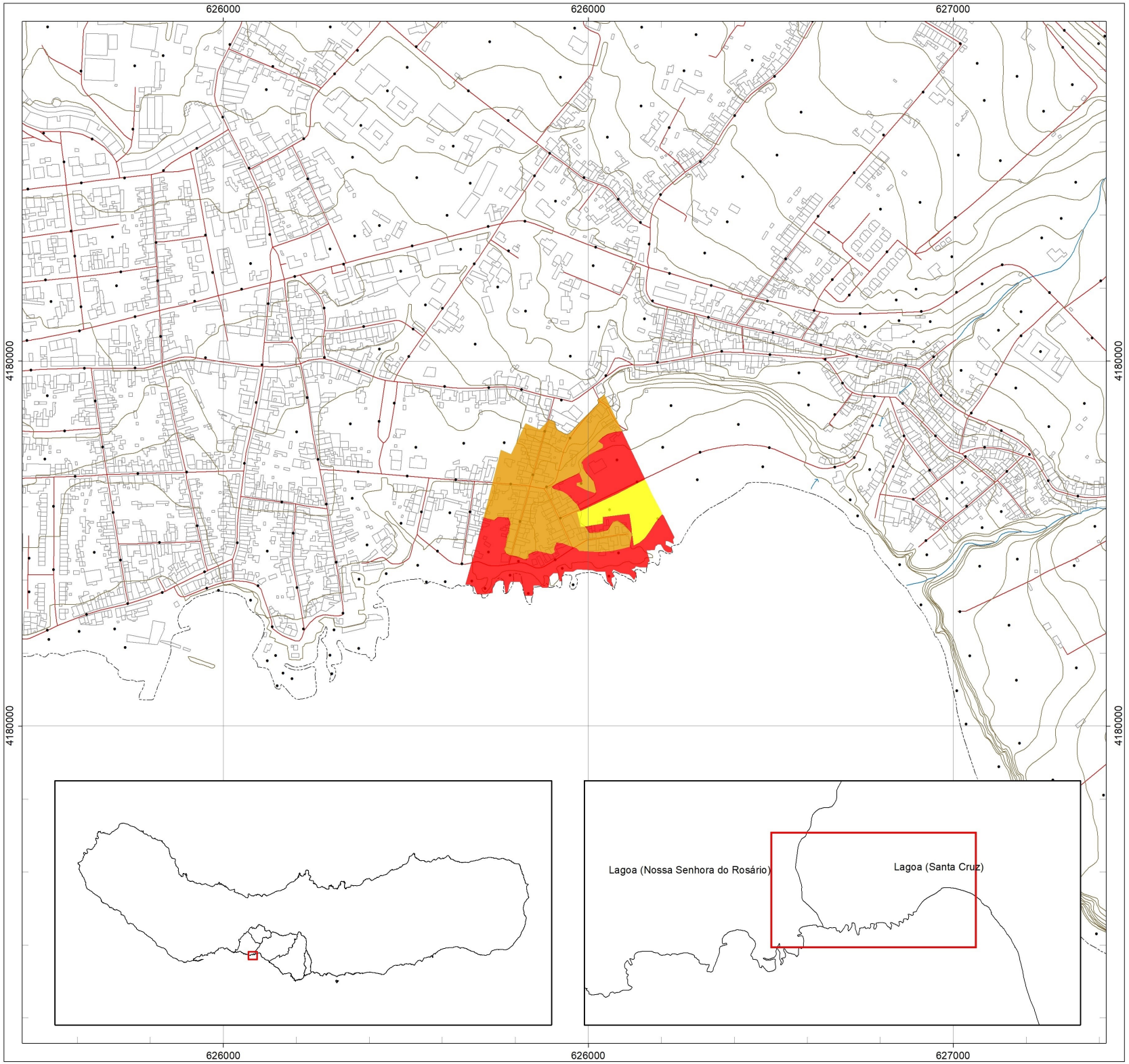
Altimetria
- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000
Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Gaspar Frutuoso

AÇORES 2020 PROGRAMA OPERACIONAL FEDER FSE
GOVERNO DOS AÇORES
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS
2019

Risco ao Galgamento e Inundação Costeira Lagoa - São Miguel

Risco

- Baixo
- Moderado
- Elevado

Outros elementos

- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

Altimetria

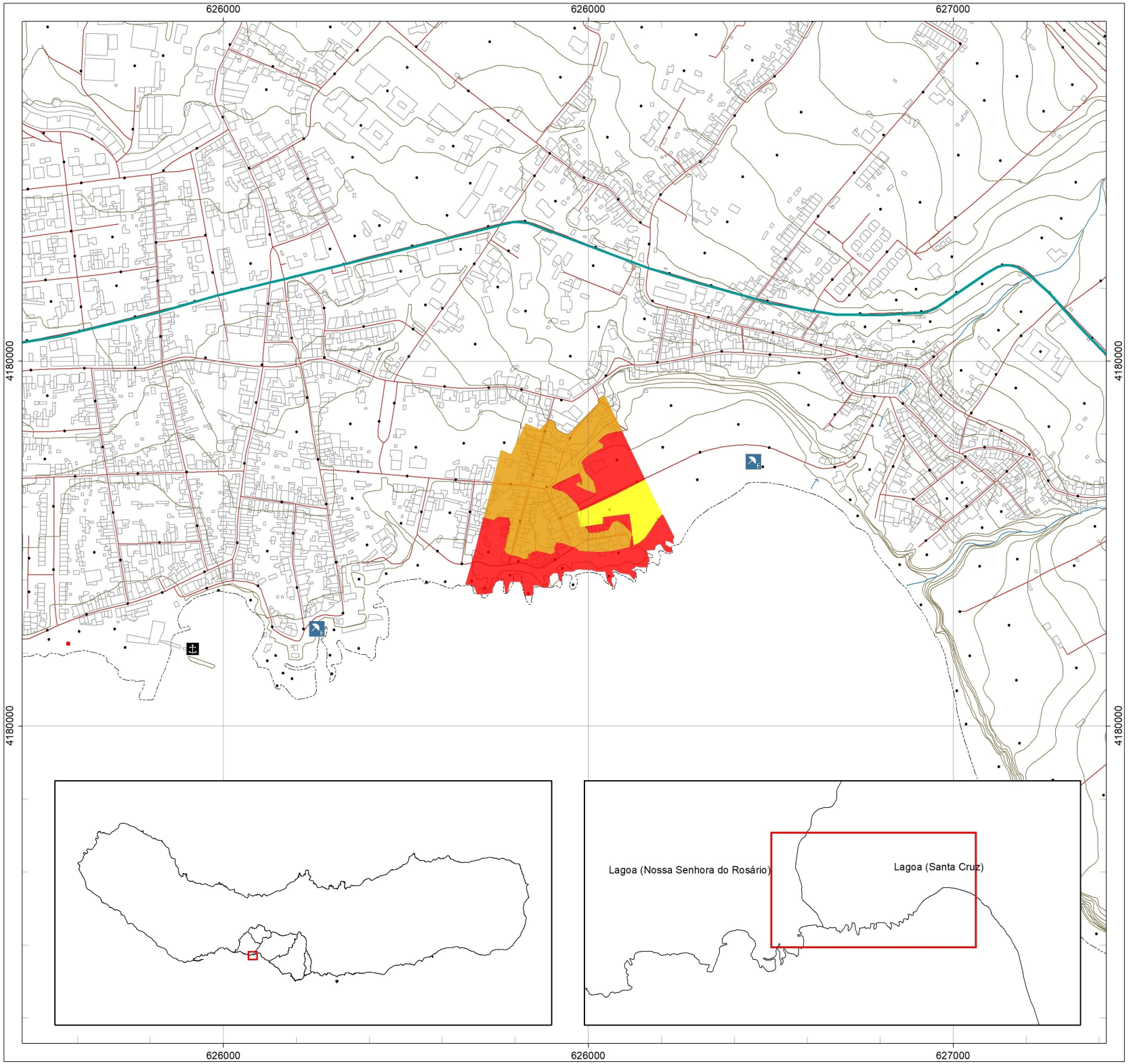
- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000

Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Gaspar Frutuoso
AÇORES 2020
GOVERNO DOS AÇORES
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS
2019

Risco ao Galgamento e Inundação Costeira
Lagoa - São Miguel

Risco
- Baixo
- Moderado
- Elevado

Elementos Expostos
- Rede de estradas regional
- Porto de Pesca - Classe D
- Áreas/zonas balneares

Outros elementos
- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

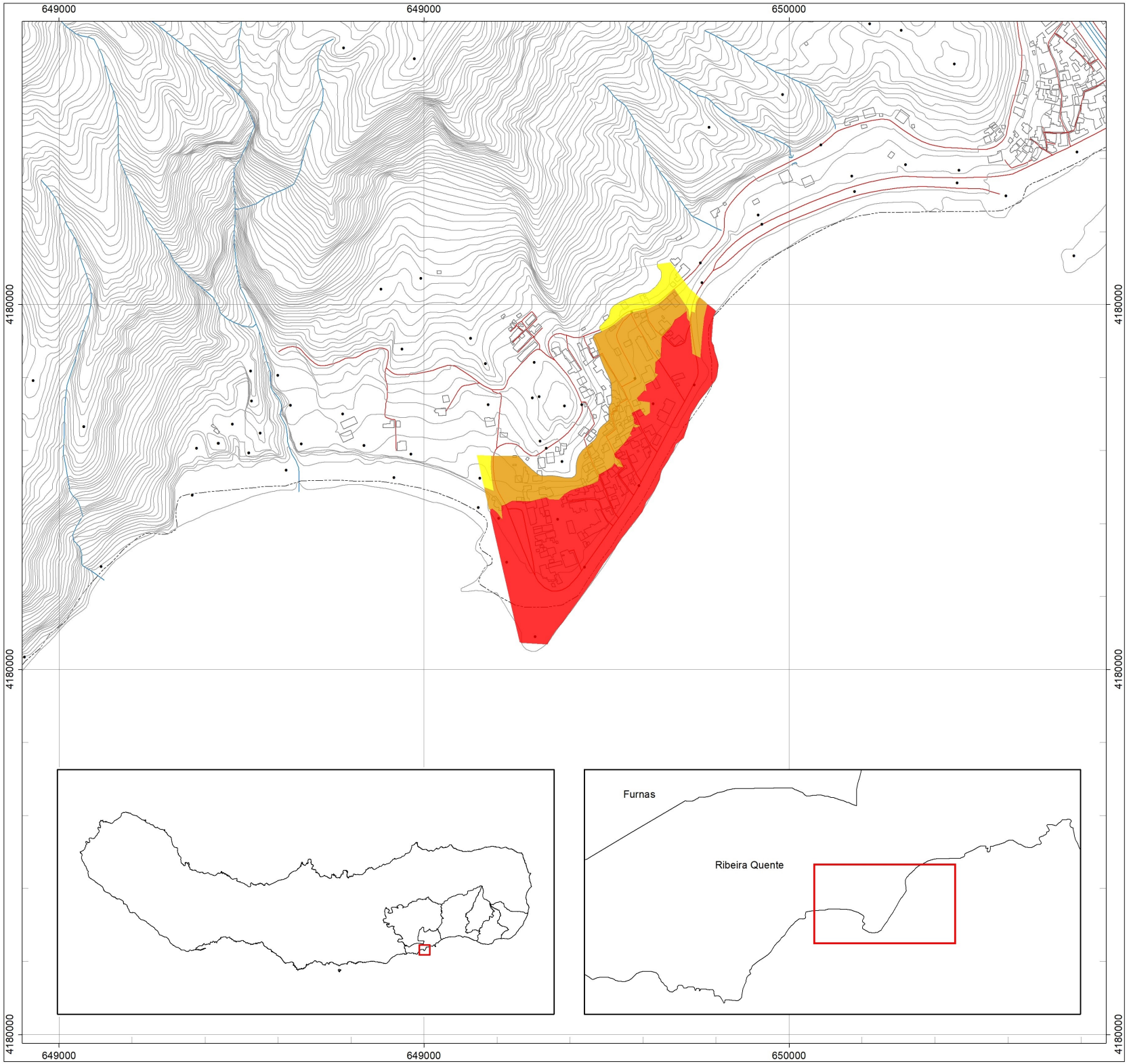
Altimetria
- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000

Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Gaspar Frutuoso
AÇORES 2020
GOVERNO DOS AÇORES
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS
2019

Risco ao Galgamento e Inundação Costeira
Ribeira Quente - São Miguel

Risco

- Nulo
- Baixo
- Moderado
- Elevado

Outros elementos

- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

Altimetria

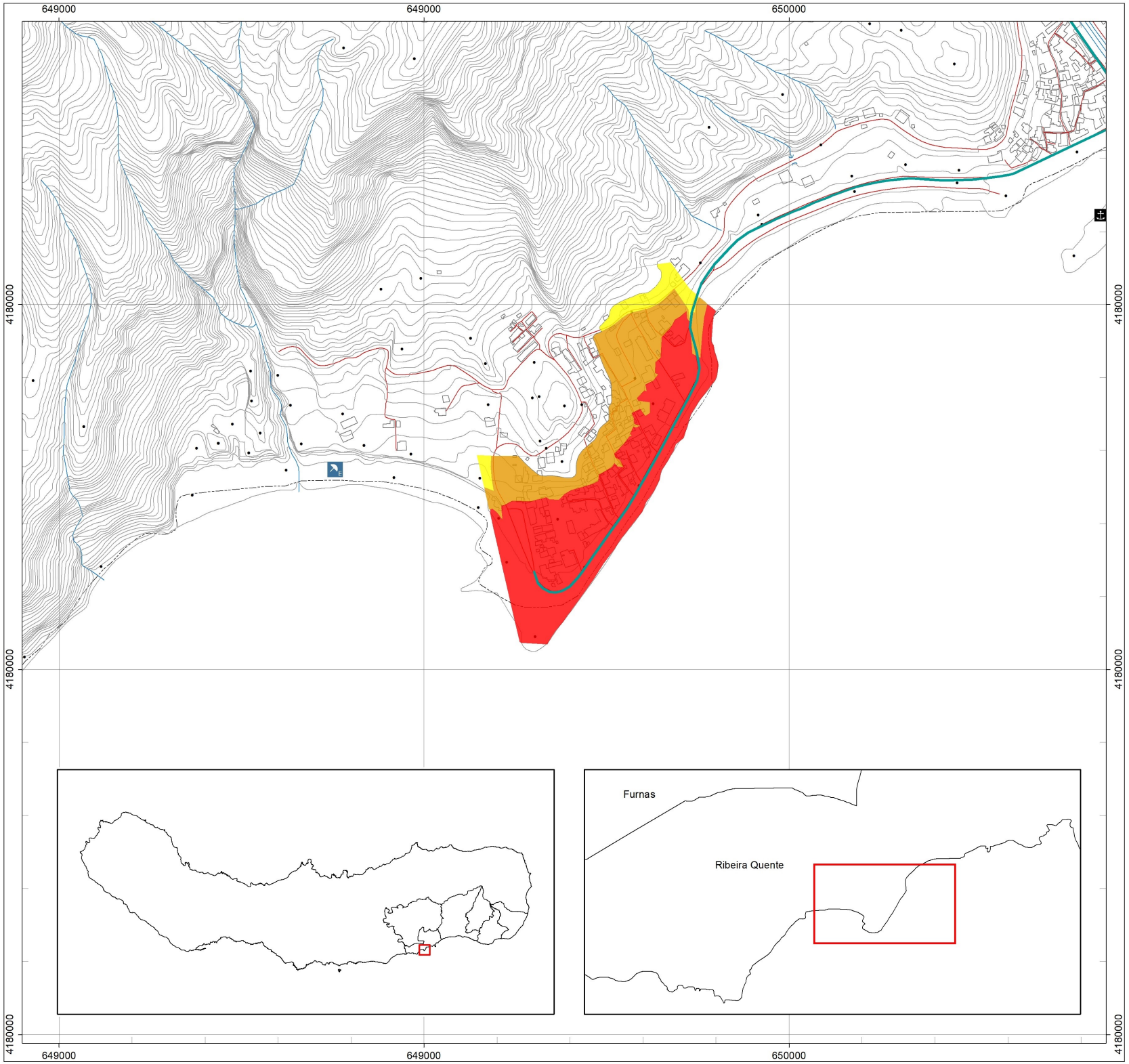
- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000

Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Gaspar Frutuoso
AÇORES 2020 PROGRAMA OPERACIONAL FEDER FSE
GOVERNO DOS AÇORES
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS
2019

Risco ao Galgamento e Inundação Costeira
Ribeira Quente - São Miguel

Risco
- Nulo
- Baixo
- Moderado
- Elevado

Elementos Expostos
- Rede de estradas regional
- Áreas/zonas balneares
- Porto de Pesca - Classe D

Outros elementos
- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

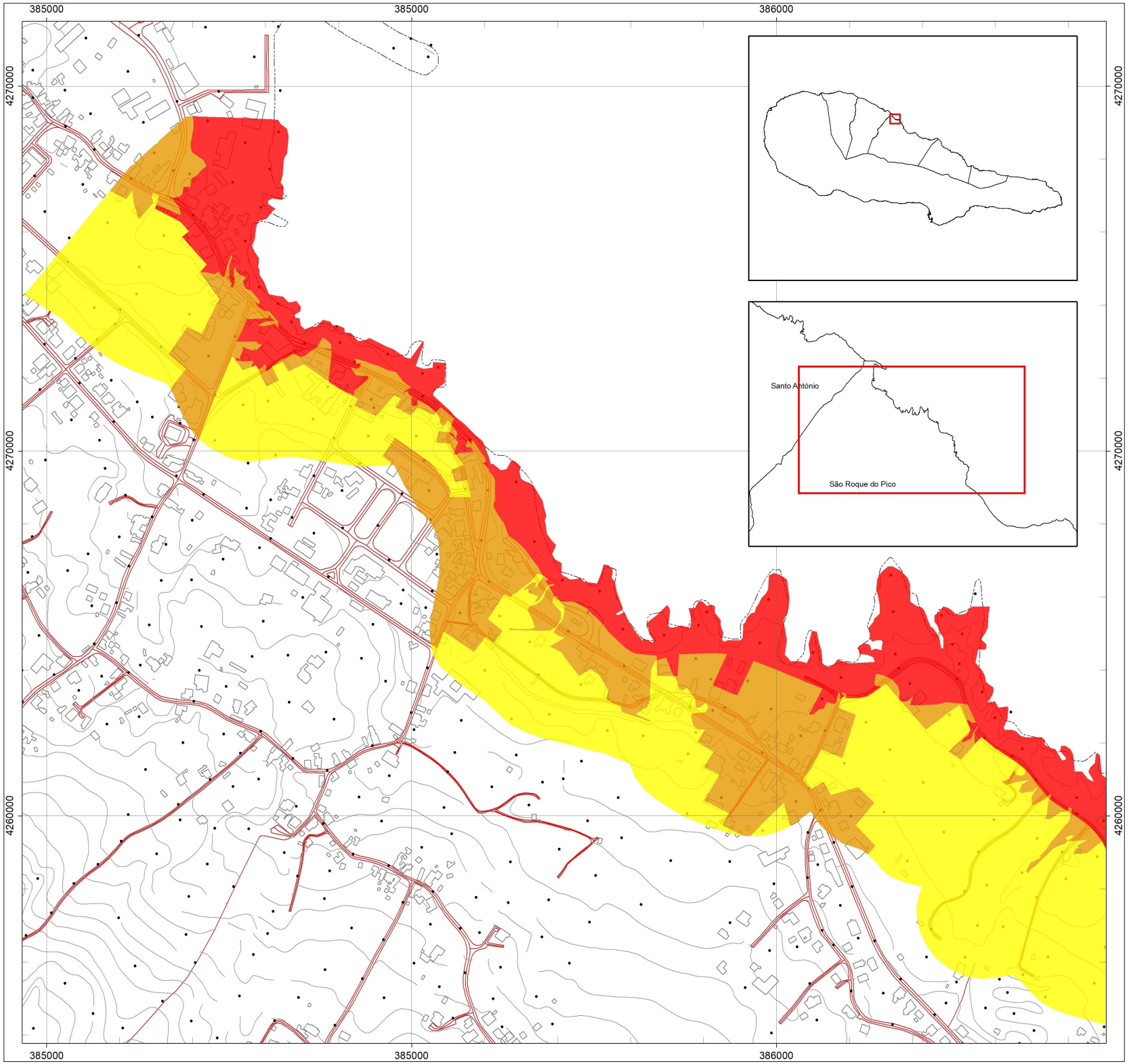
Altimetria
- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000

Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc Universidade dos Açores
Gaspar Frutuoso
AÇORES 2020 Programa Operacional FEDER FSE
Governo dos Açores
Portugal 2020
União Europeia Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS
2019

Risco ao Galgamento e Inundação Costeira
São Roque do Pico - Pico | 1

Risco
- Baixo
- Moderado
- Elevado

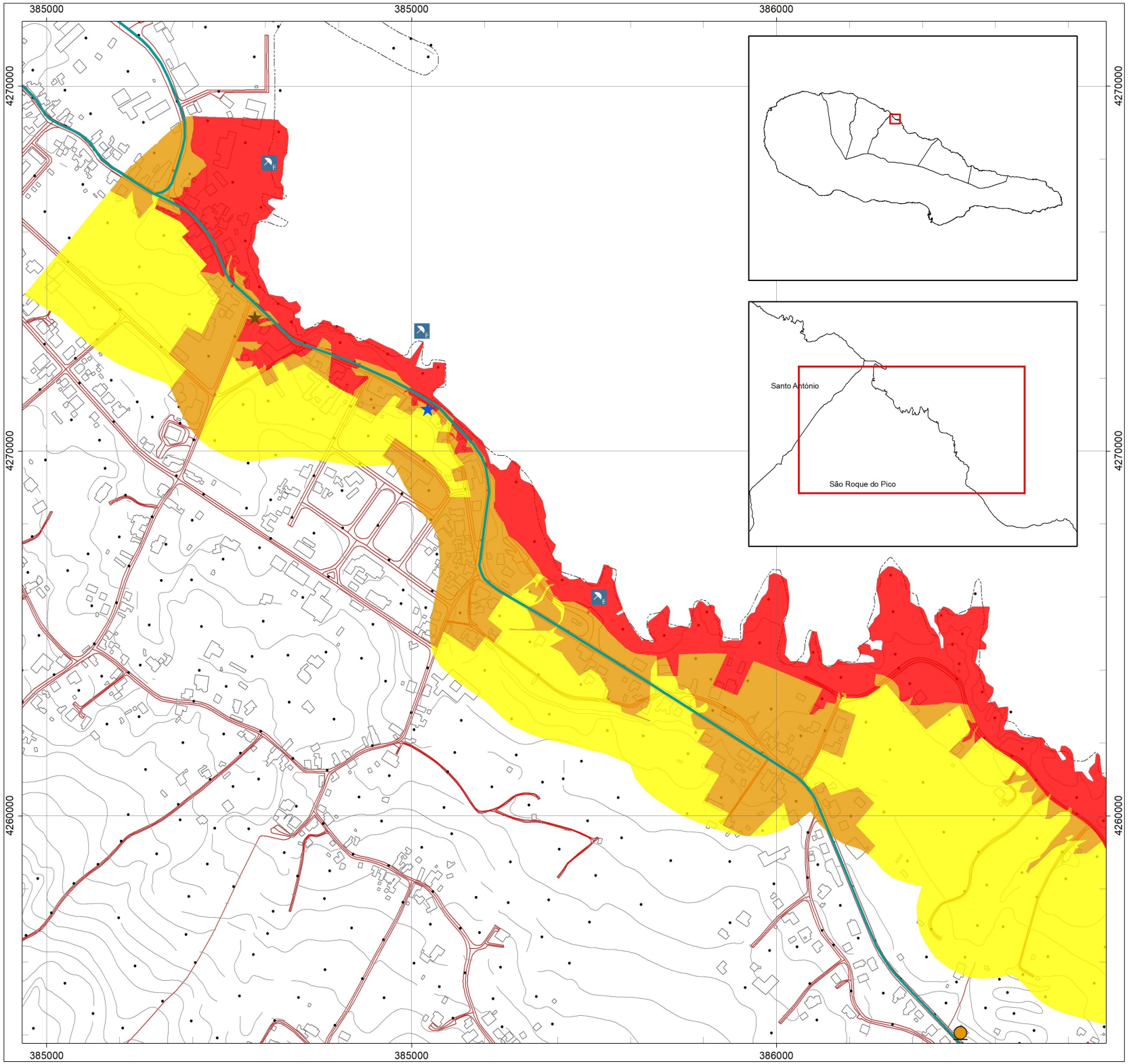
Outros elementos
- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

Altimetria
- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000
Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Gaspar Frutuoso
AÇORES 2020
GOVERNO DOS AÇORES
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS
2019

Risco ao Galgamento e Inundação Costeira
São Roque do Pico - Pico | 1

Risco
- Baixo
- Moderado
- Elevado

Elementos Expostos
- PCIP
- Guarda Nacional Republicana
- Polícia Marítima
- Rede de estradas regional
- Áreas/zonas balneares

Rede Natura 2000 - ZPE
- Furnas Santo António

Parque Natural de Ilha
- Área Protegida para a Gestão de Habitats ou Espécies das Furnas de Santo António

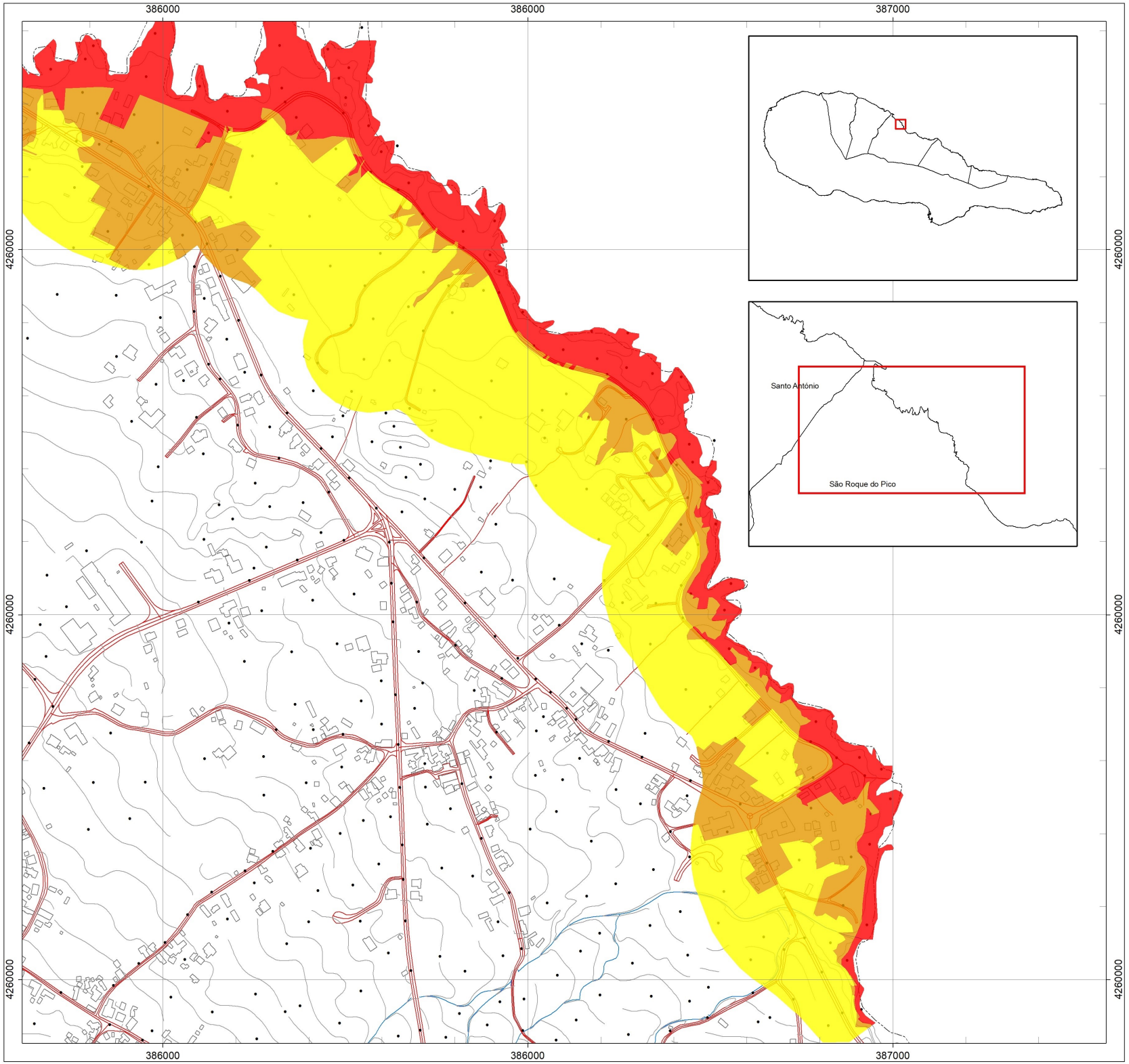
Outros elementos
- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

Altimetria
- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000
Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Gaspar Frutuoso
AÇORES 2020 PROGRAMA OPERACIONAL FEDER FSE
GOVERNO DOS AÇORES
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS
2019

Risco ao Galgamento e Inundação Costeira
São Roque do Pico - Pico | 2

Risco
- Baixo
- Moderado
- Elevado

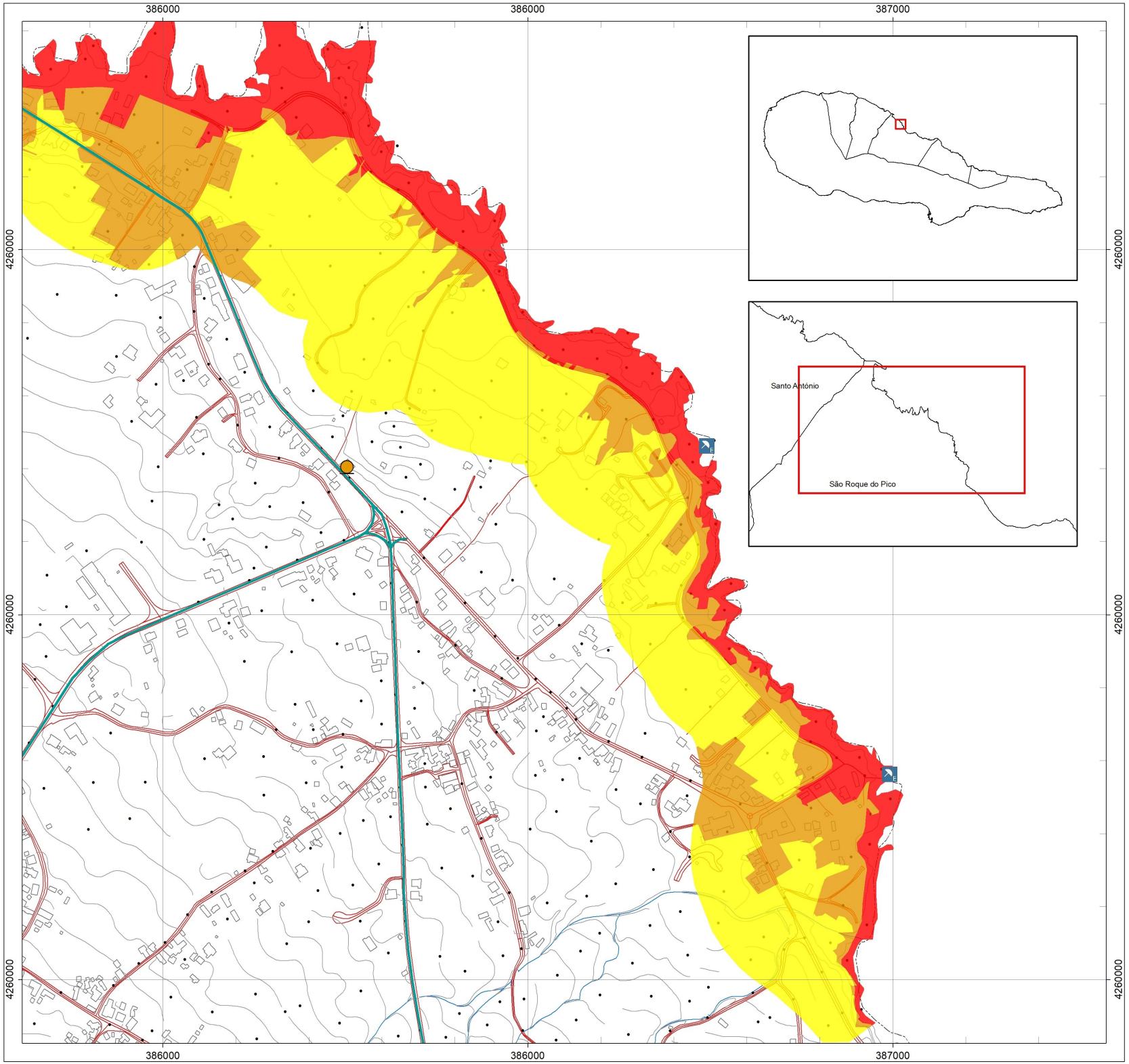
Outros elementos
- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

Altimetria
- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000
Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Gaspar Frutuoso
AÇORES 2020 PROGRAMA OPERACIONAL FEDER FSE
GOVERNO DOS AÇORES
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



PGRIA
plano de gestão de riscos de inundações da Região Autónoma dos Açores

2º Ciclo de Planeamento

ZONAS INUNDÁVEIS E RISCOS DE INUNDAÇÕES COSTEIRAS
2019

Risco ao Galgamento e Inundação Costeira
São Roque do Pico - Pico | 2

Risco
- Baixo
- Moderado
- Elevado

Elementos Expostos
- PCIP
- Guarda Nacional Republicana
- Polícia Marítima
- Rede de estradas regional
- Áreas/zonas balneares

Rede Natura 2000 - ZPE
- Furnas Santo António

Parque Natural de Ilha
- Área Protegida para a Gestão de Habitats ou Espécies das Furnas de Santo António

Outros elementos
- Limite de ilha
- Planimetria
- Rede viária
- Hidrografia

Altimetria
- Curvas de nível
- Pontos cotados

0 50 100 200
m

Escala: 1:5 000
Cartografia de referência: Cartografia 1:5000, DSOTRH.
Sistema de referência: EPSG: 32626 (WGS 84/UTM 26N)

UAc UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Gaspar Frutuoso
AÇORES 2020 PROGRAMA OPERACIONAL FEDER FSE
GOVERNO DOS AÇORES
PORTUGAL 2020
UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

Relatório 2 – Riscos de inundação fluvial

ELABORAÇÃO DA REAVALIAÇÃO DOS RISCOS DE INUNDAÇÕES NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DOS AÇORES - 2.º CICLO DE PLANEAMENTO

Fase 2 – Elaboração das cartas de zonas inundáveis para áreas de risco

R.F. Silva e R. Marques

DTC 004/IVAR/CIVISA/20

CENTRO DE INFORMAÇÃO E VIGILÂNCIA SISMOVULCÂNICA DOS AÇORES

INSTITUTO DE INVESTIGAÇÃO EM VULCANOLOGIA E AVALIAÇÃO DE RISCOS

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO 1

2. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS 8

3. DESCRIÇÃO E LEVANTAMENTO DOCUMENTAL DO IMPACTE DAS CHEIAS 12
3.1 Bacia hidrográfica da Grota da Areia 12
3.2 Bacia hidrográfica da Grota do Cinzeiro 14
3.3 Bacia hidrográfica da Ribeira de São Bento 17
3.4 Bacia hidrográfica da Ribeira da Casa da Ribeira 19
3.5 Bacia hidrográfica da Ribeira Seca 21
3.5 Bacia hidrográfica da Ribeira do Dilúvio 23

4. IDENTIFICAÇÃO E CARTOGRAFIA DOS ELEMENTOS DE VULNERABILIDADE AFETADOS PELAS CHEIAS 25
4.1 Bacia hidrográfica da Grota da Areia 25
4.2 Bacia hidrográfica da Grota do Cinzeiro 27
4.3 Bacia hidrográfica da Ribeira de São Bento 29
4.4 Bacia hidrográfica da Ribeira da Casa da Ribeira 31
4.5 Bacia hidrográfica da Ribeira Seca 33
4.6 Bacia hidrográfica da Ribeira do Dilúvio 35

5. MODELAÇÃO DE FLUXOS GRAVÍTICOS 37
5.1 Seleção do modelo utilizado 37
5.2. Parâmetros utilizados na modelação 38
5.3 Validação e Classificação dos Mapas de Suscetibilidade 39
5.4. Resultados da modelação numérica 42

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 49

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 50

1. INTRODUÇÃO

O presente documento técnico-científico enquadra-se no âmbito do procedimento por ajuste direto n.º 45/DRA/2018, para aquisição de serviços de "Elaboração da reavaliação dos riscos de inundações na Região Hidrográfica dos Açores – 2.º ciclo de planeamento ", realizado ao abrigo do contrato n.º 40/DRA/2018, celebrado no dia 2 de agosto de 2018, entre a Região Autónoma dos Açores, através da Direção Regional do Ambiente da Secretaria Regional da Energia, Ambiente e Turismo (DRA-SREAT), e o Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA).

O presente documento tem como objetivo apresentar os resultados dos trabalhos referentes à **Fase 2 – Elaboração das cartas de zonas inundáveis para áreas de risco**, definida na alínea b), do n.º 3 da Cláusula 4.ª do Caderno de Encargos. As bacias hidrográficas sobre as quais incide o trabalho foram selecionadas no decorrer da Fase 1 da prestação de serviços, com base nos critérios apresentados por Silva e Marques (2018), e são as seguintes:

1. Ilha de São Miguel:
    a. Bacia hidrográfica da Grota da Areia (concelho de Ponta Delgada) (Fig. 1);
    b. Bacia hidrográfica da Grota do Cinzeiro (concelho do Nordeste) (Fig. 2).
2. Ilha Terceira:
    a. Bacia hidrográfica da Ribeira de São Bento (concelho de Angra do Heroísmo) (Fig. 3);
    b. Bacia hidrográfica da Ribeira da Casa da Ribeira (concelho de Praia da Vitória) (Fig. 4).
3. Ilha de São Jorge:
    a. Bacia hidrográfica da Ribeira Seca (concelho da Calheta) (Fig. 5).
4. Ilha do Pico:
    a. Bacia hidrográfica da Ribeira do Dilúvio (concelho da Madalena) (Fig. 6).

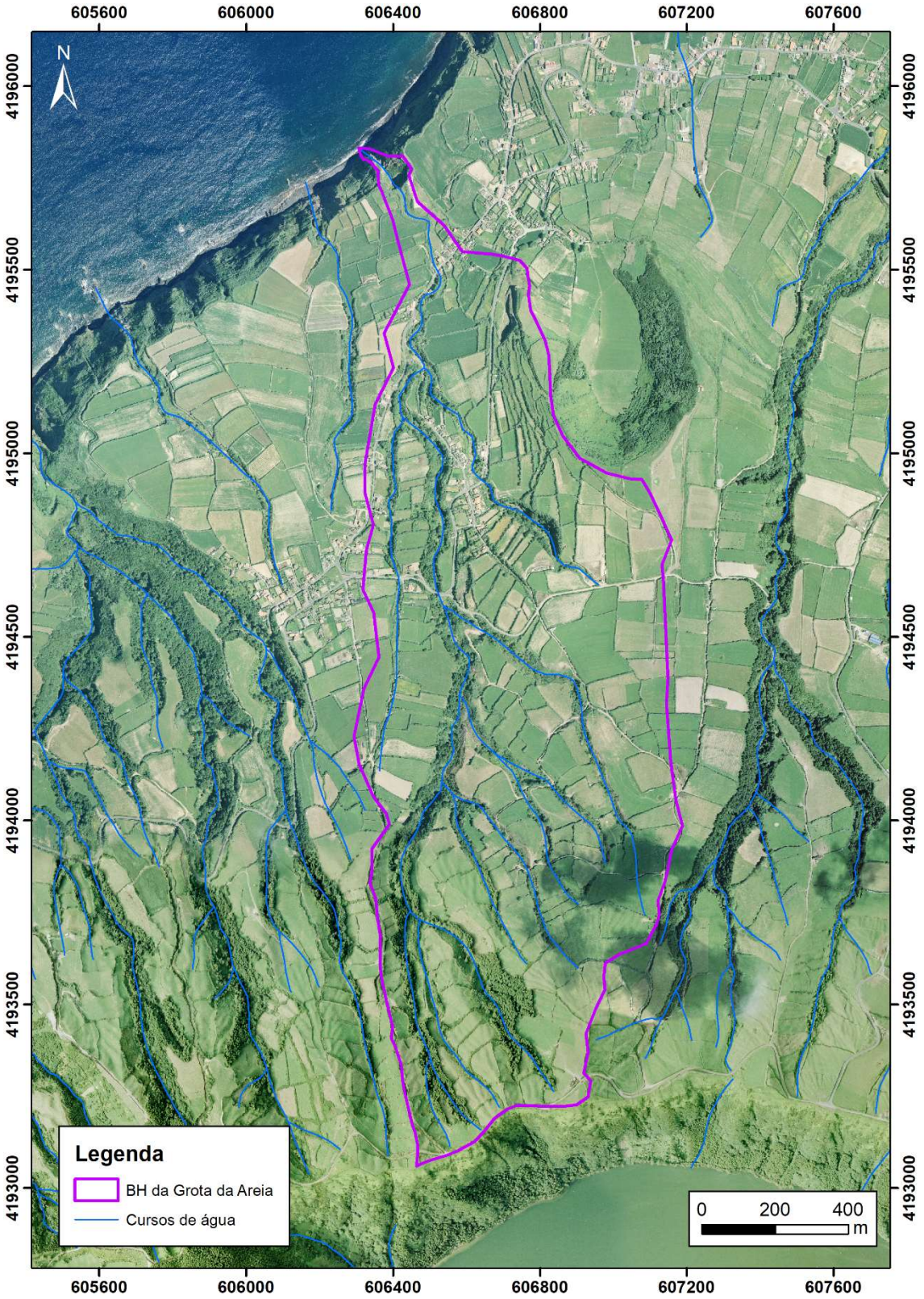


Figura 1 – Bacia hidrográfica da Grota da Areia
(concelho de Ponta Delgada, ilha de São Miguel).

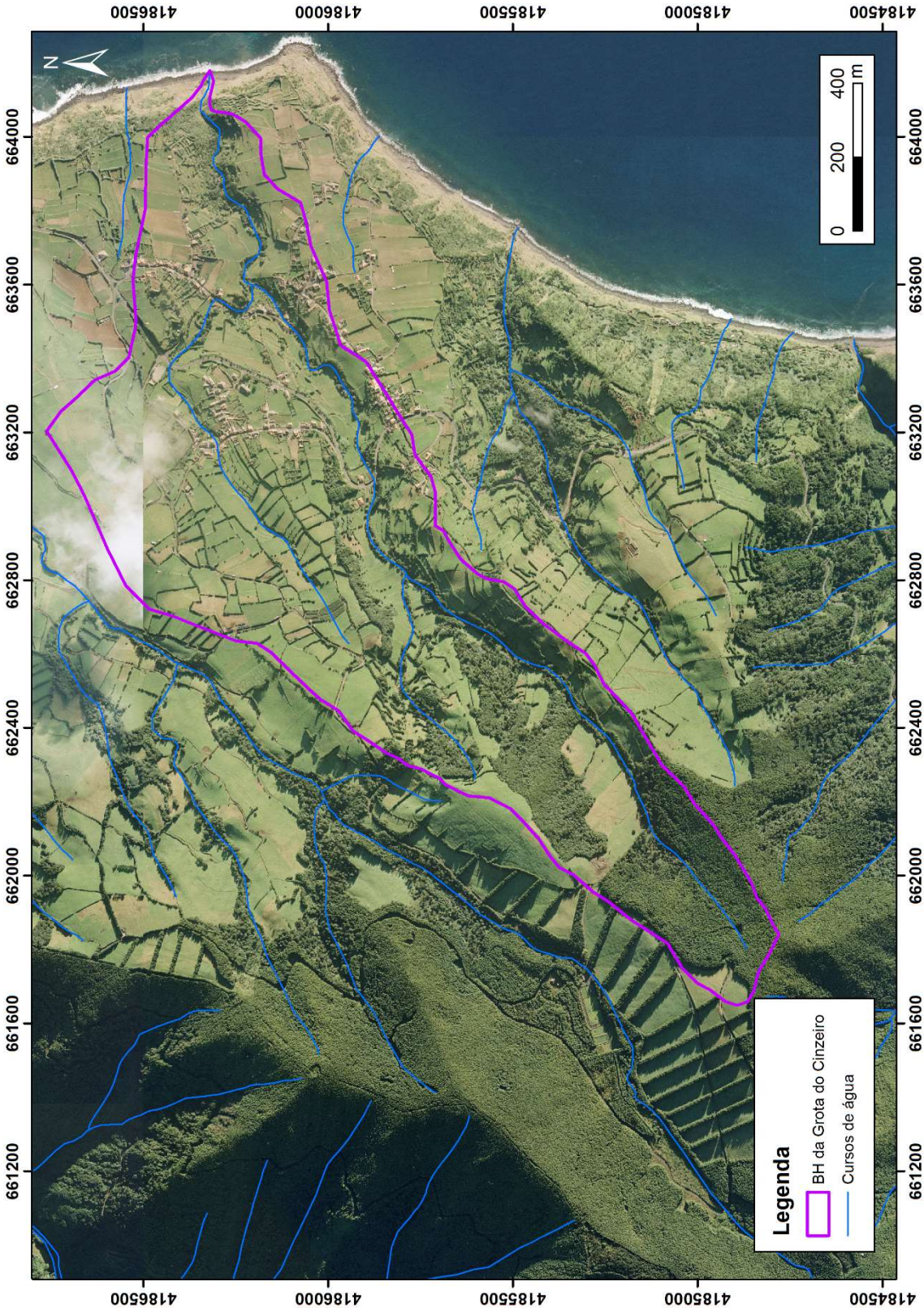


Figura 2 – Bacia hidrográfica da Grota do Cinzeiro
(concelho do Nordeste, ilha de São Miguel).

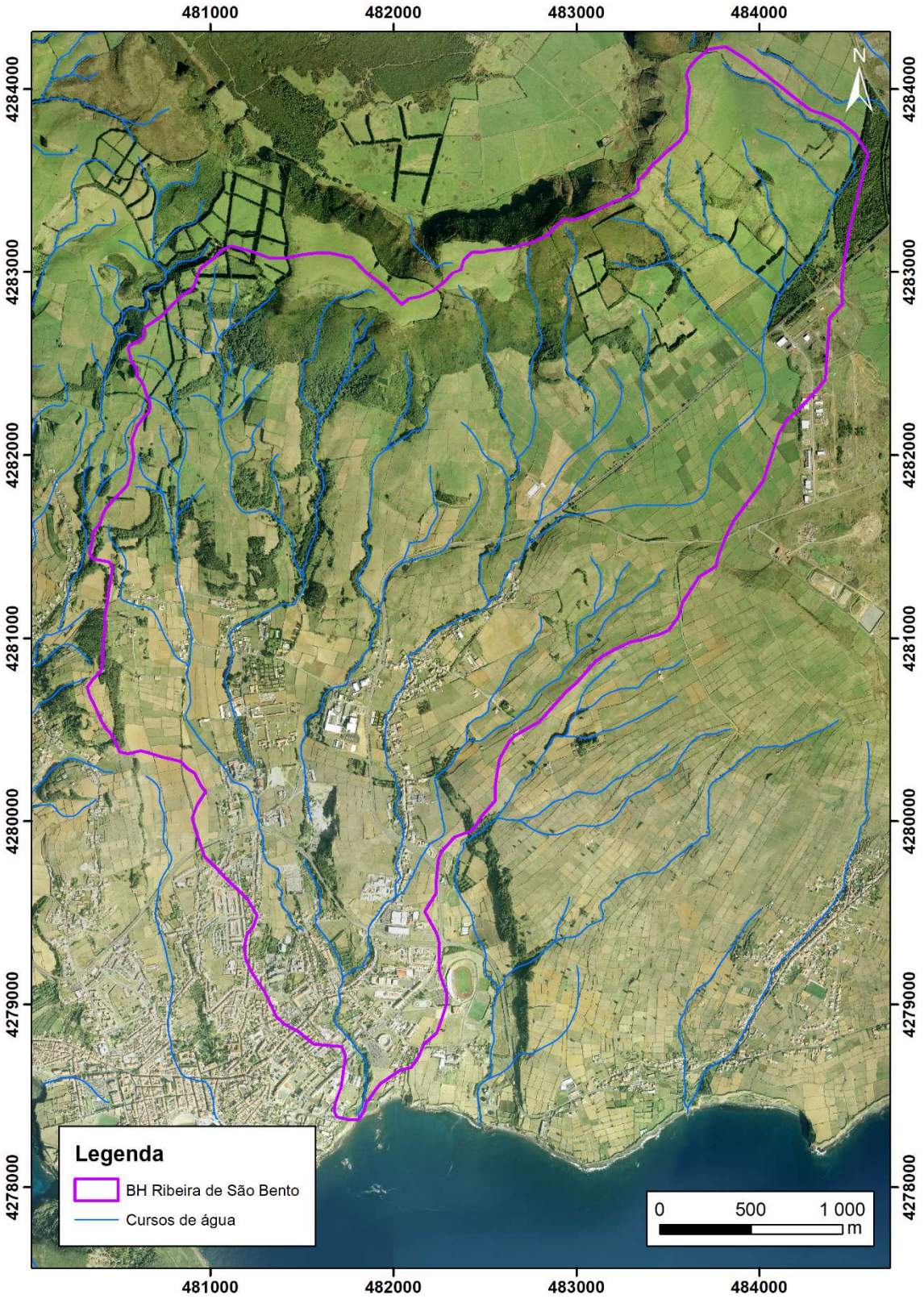


Figura 3 – Bacia hidrográfica da Ribeira de São Bento (concelho de Angra do Heroísmo, ilha Terceira).

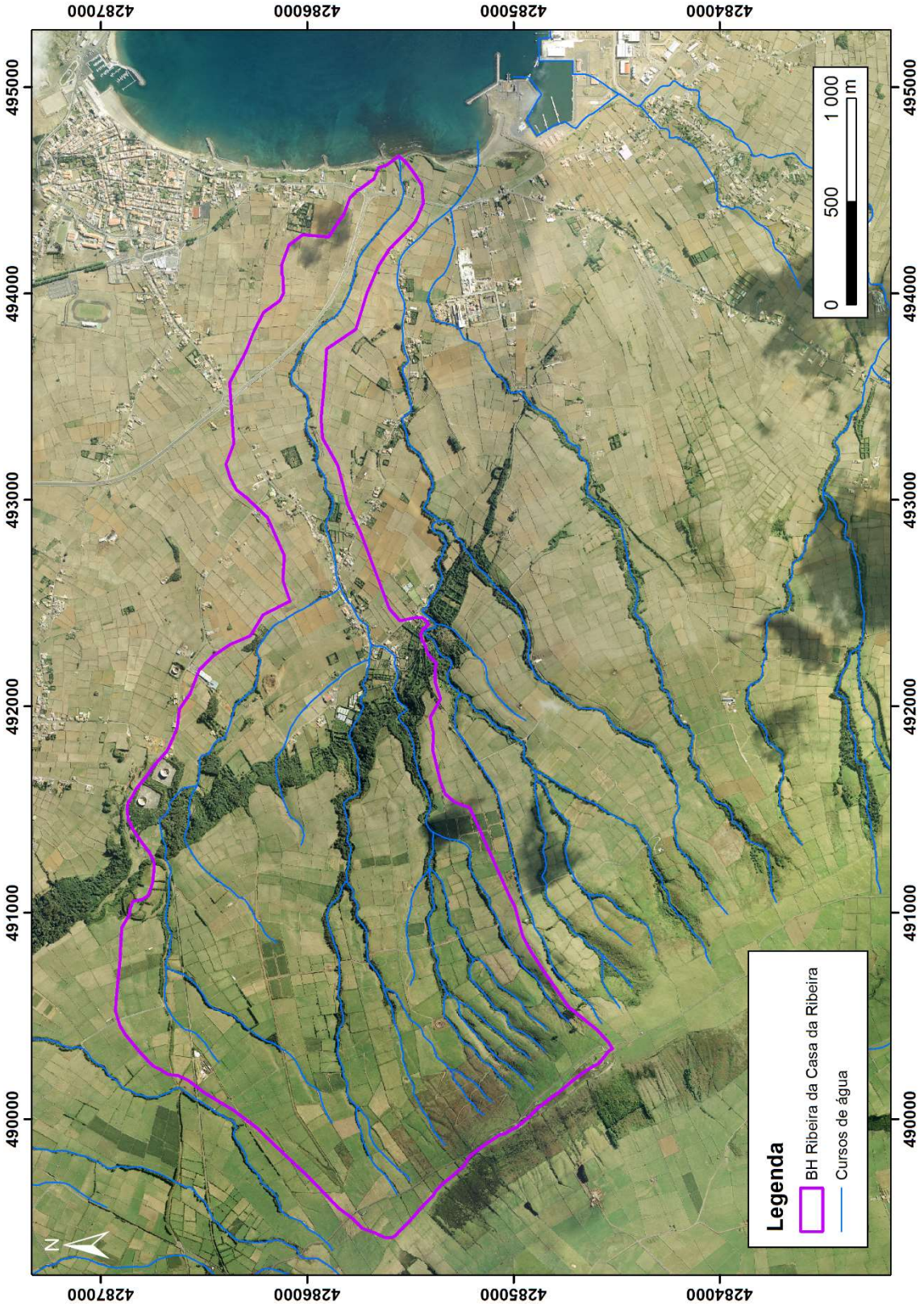


Figura 4 – Bacia hidrográfica da Ribeira da Casa da Ribeira (concelho da Praia da Vitória, ilha Terceira).

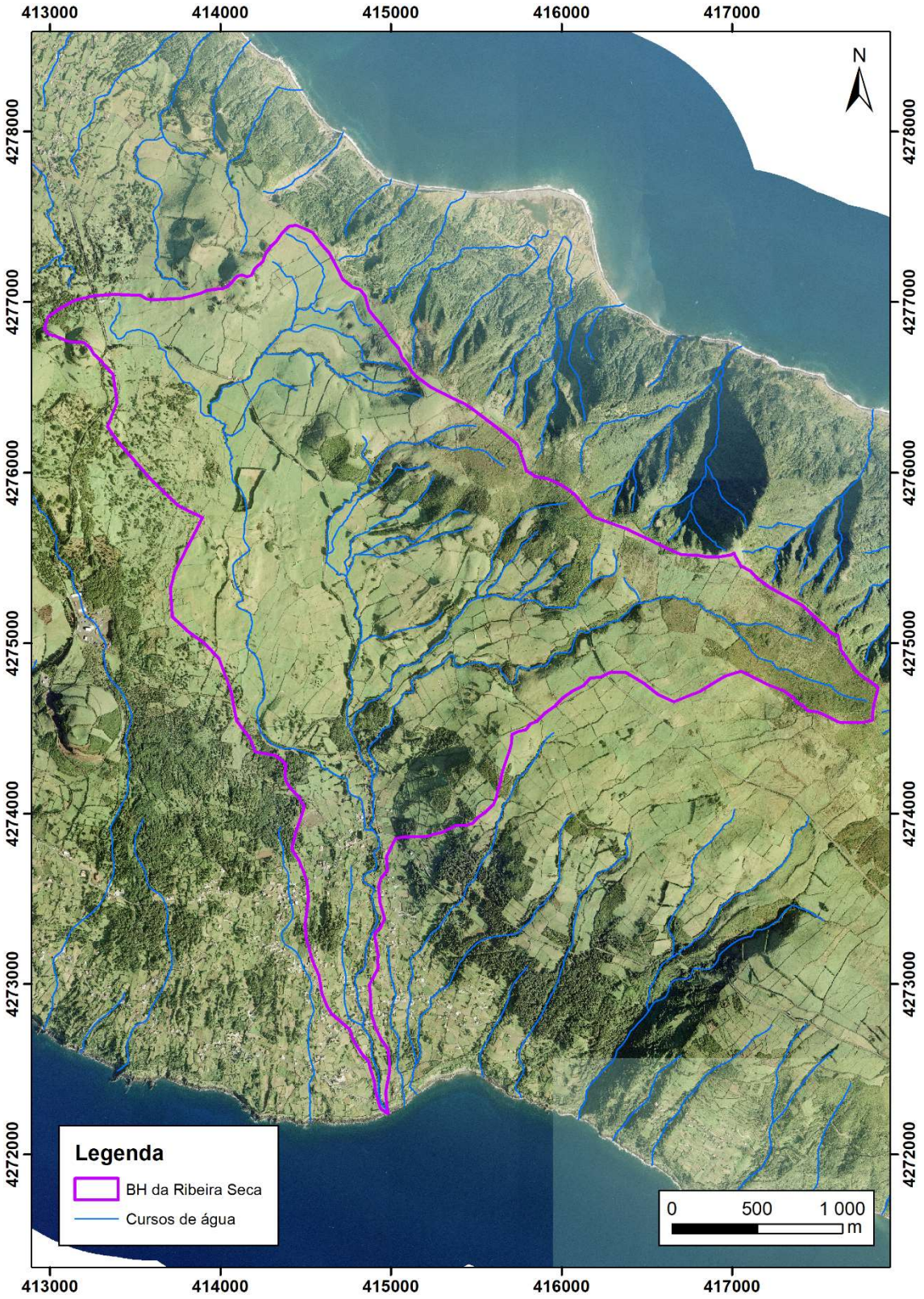


Figura 5 – Bacia hidrográfica da Ribeira Seca (concelho da Calheta, ilha de São Jorge).

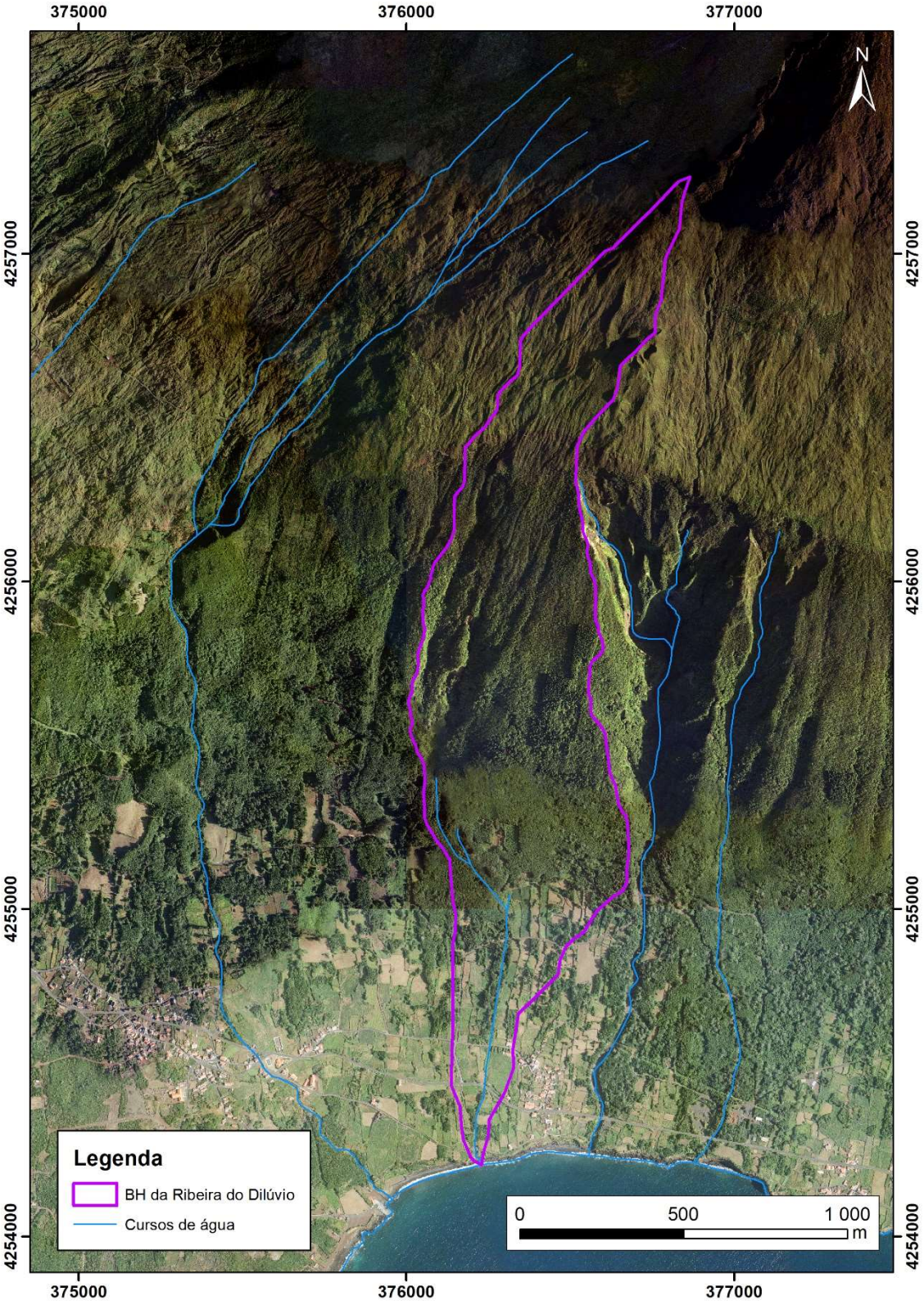


Figura 6 – Bacia hidrográfica da Ribeira do Dilúvio
(concelho da Madalena, ilha do Pico).

2. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Para o estudo hidrológico de superfície das bacias hidrográficas é essencial caracterizar a sua morfometria (geometria, sistema de drenagem e relevo). Como tal, para as seis bacias hidrográficas em estudo foram delimitados rigorosamente os seus limites, bem como a sua rede hidrográfica, com base na cartografia de base 1:25.000, e determinados os seguintes parâmetros:

i) parâmetros geométricos: a área, o perímetro, o índice de compacidade, o fator de forma e o índice de circularidade;
ii) parâmetros relativos às características da rede de drenagem: a hierarquia dos cursos de água, a densidade de drenagem e a razão de bifurcação;
iii) parâmetros referentes às características do relevo: o declive médio do curso principal e o respetivo perfil longitudinal.

A **área** da bacia hidrográfica corresponde à projeção no plano horizontal da área de drenagem e o **perímetro** ao comprimento da linha que delimita a área da bacia hidrográfica.

O **índice de compacidade** relaciona o perímetro da bacia hidrográfica com a circunferência de um círculo de área igual à da bacia (Horton, 1945). Este coeficiente é adimensional, não dependendo o seu valor do tamanho da bacia. No mínimo, o valor deste índice é igual à unidade, o que corresponde a uma bacia circular e, como tal, mais suscetível a episódios de cheia.

O **fator de forma** traduz a relação entre a largura média e o comprimento da bacia hidrográfica (Horton, 1945). Uma bacia com um fator de forma baixo, ou seja, com uma forma alongada, encontra-se menos sujeita à ocorrência de cheias. Pelo contrário, uma bacia com um fator de forma mais elevado apresenta uma maior propensão para a ocorrência de cheias.

Tal como ao índice de compacidade, o **índice de circularidade** tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada (Miller, 1953).

A **densidade de drenagem** relaciona o comprimento total dos cursos de água existentes numa bacia hidrográfica com a respetiva área de drenagem (Horton, 1932). A densidade de drenagem fornece uma boa indicação sobre a eficiência da drenagem natural da bacia. Em termos genéricos, os valores da densidade de drenagem variam entre 0,5 km/km^2, para bacias mal drenadas, e 3,5 km/km^2 ou mais, para bacias excecionalmente bem drenadas.

A **ordem dos cursos de água** pode ser determinada de duas formas distintas, seguindo os critérios introduzidos por Horton (1945) ou Strahler (1957). No presente documento, adotou-se a classificação de Strahler (1957) que atribui aos canais sem tributários a designação de primeira ordem. Os canais de segunda ordem correspondem aos que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, podendo ter afluentes também de primeira ordem. Os canais de terceira ordem originam-se da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens, e assim sucessivamente. A junção de um canal de uma determinada ordem com um canal de ordem superior não altera a sua ordem.

A **razão de bifurcação** descreve o padrão de ramificação de uma rede de drenagem e é definida pela razão entre o número total de cursos de água de uma dada ordem e o número total de cursos de água de ordem imediatamente superior (Schumm, 1956). Valores baixos da razão de bifurcação indicam a existência de litologias permeáveis que promovem a infiltração de água e consequentemente a existência de zonas com potencial para a existência de água subterrânea. Valores baixos da razão de bifurcação resultam também da presença de grande número de cursos de água de primeira e segunda ordem na bacia. Quanto maior for o valor da razão de bifurcação, maior o grau de ramificação da rede de drenagem de uma bacia e maior a sua capacidade para gerar picos de cheia mais significativos.

Na tabela 1 apresentam-se os resultados obtidos para os parâmetros considerados para as bacias hidrográficas em estudo.

Tabela 1 – Resultados dos parâmetros morfométricos para as bacias hidrográficas em estudo.

	Ilha de São Miguel		**Ilha Terceira**		**Ilha de São Jorge**	**Ilha do Pico**
	Grota da Areia	**Grota do Cinzeiro**	**Ribeira de São Bento**	**Ribeira da Casa da Ribeira**	**Ribeira Seca**	**Ribeira do Dilúvio**
Área (km²)	1,60	1,53	11,96	5,35	8,06	1,10
Perímetro (km)	6,64	6,88	17,28	13,40	17,41	6,76
Índice de compacidade	1,48	1,57	1,41	1,63	1,73	1,82
Fator de forma	0,21	0,18	0,31	0,19	0,29	0,12
Índice de circularidade	0,46	0,41	0,50	0,37	0,33	0,30
Densidade de drenagem (km/km²)	6,09	3,29	3,76	4,05	3,71	1,32
Ordem de Strahler	3	2	4	4	4	2
Razão de bifurcação	1,71	1,50	2,58	2,01	2,51	1,50
Declive médio do curso principal (m/km)	0,16	0,19	0,11	0,10	0,10	0,21

Através da análise da tabela 1, verifica-se que as bacias hidrográficas da Ribeira Seca e da Ribeira de São Bento são as que apresentam os valores mais elevados de área e perímetro. Os valores do fator de forma e dos índices de compacidade e circularidade determinados, demostram a forma alongada comum a todas as bacias hidrográficas. As bacias hidrográficas da

Ribeira de São Bento e da Grota da Areia apresentam índices de compacidade e circularidade mais próximos da unidade, demonstrando uma tendência para uma forma mais circular, quando comparadas com as restantes. O fator de forma apresenta valores mais elevados para as bacias hidrográficas da Ribeira de São Bento e da Ribeira Seca, evidenciando o seu potencial para a ocorrência de cheias.

Todas as bacias hidrográficas são bem drenadas, uma vez que apresentam valores de densidade de drenagem superiores a 1,0 km/km^2, correspondendo a bacias com maior tendência para a ocorrência de cheias, ao favorecerem a escorrência superficial da água em detrimento da infiltração. A ordem dos cursos de água e a razão de bifurcação apresentam valores mais elevados para as bacias hidrográficas da Ribeira Seca, Ribeira de São Bento e Casa da Ribeira, evidenciando o elevado grau de ramificação das suas rede de drenagem e, concomitantemente, maior potencial para o desenvolvimento de picos de cheia superiores às restantes bacias.

3. DESCRIÇÃO E LEVANTAMENTO DOCUMENTAL DO IMPACTE DAS CHEIAS

3.1 Bacia hidrográfica da Grota da Areia

Na tarde do dia 11 de maio de 2012, "(…) *devido ao desenvolvimento de nuvens de grande desenvolvimento vertical, associadas à instabilidade provocada por uma depressão* (…)" (Açoriano Oriental, 12 de maio de 2012; Fig. 7), ocorreram episódios de precipitação intensa que causaram elevados danos materiais nas freguesias de Ajuda da Bretanha, Remédios e Pilar da Bretanha (concelho de Ponta Delgada).

A precipitação registada causou o transbordo da Grota da Areia na freguesia do Pilar da Bretanha que provocou danos em onze viaturas, inundações e danos em várias habitações e o corte da estrada regional devido ao desabamento do piso e ao estado das pontes (Fig. 8). O jornal Açoriano Oriental de 12 de maio de 2012 refere que *"*(…) *a estrada regional que circunda a ilha [ficou cortada] em mais do que um ponto causando bastantes prejuízos, mas apesar do susto, sem provocar feridos* (…)". A precipitação desencadeou ainda inúmeros movimentos de vertente nos taludes das estradas e nos taludes dos cursos de água.

Os dados da Estação Meteorológica das Sete Cidades, propriedade da Direção Regional do Ambiente, permitem observar que, entre as 12:00 e as 15:00 do dia 11 de maio o valor de precipitação acumulada foi de 45,9 mm, e até às 19:00 atingido o valor acumulado de 60,3 mm.

SOLUÇÕES POUPANÇA E PROTEÇÃO
Montepio

Açoriano Oriental

Regional
Dois jovens condenados por roubo a idosa
Crime ocorreu na quinta-feira em Ponta Delgada. Jovens detidos pela PSP tinham 16 e 18 anos

100 MEGAS (6 MESES) SEMPRE
ZON FIBRA

Regional
Fiéis cumprem tradição secular de fé e devoção ao Senhor Santo Cristo

Tromba de água provoca caos na Bretanha
Fortes chuvadas arrastaram viaturas e danificaram duas pontes. Mau tempo também afetou ligações aéreas e marítimas na Região

Regional
Trabalhadores da EDA querem manter totalidade dos salários

Compramos Ouro a Dinheiro
Pratas Joias Moedas Antiguidades
Agências: Rabo de Peixe tel. 296 491 442 · Ribeira Grande tel. 296 474 023 · Ponta Delgada tel. 296 208 231 · Vila Franca do Campo tel. 296 581 498
tlm. 918 292 616 www.ourolei.com
OURO lei Compramos Ouro

AÇORIANO ORIENTAL — Regional 5

Hoje, Amanhã e Segunda
Há LEITÃO ASSADO à moda da Bairrada
e os habituais GRELHADOS NO CARVÃO
Para levar consigo e almoçar em casa
Xurrex TAKE-AWAY

Centro da Ajuda da Bretanha pareceu, por momentos, um cenário de catástrofe

Estrada regional ficou cortada neste local da Ajuda

Ruas transformaram-se em rios e carros foram danificados

Chuva assustou e causou muito prejuízo na Bretanha

Chuva intensa que caiu na Bretanha cortou a estrada, inundou habitações e danificou carros, mas não houve vítimas

Crianças assustadas com o temporal foram levadas ao colo até às suas casas

Saudamos todos os que estão de visita à nossa ilha e os nossos clientes.
Desejamos a todos Boas Festas
Xurrex TAKE-AWAY
PÃO DO REI
As nossas lojas no domingo encerram no período da tarde

Figura 7 – Jornal Açoriano Oriental do dia 12 de maio de 2012 (capa e pág. 5).

Figura 8 – Danos provocados pela cheia de 11 de maio de 2012 na bacia hidrográfica da Grota da Areia (fotografias do relatório de ocorrências na Grota Areia elaborado pela DSRHOT).

3.2 Bacia hidrográfica da Grota do Cinzeiro

No dia 3 de setembro de 2015, um episódio de precipitação intensa desencadeou, para além de numerosos movimentos de vertente entre a freguesia de Água Retorta (concelho da Povoação) e a Pedreira (concelho do Nordeste), a avulsão do curso de água da Grota do Cinzeiro (Fig. 9).

Figura 9 – Movimentos de vertente e avulsão do curso de água no dia 3 de setembro de 2015, na bacia hidrográfica da Grota do Cinzeiro (fotografias gentilmente cedidas por Rafael Branco).

A localidade da Pedreira foi a mais afetada, *"a forte precipitação transformou as ruas (…) num rio de lama, troncos e pedras que entrou por várias casas dentro (…)*" (Açoriano Oriental, 4 de setembro de 2015; Fig. 10).

2 Regional

AÇORIANO ORIENTAL

Há mais de quarenta anos que não chovia tanto em São Miguel

Durante uma hora choveu 76 litros por m2 no concelho do Nordeste. No período de 24 horas choveu 270 litros no concelho

A imagem da destruição na zona da Pedreira que foi mais afetada pelo mau tempo

A estrada regional do Nordeste para a Povoação ficou neste estado

A estrada regional na Pedreira do Nordeste ficou cortada ao trânsito na sequência do deslizamento de terras e árvores. Foi necessária a intervenção da Proteção Civil e Bombeiros

Regional 3

Vasco Cordeiro acompanhou a situação desde as quatro da manhã

Populares ajudaram a salvar bens das casas afetadas pelo mau tempo

08
FAMÍLIAS REALOJADAS
Houve a necessidade de realojar oito famílias no Nordeste durante o dia de ontem e um homem que vivia sozinho em Água Retorta

21
MÁQUINAS DO GOVERNO
Para garantir a limpeza das estradas e caminhos agrícolas foram deslocados para o Nordeste e Povoação 21 máquinas do Governo Regional

Deslizamento de terra provocou corte de estrada

Estrada na Água Retorta ficou intransitável

"O principal é que não houve vítimas. Quanto ao resto é arregaçar as mangas e resolver o que há para resolver", disse Vasco Cordeiro

Figura 10 – Jornal Açoriano Oriental do dia 4 de setembro de 2015 (págs. 2 e 3).

A estrada regional ficou destruída no lugar da Pedreira nas interceções com o curso de água e obstruída em numerosos locais. "*A vila do Nordeste e a Pedreira chegaram a estar isoladas, porque as derrocadas cortaram a estrada regional de acesso à Povoação e o nó de acesso à SCUT"* (Açoriano Oriental, 4 de setembro de 2015). O Açoriano Oriental de 4 de setembro de 2015 refere ainda que a "(…) *estrada que desce até à parte mais baixa da Pedreira ameaça*[va] *ruir de um dos lados, onde houve uma derrocada que atirou um carro para a ribeira, situada a 200 metros da estrada".*

O evento provocou danos e prejuízos em 21 habitações, três das quais foram total ou parcialmente destruídas. É ainda reportado pelo Açoriano Oriental de 4 de setembro de 2015 que *"houve a necessidade de realojar oito famílias no Nordeste (…) e um homem que vivia sozinho em Água Retorta"*.

Neste evento foi registado um valor de precipitação histórico na ilha de São Miguel, apenas comparável com um valor registado na zona das Furnas, em 1974: "*Entre a uma e as duas da manhã registou-se um acumulado de 76 litros por m^2. No total entre o meio dia de quarta* [2 de

setembro] *até ao meio dia de quinta-feira* [3 de setembro] *registou-se uma pluviosidade de 270 litros por m^2, no concelho do Nordeste*" (Açoriano Oriental, 4 de setembro de 2015).

3.3 Bacia hidrográfica da Ribeira de São Bento

Entre a tarde do dia 2 de setembro e a tarde do dia 3 de setembro de 2015, devido ao desenvolvimento de uma linha de instabilidade atmosférica, ocorreram episódios de precipitação intensa que causaram o transbordo da Ribeira de São Bento (freguesia de São Bento, concelho de Angra do Heroísmo) (Fig. 11).

Figura 11 – Aspeto do Largo de São Bento no decorrer da cheia de 2 de setembro de 2015 (foto do Açoriano Oriental do dia 5 de setembro de 2015).

A edição do Diário Insular do dia 5 de setembro de 2015 (Fig. 12) refere que "*A pressão das chuvas fortes fez transbordar ribeiras e grotas – algumas rotas artificiais chegaram mesmo a rebentar…*".

O evento provocou danos em habitações, espaços comerciais e viaturas, rede viária e rede de abastecimento de água: "*… a calçada do passeio do início da Rua Direita foi arrancada, as pedras apoderaram-se da Praça Velha, a água entrou nas casas e fez danos em viaturas e há registos de acidentes rodoviários*" (Diário Insular, 5 de setembro de 2015). "*Não foi só nas*

habitações que a chuva provocou estragos. Também estabelecimentos comerciais, cafés (na Rua Direita as esplanadas ficaram submersas) e hotéis sofreram as consequências da força da água" (Diário Insular, 5 de setembro de 2015).

|08| REGIÃO 05 SET.2015 DIÁRIO INSULAR

DIÁRIO INSULAR 05.SET.2015 REGIÃO |09|

CHUVAS FORTES PROVOCAM O CAOS

Dilúvio em Angra do Heroísmo encerra centro da cidade

CHUVADAS Quatro famílias tiveram de ser realojadas, ainda que preventiva e temporariamente

Casas inundadas e estradas encerradas. Ontem à tarde, na Terceira, e num curto espaço de tempo, a precipitação foi de 37 litros por metro quadrado.

COMERCIANTES AFETADOS

ESTRAGOS Obras públicas, câmaras, PSP e Proteção Civil estiveram nos locais

Figura 12 – Jornal Diário Insular de 5 de setembro de 2015 (págs. 8 e 9).

A edição do Açoriano Oriental do dia 6 de setembro de 2015 descreve os prejuízos verificados no centro histórico de Angra do Heroísmo. Os comerciantes relatam a destruição de muitos dos seus artigos para venda, causada pelas inundações dos espaços comerciais. Um comerciante refere que *"*(…) *a água subiu uns 40, 50 centímetros dentro da loja."*. Junto à marina *"*(…) *o único hotel de cinco estrelas dos Açores também registou prejuízos devido às inundações*.". É ainda referido que o Museu de Angra do Heroísmo *"* (…) *encerrou portas até terça-feira* [8 de setembro de 2015]*, mas apenas para limpeza de uma reserva visitável que foi inundada nas traseiras"*.
O aviso meteorológico n.º 53/2015, emitido pelo Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores, refere que foi registado pela estação meteorológica de Angra do Heroísmo 106,6 mm de precipitação acumulada entre as 18h00 e as 23h00 do dia 2 de setembro.

A edição do dia 5 de dezembro de 2015 do Diário Insular refere que entre as 15h00 e as 16h00 do dia 4 de dezembro foi registada uma precipitação de 37 l/m^2.

3.4 Bacia hidrográfica da Ribeira da Casa da Ribeira

No dia 6 de dezembro de 2017, episódios de precipitação intensa provocaram estragos no concelho da Praia da Vitória, nomeadamente devido a uma cheia no lugar de Casa da Ribeira (freguesia de Santa Cruz) (Fig. 13).

Figura 13 – Danos provocados pela cheia de 6 de dezembro de 2017 na bacia hidrográfica da Ribeira da Casa da Ribeira (fotos de Rui Nogueira).

Na Casa da Ribeira "*a ribeira* (...)*, que se encontrava em obras, transbordou devido a objetos que obstruíram a passagem da água, junto a uma ponte"* (Diário Insular, 7 de dezembro de 2017, Fig. 14), provocando o arraste de uma viatura.

ARTUR LIMA Líder centrista acusa Governo Regional de "gozar" com deputados e Parlamento

À falta de resposta aos requerimentos sobre as empresas públicas, o CDS-PP responde com uma comissão de inquérito.

O CDS-PP vai propor na Assembleia Legislativa a criação de uma comissão de inquérito ao setor público empresarial. O anúncio foi feito, ontem, em conferência de imprensa, por Artur Lima, que acusa o executivo açoriano de falta de transparência.

"A falta de informação democrática nos Açores é preocupante e, por isso, é necessário o Parlamento socorrer-se de todos os meios ao seu alcance para conseguir deslindar esta falta de transparência e de democracia e combater esta arrogância e prepotência do Governo socialista", adiantou.

Segundo o líder regional e líder da bancada parlamentar do CDS-PP, não basta aos deputados entregarem requerimentos no Parlamento para saberem o que se passa nas empresas públicas da Região, porque o Governo Regional ou não responde ou dá "não-respostas".

"Em primeiro lugar, há atraso nas respostas. Temos um requerimento feito desde março sobre a Saudaçor e ainda não temos resposta. E depois há respostas que são a gozar com os partidos e com o Parlamento. É gozo puro. O Governo Regional dos Açores chegou a um ponto em que se dá à má educação, ao mau relacionamento democrático de gozar com quem quer esclarecer a verdade", frisou.

O grupo parlamentar do CDS-PP tem apenas quatro deputados e são necessários 12 para que seja criada uma comissão de inquérito potestativa, ou seja, sem que o PS, em maioria no Parlamento, a possa chumbar.

No entanto, Artur Lima, espera que os deputados da oposição (PSD, BE, PCP e PPM) apoiem a proposta, que pretende apurar a atividade do setor público empresarial na Região.

"Presumo que toda a oposição estará unida nesse sentido. A avaliar pelo que foi o debate no Plano e Orçamento, julgo que ninguém se oporá a uma comissão de inquérito ao setor público empresarial", apontou.

O líder parlamentar centrista disse que é preciso apurar o que fazem as empresas públicas, como contratam, para que contratam e "sobretudo porque se endividam tanto", acrescentando que as dívidas da Lotaçor, da Saudaçor e da SATA são "galopantes".

"Esbanja-se dinheiro nas empresas públicas não se sabe como. Endivida-se as empresas públicas não se sabe para quê, porque não há dinheiro para comprar aviões, não há dinheiro para reparar o avião que está há não sei quanto tempo parado... O avião A321 que era para vir para a SATA continua em parte incerta, os navios em parte incerta estão, a Lotaçor não se percebe qual é o seu objetivo, a Saudaçor esbanja dinheiro todos os dias, a SPRHI sabemos que é para endividar todos os dias", frisou.

MAU TEMPO

Inundações na Praia da Vitória

A chuva forte que afetou, ontem, o arquipélago provocou pequenos estragos no concelho da Praia da Vitória.

Segundo fonte da Proteção Civil, registaram-se inundações em três habitações nas Fontinhas e na Casa da Ribeira, bem como na Escola das Fontinhas.

A ribeira da Casa da Ribeira, que se encontra em obras, transbordou, devido a objetos que obstruíam a passagem da água, junto a uma ponte, segundo o vice-presidente da Câmara Municipal da Praia da Vitória, Carlos Armando Costa.

O responsável pelo Serviço Municipal de Proteção Civil disse ainda que se verificaram algumas inundações em estradas, provocadas pelo arrasto de lamas e pedras, mas não foi necessário cortar o trânsito.

Figura 14 – Jornal Diário Insular de 7 de dezembro de 2017 (pág. 4).

Segundo relata o Diário Insular de 7 de dezembro de 2017, de acordo com a Proteção Civil: *"registaram-se inundações em três habitações nas Fontinhas e na Casa da Ribeira".*

Pela análise dos dados da Estação Udométrica da Canada do Ouvidor, propriedade da Direção Regional do Ambiente, verifica-se que entre as 06h00 e as 14h00 do dia 6 de dezembro de 2017 a precipitação acumulada foi de 36,9 mm. É possível também observar que entre as 13h00 e as 14h00, o valor de precipitação acumulada foi de 18,4 mm com intensidade média de 16,1 mm/h.

3.5 Bacia hidrográfica da Ribeira Seca

Na sequência de episódios de precipitação intensa, causados pela passagem de uma superfície frontal oclusa, na noite do dia 28 de outubro de 2012, ocorreu uma cheia na ribeira da Ribeira Seca (freguesia da Ribeira Seca, concelho da Calheta) que provocou inundações e danos graves no edificado, rede viária e rede de abastecimento de água e energia (Fig. 15).

Figura 15 - Danos provocados pela cheia de 28 de outubro de 2012 na bacia hidrográfica da Ribeira Seca (fotografias cedidas pela Câmara Municipal da Calheta).

O transbordo da ribeira originou inundações em cerca de 12 edifícios, nomeadamente em garagens, caves e pisos térreos, destruição de viaturas e mobiliário urbano causada por submersão ou arrastamento pela água. O Presidente da Câmara Municipal da Calheta relata ao jornal Diário Insular de 30 de outubro de 2012 que *"*(…) *a água entrou em casa das pessoas, chegando aos dois, três metros de altura"* (Fig. 16).

Pedro Catarino ouve partidos

O Representante da República para os Açores iniciou, ontem, as audições com os partidos com representação parlamentar na Assembleia Legislativa, tendo em vista a indigitação do futuro presidente do Governo Regional. [07]

DIÁRIO INSULAR TER | 30.10.12

PICO E SÃO JORGE COM FAMÍLIAS DESALOJADAS [05]

Mau tempo faz estragos

AVIAÇÃO NOS AÇORES
Ribeira Grande cria museu
A aviação nos Açores pode ter vivido os momentos mais altos na Horta, Lajes ou Santa Maria... Mas deverá ser a Ribeira Grande a ter um museu. [04]

JOÃO GONÇALVES, AZORES GOURMET
Produtos das ilhas pouco conhecidos
João Gonçalves, empresário, lamenta que os produtos açorianos não sejam reconhecidos. São, afinal, produtos com muita qualidade. [02-03]

AVELINO MENESES PROPÕE NOVA ABORDAGEM À AUTONOMIA
Um projeto açoriano de cidadania
Um dos pilares da Autonomia, que é a diferença (idiossincrasia) em relação ao todo nacional, está esbatido pela globalização, pelo que começa a não fazer sentido. Sendo assim, o historiador Avelino Meneses propõe a "cidadania plena" como um dos novos pilares, associada à construção de um projeto açoriano diferenciado das soluções nacionais. [Centrais]

PAVIMENTOS PARA INTERIOR DESDE €5.99/m²

A sua casa é o melhor lugar do Mundo.

BORJA REIS

DIÁRIO INSULAR 30.OUT.2012 REGIÃO [05]

GRUPOS CENTRAL E OCIDENTAL SOB AVISO LARANJA

Mau tempo no Pico e em S. Jorge deixa várias famílias sem casa

RIBEIRA SECA, em S. Jorge, ficou sem estrada devido à chuva forte

Derrocadas e obstrução de vias são algumas das consequências do mau tempo que se fez sentir no grupo Central. Há desalojados.

Famílias do Pico e de São Jorge estão sem casa por causa do mau tempo que se fez sentir no arquipélago durante a madrugada de ontem.
Segundo Aires Reis, presidente da Câmara Municipal da Calheta, quatro famílias jorgenses ficaram desalojadas na freguesia da Ribeira Seca, tendo sido acolhidas por familiares.
"A água entrou em casa das pessoas, chegando aos dois, três metros de altura. Houve quem tivesse que sair pela janela ou refugiar-se no sótão. Foi o que aconteceu, pelo menos, a um casal de idosos", disse o autarca à DI.
A Ribeira Seca, mais precisamente o lugar da Banda da Ribeira, ficou também sem estrada de acesso.
"Foi tal o volume de água que o pavimento, feito há poucos anos, desapareceu completamente. O que se vê agora é rocha. A chuva destruiu a também a rede de águas. Estivemos até às cinco da manhã a fazer limpeza", adiantou.
Na fajã dos Cubres houve algumas derrocadas, mas que não apresentam riscos de maior, considerou Aires Reis.
Ainda assim, sublinhou, os estragos na Ribeira Seca representam prejuízos "enormes".
"Já iniciámos os contactos com o Governo Regional, porque a Câmara Municipal não tem capacidade para tratar do problema sozinha. A nossa prioridade agora é dar condições às pessoas e depois avaliar os estragos", referiu.

PICO DEBAIXO DE ÁGUA
Nas Lajes do Pico, a chuva forte também provocou pequenas derrocadas, obstrução de vias e inundações em habitações, obrigando ao realojamento de duas famílias.
As famílias, residentes na freguesia das Ribeiras, foram acolhidas em casas de familiares, estando a situação a ser acompanhada pela direção regional de Habitação, no sentido do seu realojamento, revelou à Lusa fonte do Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores.
A mesma fonte salientou ainda que as estradas afetadas pelo mau tempo situam-se nos concelhos de S. Roque e Lajes, estando já em curso os "trabalhos de desobstrução" daquelas vias.
A previsão meteorológica indica que o mau tempo deve manter-se até terça-feira nos Açores, onde se espera chuva forte e vento, devido à aproximação de uma superfície frontal ochsa com forte atividade, segundo o Instituto de Meteorologia.
Os grupos Ocidental e Central do arquipélago dos Açores estiveram ontem sob aviso amarelo, o segundo mais grave de uma escala de quatro, devido à chuva, informou o Instituto de Meteorologia na sua página de internet.
Segundo a mesma fonte, este aviso alerta para períodos de chuva temporariamente forte, bem como ventos com rajadas que podem chegar aos 100 quilómetros/hora, estando em vigor até às 12h00 de hoje.

MAU TEMPO NOS GRUPOS CENTRAL E OCIDENTAL

Escolas não abrem hoje

A secretaria regional da Educação e Formação decretou o encerramento das escolas dos grupos Central e Ocidental durante o dia de hoje devido ao mau tempo que se espera para as próximas horas.
Em nota divulgada pelo Serviço Regional de Proteção Civil e Bombeiros dos Açores prevê-se mau tempo em todas as ilhas devido à aproximação de uma superfície frontal ochsa com forte atividade.
Para o grupo Central esperam-se, por um lado, períodos de chuva temporariamente fortes até às 11h00 de hoje.
Estão ainda previstos ventos fortes de leste, com rajadas entre os 85 e os 100 quilómetros/hora, até às 18h00 de hoje.
Também para as ilhas das Flores e do Corvo estão previstos períodos de chuva temporariamente fortes até às 11h00. Espera-se, igualmente, vento forte, com rajadas de leste entre 85 e 100 quilómetros/hora até às 20h00.
No grupo Oriental, São Miguel e Santa Maria, a situação deverá estar um pouco mais calma, ainda que com períodos de chuva por vezes forte.
Espera-se precipitação pelo menos até as 20h00.
Os ventos fortes não devem chegar a estas ilhas.

Figura 16 – Jornal Diário Insular de 30 de outubro de 2012 (capa e pág. 5).

Devido às inundações, a Escola Básica Nemésio Serpa foi encerrada e "(…) *quatro famílias* (…) *ficaram desalojadas na freguesia da Ribeira Seca, tendo sido acolhidas por familiares*." (Diário Insular, 30 de outubro de 2012).

A cheia provocou o corte e destruição de diversas vias de comunicação e muros de guarda e suporte, numa extensão de aproximadamente 2.500 m. Numa extensão de cerca de 1.000 m, o asfalto da estrada foi completamente removido pela água, provocando a erosão das camadas subjacentes à estrada e o desenvolvimento de ravinamento que, em alguns locais, ultrapassou os 3 m de profundidade. *"Foi tal o volume de água que o pavimento, feito há poucos anos,*

desapareceu completamente. O que se vê agora é rocha. A chuva destruiu também a rede águas." (Diário Insular, 30 de outubro de 2012). Foram ainda danificadas 5 pontes devido à obstrução das respetivas passagens hidráulicas.

3.5 Bacia hidrográfica da Ribeira do Dilúvio

No dia 25 de dezembro de 2014, derivado da precipitação intensa e prolongada, ocorreu a avulsão da Ribeira do Dilúvio (freguesia de São Caetano, concelho da Madalena), provocando a erosão dos materiais de base do pavimento da Rua do Dilúvio e a sua deposição na Estrada Regional (Fig. 17).

A ocorrência de movimentos de vertente e a erosão acentuada do flanco Sul do Vulcão do Pico, sobranceiro à Rua do Dilúvio e Rua de Cima, potenciam o transporte de grandes volumes de material sólido ao longo da Ribeira do Dilúvio. No dia 25 de dezembro de 2014, a acumulação de material sólido em alguns setores da ribeira promoveu a avulsão da ribeira que ocupou a Rua do Dilúvio. Tal facto provocou a remoção dos materiais do respetivo pavimento, tendo estes sido transportados até à Estrada Regional, com parte a desviar para Este pela Rua de Cima, onde foram reencaminhados para o leito natural da ribeira.

Figura 17 – Aspeto da deposição do material erodido pela cheia de 25 de dezembro de 2014 na bacia hidrográfica da Ribeira do Dilúvio (foto dos Serviços de Ambiente da ilha do Pico).

A análise dos dados da Estação Meteorológica de São Caetano, propriedade da Direção Regional do Ambiente, permite verificar que no dia 25 de dezembro de 2017 se registou uma precipitação acumulada de 73,9 mm, tendo sido registado um pico de precipitação de 44,3 mm entre as 9h00 e as 12h00. Nos dias anteriores (22, 23 e 24 de dezembro) foram registadas precipitações diárias acumuladas de 23,0 mm, 10,9 mm e 4,8 mm.

4. IDENTIFICAÇÃO E CARTOGRAFIA DOS ELEMENTOS DE VULNERABILIDADE AFETADOS PELAS CHEIAS

A análise do impacte das cheias, descritas no ponto 3 do presente documento, foi efetuada com base na inventariação pormenorizada do edificado e de outras infraestruturas afetadas. O trabalho foi realizado com base na consulta de documentos (*e.g.*, jornais, artigos, teses, relatórios técnico-científicos), trabalho de campo e entrevistas à população.

4.1 Bacia hidrográfica da Grota da Areia

Os trabalhos de campo na Bacia hidrográfica da Grota da Areia foram realizados no dia 20 de dezembro de 2019, com o objetivo de identificar e cartografar os elementos de vulnerabilidade e os setores inundados pela cheia de 11 de maio de 2012 na Bacia hidrográfica da Grota da Areia.

O transbordo da ribeira originou inundações em 5 edifícios, nomeadamente edifícios de habitação e garagens. A cheia provocou a inundação e corte temporário da Rua da Grota da Areia e da Rua da Vista Comprida e ainda a interrupção da Estrada Regional devido ao abatimento do piso e ao estado crítico de algumas pontes (Fig. 18).

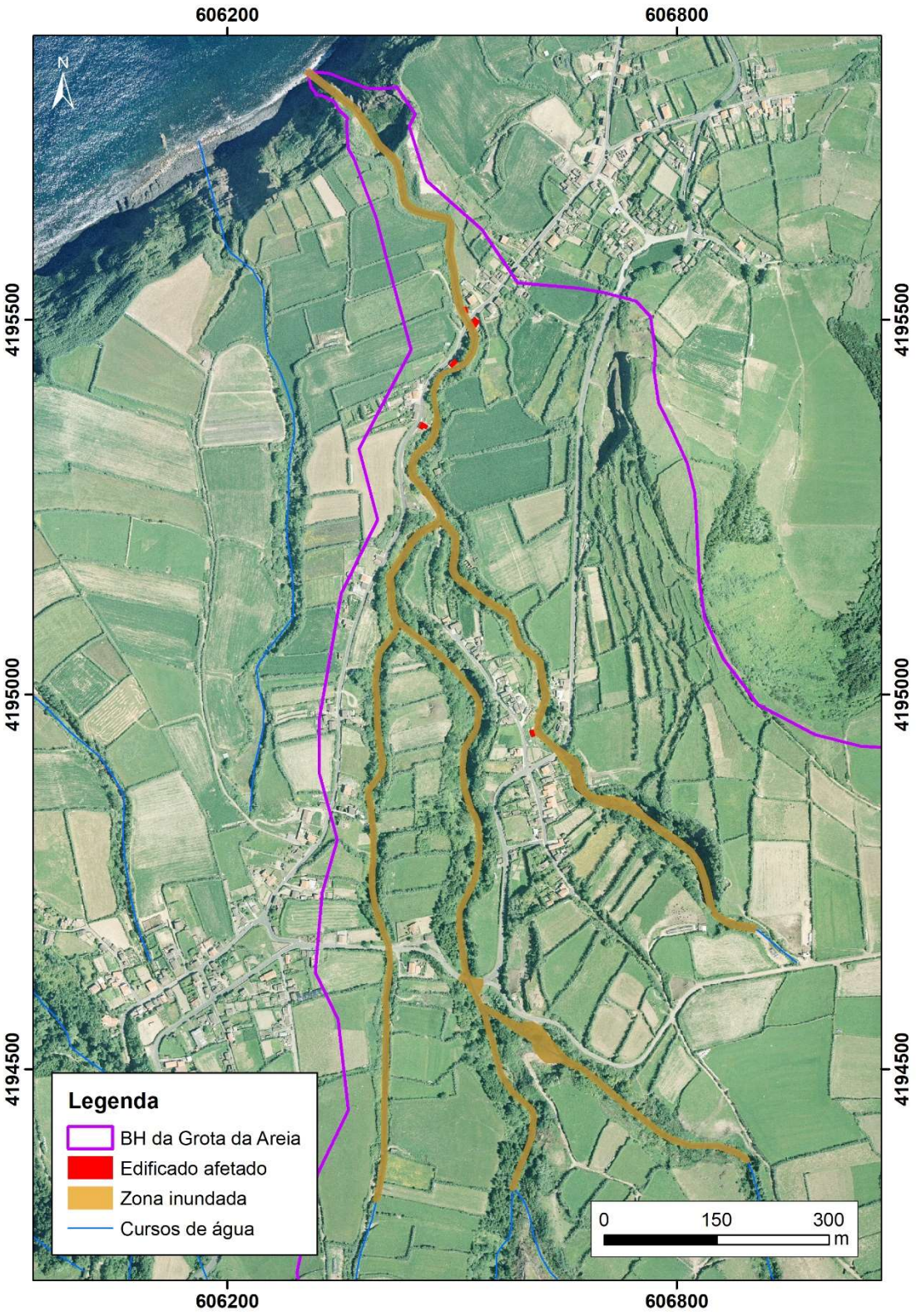


Figura 18 - Identificação e cartografia da zona inundada e do edificado e outras infraestruturas afetadas pela cheia na Grota da Areia ocorrida no dia 11 de maio de 2012.

4.2 Bacia hidrográfica da Grota do Cinzeiro

Os trabalhos de campo na Bacia hidrográfica da Grota do Cinzeiro foram realizados no dia 20 de setembro de 2019, tendo sido apoiados pelo Dr. Rafael Branco, Técnico Superior do CIVISA, que esteve no local aquando da ocorrência.

Durante os trabalhos foram identificados e cartografados os elementos de vulnerabilidade e os setores inundados pela cheia de 3 de setembro de 2015 na Bacia hidrográfica da Grota do Cinzeiro.

A cheia provocou inundações em 6 edifícios, a destruição parcial de uma habitação e danos em viaturas e mobiliário urbano, causados por submersão ou arrastamento pela água. A Estrada Regional, no lugar da Pedreira, ficou parcialmente destruída e intransitável devido à acumulação de detritos, numa extensão de 750 m. Na zona baixa da Pedreira o transbordo da ribeira e a escorrência superficial da água ao longo das pastagens provocou a inundação da estrada municipal e, no Caminho do Moio, o desabamento de uma faixa de rodagem (Fig. 19).

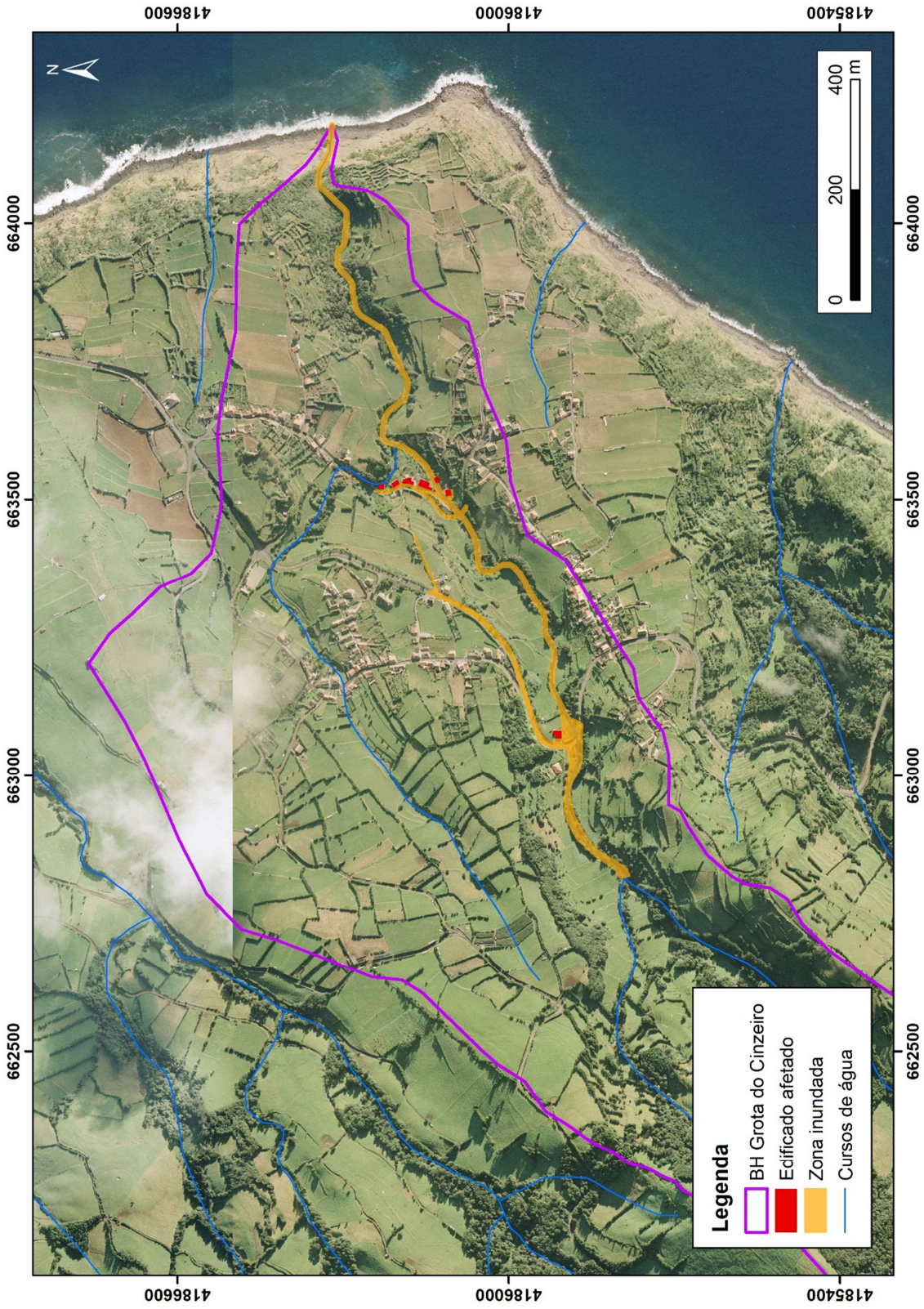


Figura 19 - Identificação e cartografia da zona inundada e do edificado e outras infraestruturas afetadas pela cheia na Bacia hidrográfica da Grota do Cinzeiro no dia 3 de setembro de 2015.

4.3 Bacia hidrográfica da Ribeira de São Bento

Nos dias 1 a 5 de abril de 2019, decorreu uma missão à ilha Terceira, a qual contou com o apoio do Eng. Pedro Aguiar, dos Serviços de Ambiente da ilha Terceira. No decorrer da missão foram vistoriados todos os setores afetados pelas cheias de 2 e 3 de setembro de 2015 na Bacia hidrográfica da Ribeira de São Bento (Fig. 20).

O transbordo da ribeira originou inundações em cerca de 15 edifícios, nomeadamente edifícios de habitação e garagens (caves e pisos térreos). A cheia provocou ainda a inundação e corte de estradas numa extensão total de 1,3 km.

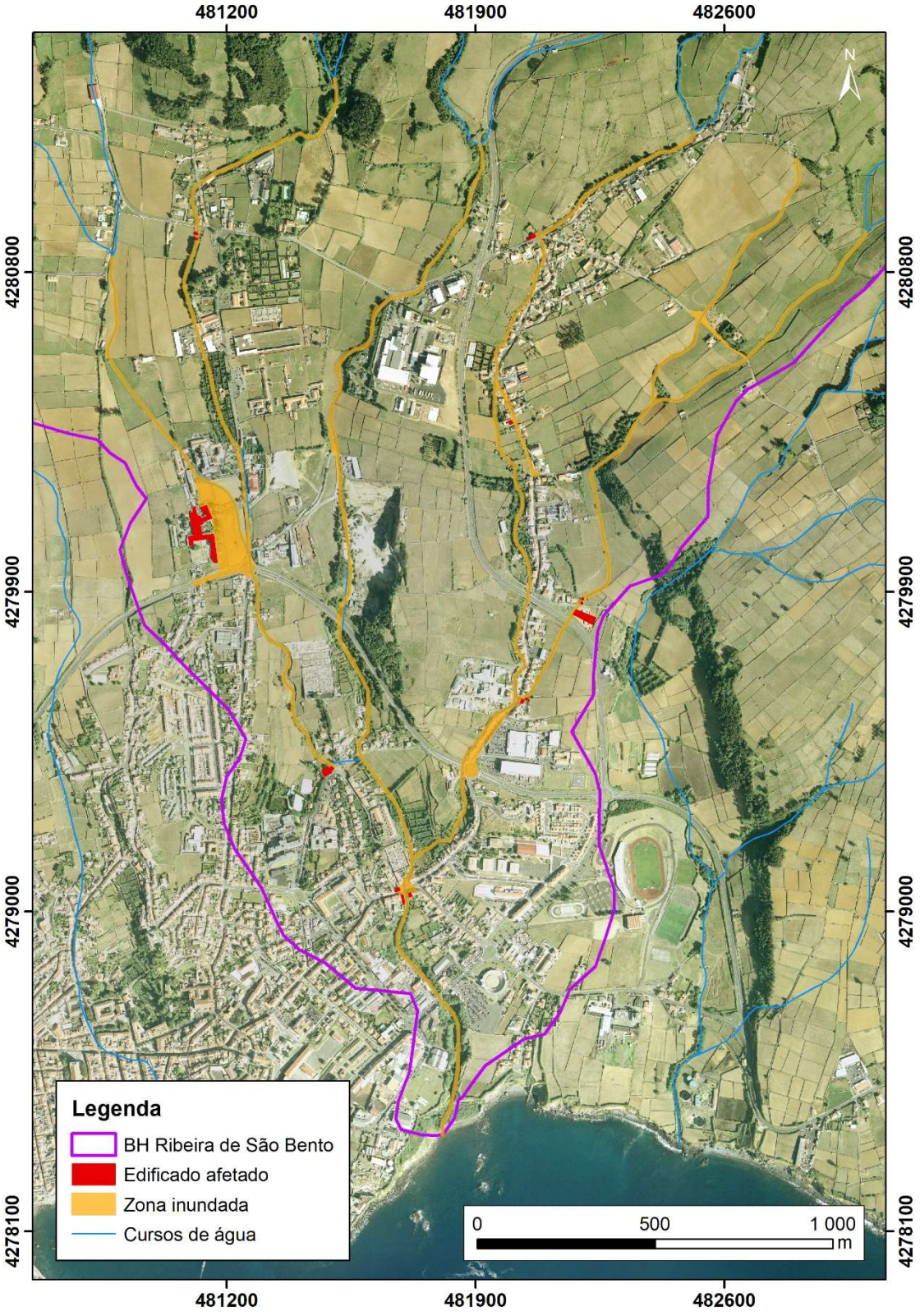


Figura 20 - Identificação e cartografia da zona inundada e do edificado e outras infraestruturas afetadas pela cheia na Bacia hidrográfica da Ribeira de São Bento no dia 2 de dezembro de 2015.

4.4 Bacia hidrográfica da Ribeira da Casa da Ribeira

Nos dias 1 a 5 de abril de 2019, período coincidente com os trabalhos realizados na Bacia hidrográfica da Ribeira de São Bento, decorram os trabalhos de campo na Bacia hidrográfica da Ribeira da Casa da Ribeira, apoiados pelo Eng. Pedro Aguiar, dos Serviços de Ambiente da ilha Terceira.

No decorrer da missão foram vistoriados os setores afetados pela cheia de 6 de dezembro de 2017, tendo sido identificados 6 edifícios que sofreram inundações causadas pelo transbordo da ribeira (Fig. 21).

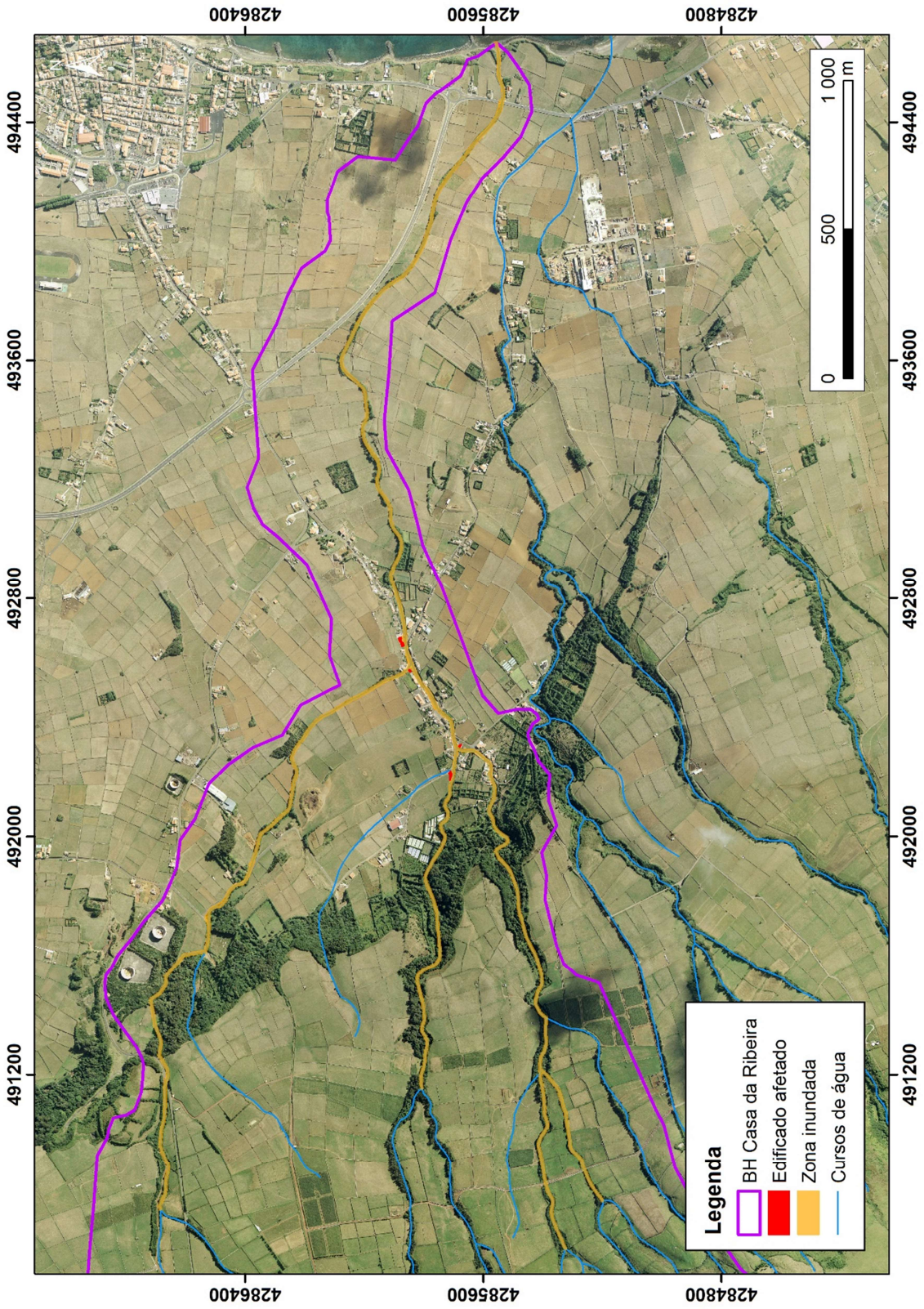


Figura 21 - Identificação e cartografia da zona inundada e do edificado e outras infraestruturas afetadas pela cheia na Bacia hidrográfica da Casa da Ribeira no dia 6 de dezembro de 2017.

4.5 Bacia hidrográfica da Ribeira Seca

A missão à ilha de S. Jorge foi realizada nos dias 18 a 20 de setembro de 2018 e foi apoiada pelo Vigilante da Natureza João Monteiro, dos Serviços de Ambiente da ilha de São Jorge.

Durante os trabalhos de campo foi efetuada a vistoria às áreas afetadas pela cheia de 28 de outubro de 2012, tendo-se concluído que o transbordo da ribeira originou inundações em 12 edifícios, nomeadamente em pisos térreos, caves de habitações e garagens, e a destruição de viaturas e mobiliário urbano causada por submersão ou arrastamento pela água. A cheia provocou ainda o corte e destruição de diversas vias de comunicação e muros de guarda e suporte, numa extensão de cerca de 2.500 m (Fig. 22).

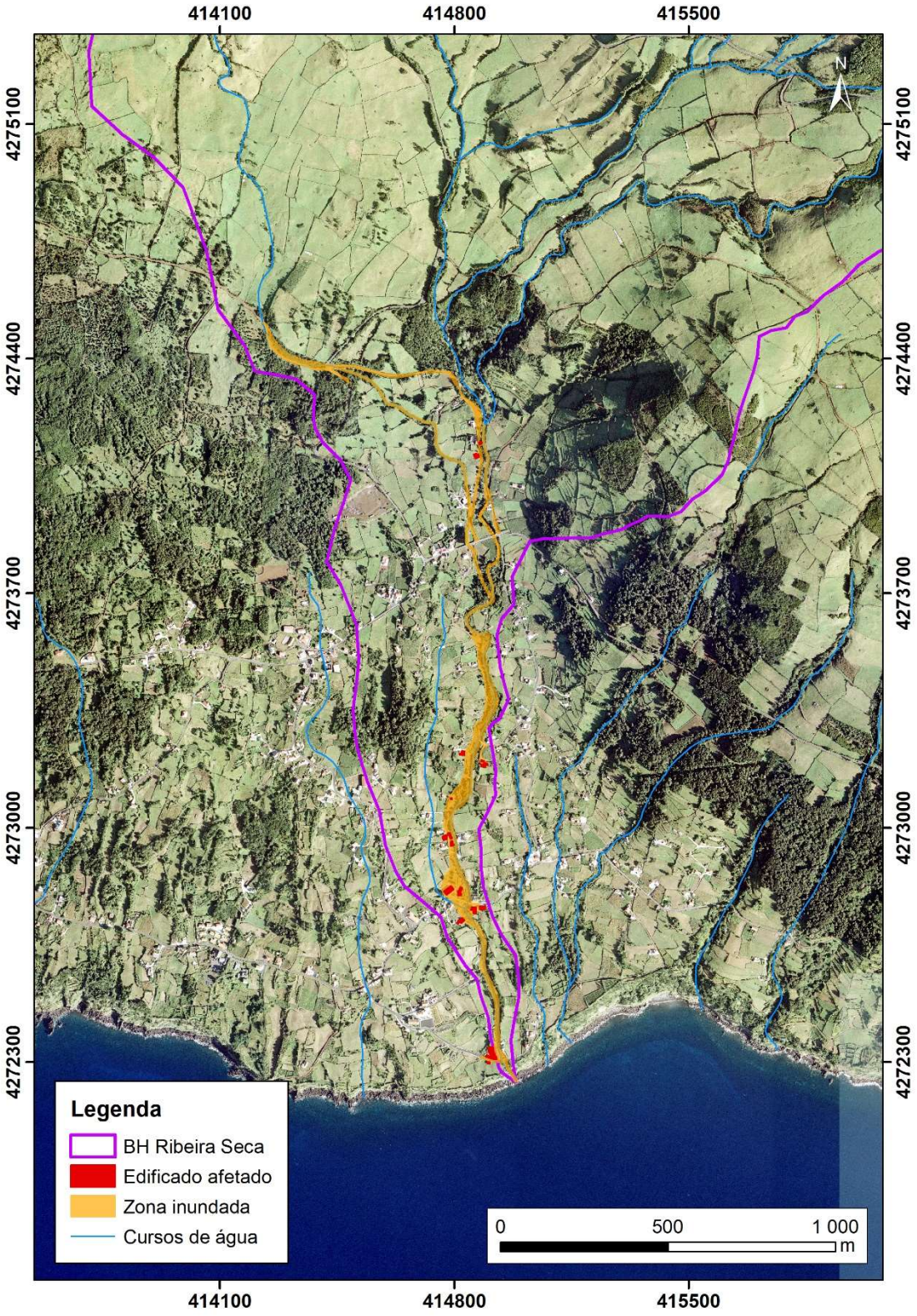


Figura 22 - Identificação e cartografia da zona inundada e do edificado e outras infraestruturas afetadas pela cheia na Bacia hidrográfica da Ribeira de Seca no dia 28 de outubro de 2012.

4.6 Bacia hidrográfica da Ribeira do Dilúvio

Nos dias 20 e 21 de setembro de 2018 decorreu a missão à ilha do Pico, a qual foi apoiada pelo Eng. José Carlos Machado, dos Serviços de Ambiente da ilha do Pico. No decorrer da missão foram vistoriados os setores afetados pela cheia de 25 de dezembro de 2014 na Bacia hidrográficas da Ribeira do Dilúvio.

A avulsão da Ribeira do Dilúvio provocou a erosão dos materiais de assentamento do pavimento da Rua do Dilúvio e consequente deposição do material na Estrada Regional (Fig. 23).

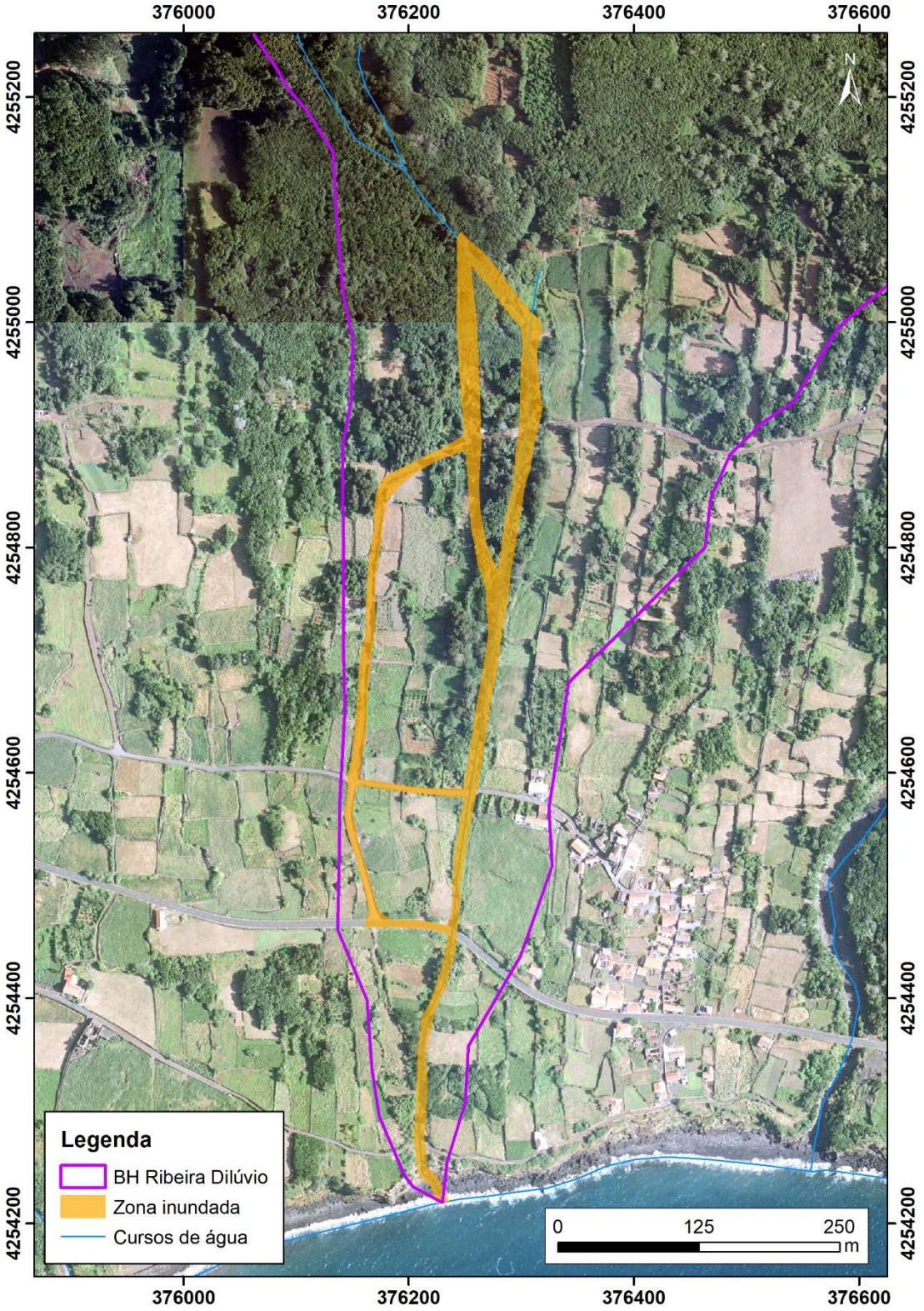


Figura 23 - Identificação e cartografia da zona inundada e infraestruturas afetadas pela cheia na Bacia hidrográfica da Ribeira do Dilúvio no dia 25 de dezembro de 2014.

5. MODELAÇÃO DE FLUXOS GRAVÍTICOS

5.1 Seleção do modelo utilizado

A determinação das zonas inundáveis por uma cheia foi efetuada através da determinação numérica da probabilidade espacial (suscetibilidade) de cada unidade de terreno ser afetada por um fluxo gravítico. Neste sentido, foi utilizado o modelo probabilístico para modelação de fluxos gravíticos, VORIS (*Volcanic Risk Information System*; Felpeto *et al*., 2007).

A seleção do modelo VORIS para a avaliação da suscetibilidade à ocorrência de cheias teve por base os condicionalismos existentes ao nível dos dados hidrométricos e a resolução da informação cartográfica existente na Região Autónoma dos Açores. A ausência de estações hidrométricas nas bacias hidrográficas em estudo impossibilita a obtenção de dados que permitam a construção de hidrogramas, excluindo a possibilidade de se utilizarem *softwares* de modelação mais complexos (*e.g.* HEC-RAS; MIKE FLOOD). Por outro lado, a baixa resolução da cartografia e dos Modelos Numéricos de Elevação (MNE) disponíveis na região, condicionam determinantemente a qualidade dos resultados obtidos, seja qual for o modelo utilizado para a determinação da suscetibilidade a cheias.

O modelo VORIS é condicionado, exclusivamente, pela topografia, podendo ser aplicado a qualquer tipo de fluxo para o qual apenas se pretenda modelar o controle da topografia no resultado final. O modelo simula a trajetória de um fluxo usando as relações altimétricas entre cada unidade matricial ortogonal que compõe a área de estudo e as oito que lhe são contiguas, aplicando o algoritmo de Monte-Carlo na seleção das soluções. A utilização deste algoritmo permite calcular, através da repetição iterativa do processo, o caminho mais provável de um fluxo e a sua área de abrangência a partir de um ponto considerado como emissor.

A simulação da trajetória foi efetuada sobre um Modelo Numérico de Elevação (MNE), com uma discretização do terreno em unidades ortogonais matriciais de 2x2 m. O valor da probabilidade de cada célula foi determinado em função do número de vezes que uma determinada unidade de terreno é transposta por uma iteração. A trajetória do fluxo em cada unidade de terreno é calculada pela aplicação do algoritmo de Monte-Carlo.

5.2. Parâmetros utilizados na modelação

O modelo desenvolvido por Felpeto (2002) exige a introdução de quatro dados de entrada:

1) a matriz ortogonal quadrangular da altimetria (correspondente ao MNE);
2) o comprimento máximo do fluxo, em metros, (l_{max});
3) a altura crítica (h_c);
4) localização da(s) fonte(s) emissora(s) do fluxo gravítico;
5) número de iterações.

O comprimento máximo (l_{max}), inserido em metros, determina a distância percorrida pelo fluxo. O valor introduzido deverá contemplar a distância da fonte do fluxo ao ponto final pretendido (foz das ribeiras). A altura crítica (h_c), inserida em metros, corresponde à frente do fluxo, que controla a sua capacidade de se propagar de uma célula para outra, tendo em consideração as suas diferenças altimétricas.

Para a determinação das zonas inundáveis das seis bacias hidrográficas em estudo foram utilizados os parâmetros listados na tabela 2.

Como fonte dos fluxos considerou-se, no caso das bacias hidrográficas da Ribeira da Casa da Ribeira e da Grota do Cinzeiro, o ponto de interseção das linhas de água de 1.ª e 2.ª ordem de Strahler. Nas bacias hidrográficas da Ribeira de São Bento e da Ribeira do Dilúvio, as fontes dos fluxos situam-se na intersecção das linhas de água imediatamente a montante do local onde se identificaram as estruturas afetadas pelas respetivas cheias. O mesmo critério foi definido para a bacia hidrográfica da Ribeira Seca, uma vez que a morfologia plana na zona a montante da bacia provoca uma grande dispersão do fluxo modelado. Para a bacia hidrográfica da Grota da Areia as fontes dos fluxos situam-se nas linhas de água onde se identificaram danos provocados pelas cheias a jusante.

Tabela 2 - Parâmetros utilizados para a modelação da suscetibilidade a cheias para as bacias hidrográficas em estudo.

Bacia Hidrográfica	I_{max} (m)	h_c (m)
Grota da Areia	40.000	1
Grota do Cinzeiro	20.000	1
Ribeira da Casa da Ribeira	170.000	1
Ribeira de São Bento	90.000	1
Ribeira Seca	15.000	1
Ribeira do Diluvio	10.000	1

A estimativa do valor de altura crítica (h_c) adequado para cada cenário foi um processo iterativo. Para todos os cenários, o valor de h_c foi calibrado com recurso à comparação dos resultados obtidos com o edificado e infraestruturas afetadas pelas cheias que ocorreram nas bacias hidrográficas em estudo.

5.3 Validação e Classificação dos Mapas de Suscetibilidade

Os resultados da modelação das áreas inundáveis, obtidos a partir da utilização do modelo VORIS, não são por si só suficientes para a elaboração dos mapas finais da suscetibilidade a inundações. A validação e classificação dos resultados obtidos são igualmente tarefas fundamentais para a elaboração de mapas de qualidade e classificados com critérios claros que auxiliem a sua leitura e utilização (Marques, 2013).

A validação dos mapas de suscetibilidade a inundações foi efetuada com base no cálculo das Curvas de Predição (*Prediction Rate Curves*, PRC). O cálculo das PRC permite confirmar graficamente qual a percentagem de área necessária para justificar uma qualquer percentagem de edifícios inundados ou infraestruturas afetadas. Na prática, materializam-se pela projeção da área classificada por ordem decrescente de suscetibilidade, em percentagem acumulada, no eixo das abcissas de um gráfico, e pela respetiva projeção, no eixo das

ordenadas, do edificado/infraestruturas afetadas igualmente em percentagem acumulada (Fig. 24).

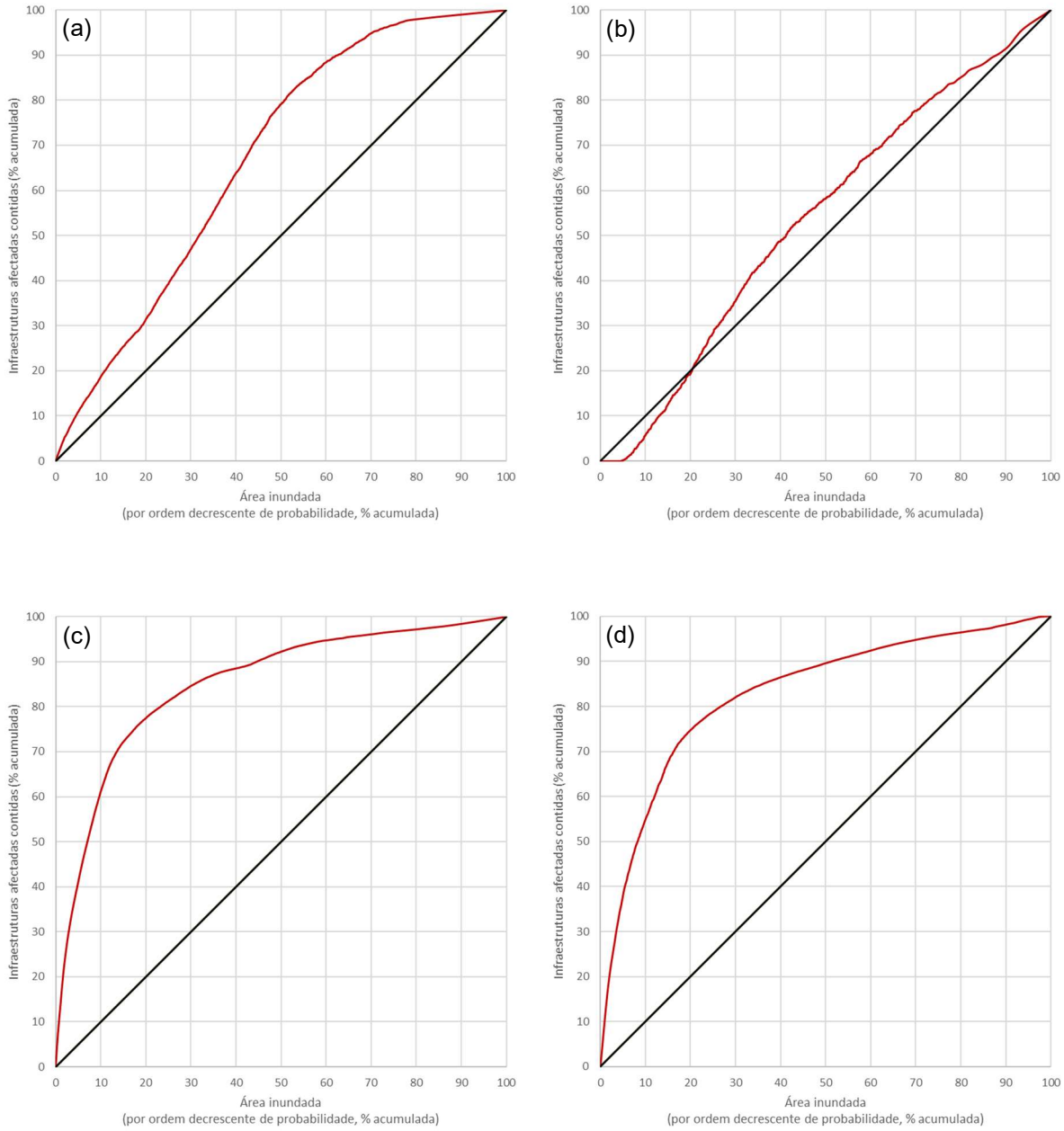


Figura 24 – Curvas de Predição para as bacias hidrográficas da: (a) Grota da Areia; (b) Grota do Cinzeiro; (c) Ribeira de São Bento; (d) Ribeira da Casa da Ribeira; (e) Ribeira Seca e (f) Ribeira do Dilúvio.

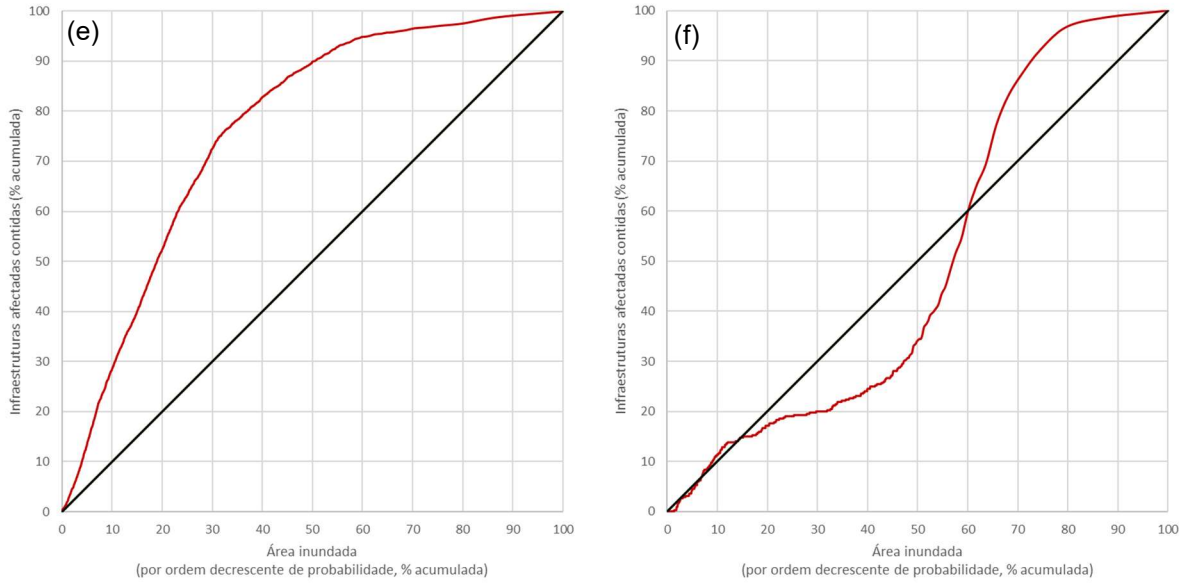


Figura 24 (cont.) – Curvas de Predição para as bacias hidrográficas da: (a) Grota da Areia; (b) Grota do Cinzeiro; (c) Ribeira de São Bento; (d) Ribeira da Casa da Ribeira; (e) Ribeira Seca e (f) Ribeira do Dilúvio.

Verifica-se que o comportamento das Curvas de Predição varia com a bacia hidrográfica em estudo. Por interpretação das Curvas de Predição calculadas assumiu-se para as três classes de suscetibilidade de cada bacia hidrográfica diferentes valores de corte (Tabela 3).

A classe de suscetibilidade elevada justificaria por si só o edificado e infraestruturas afetadas por eventos já ocorridos. A classe de suscetibilidade moderada é conjugada com a classe de suscetibilidade elevada e a classe de suscetibilidade baixa corresponde ao conjunto das restantes unidades de terreno.

Tabela 3 – Definição das classes de suscetibilidade dos mapas de suscetibilidade por interpretação das Curvas de Predição.

Bacia Hidrográfica	Classe de Suscetibilidade		
	Elevada	Moderada	Baixa
	Edificado e infraestruturas afetadas (%)		
Grota da Areia	80	90	100
Grota do Cinzeiro	65	80	100
Ribeira de São Bento	90	95	100
Ribeira da Casa da Ribeira	75	80	100
Ribeira Seca	80	90	100
Ribeira do Dilúvio	70	97	100

5.4. Resultados da modelação numérica

Com base nas classes definidas, foram obtidos os mapas de suscetibilidade a cheias apresentados nas figuras 25, 26, 27, 28, 29 e 30, para as bacias hidrográficas da Grota da Areia, Grota do Cinzeiro, Ribeira de São Bento, Ribeira da Casa da Ribeira, Ribeira Seca e Ribeira do Dilúvio, respetivamente.

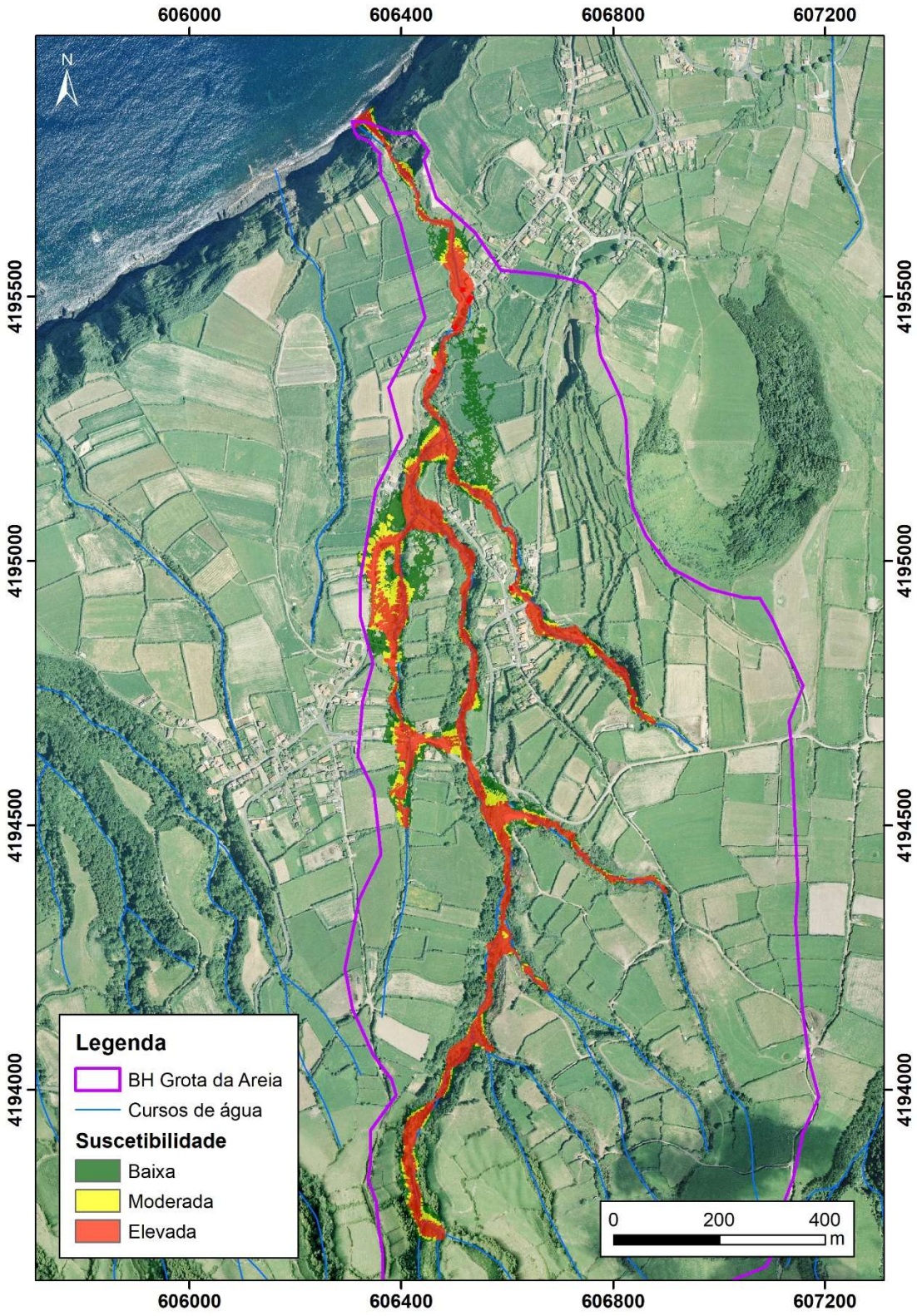


Figura 25 – Mapa de suscetibilidade a cheias para a Grota da Areia (concelho de Ponta Delgada, Ilha de São Miguel).

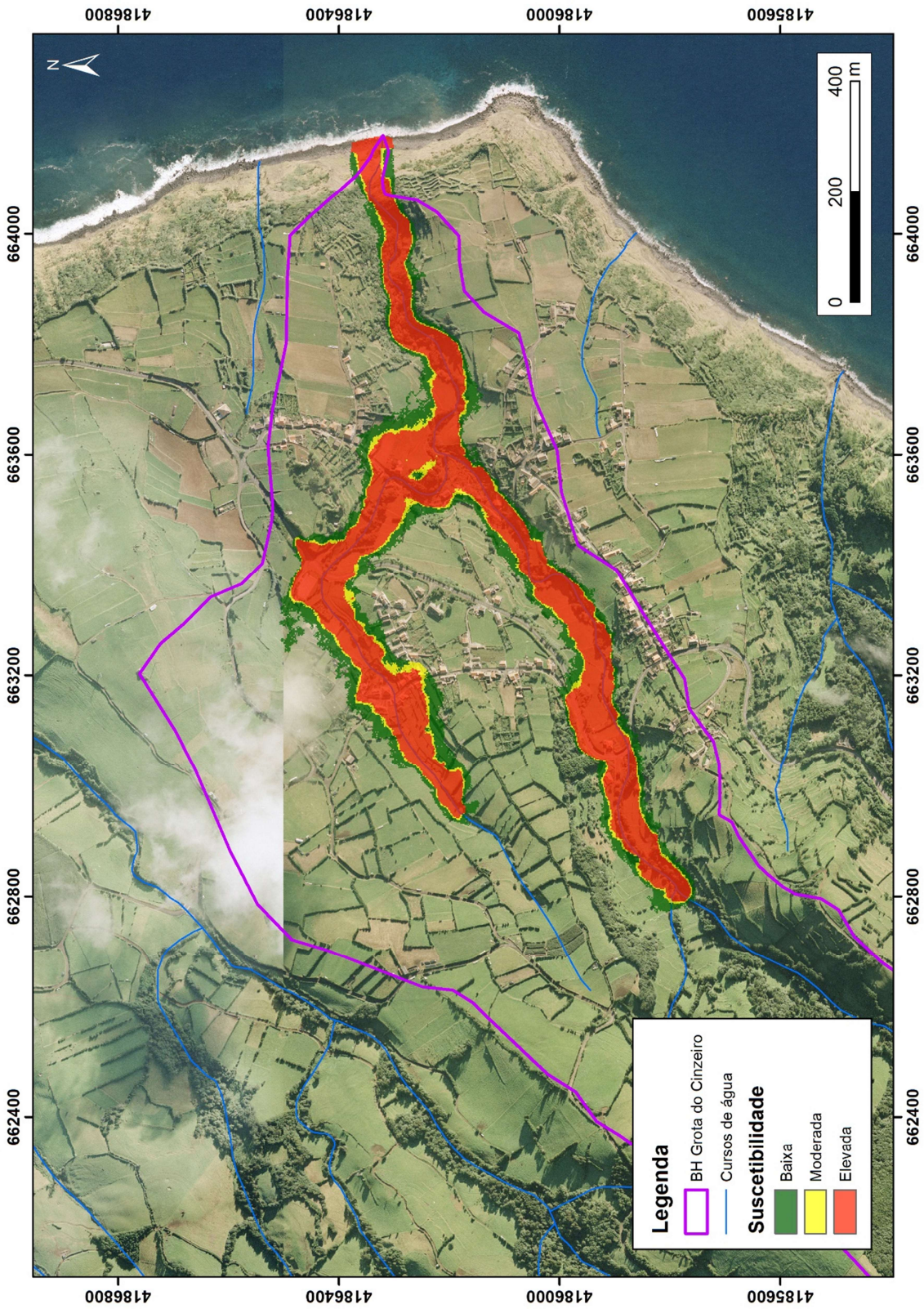


Figura 26 – Mapa de suscetibilidade a cheias para a Grota do Cinzeiro (concelho do Nordeste, ilha de São Miguel).

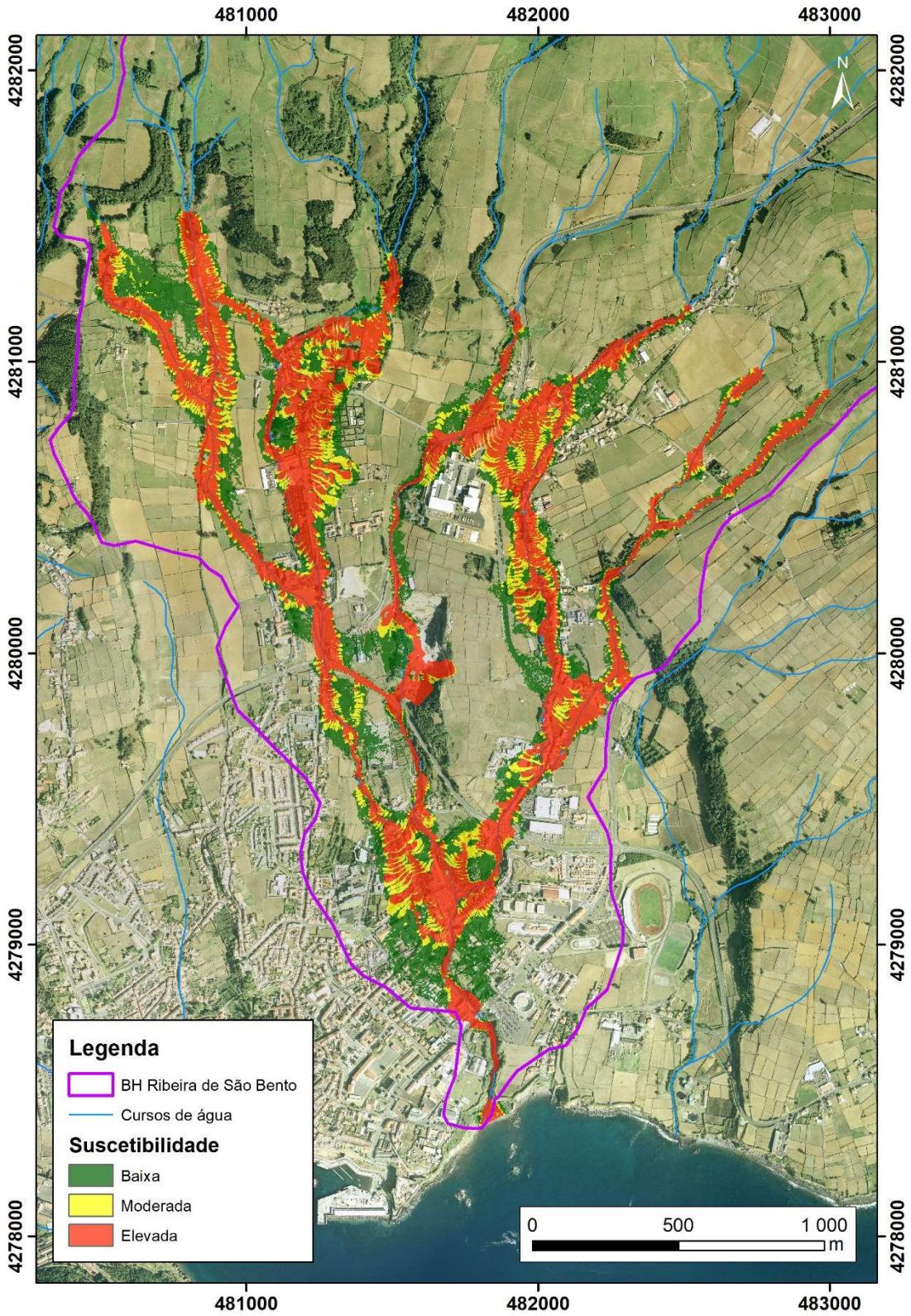


Figura 27 – Mapa de suscetibilidade a cheias para a Ribeira de São Bento (concelho de Angra do Heroísmo, ilha Terceira).

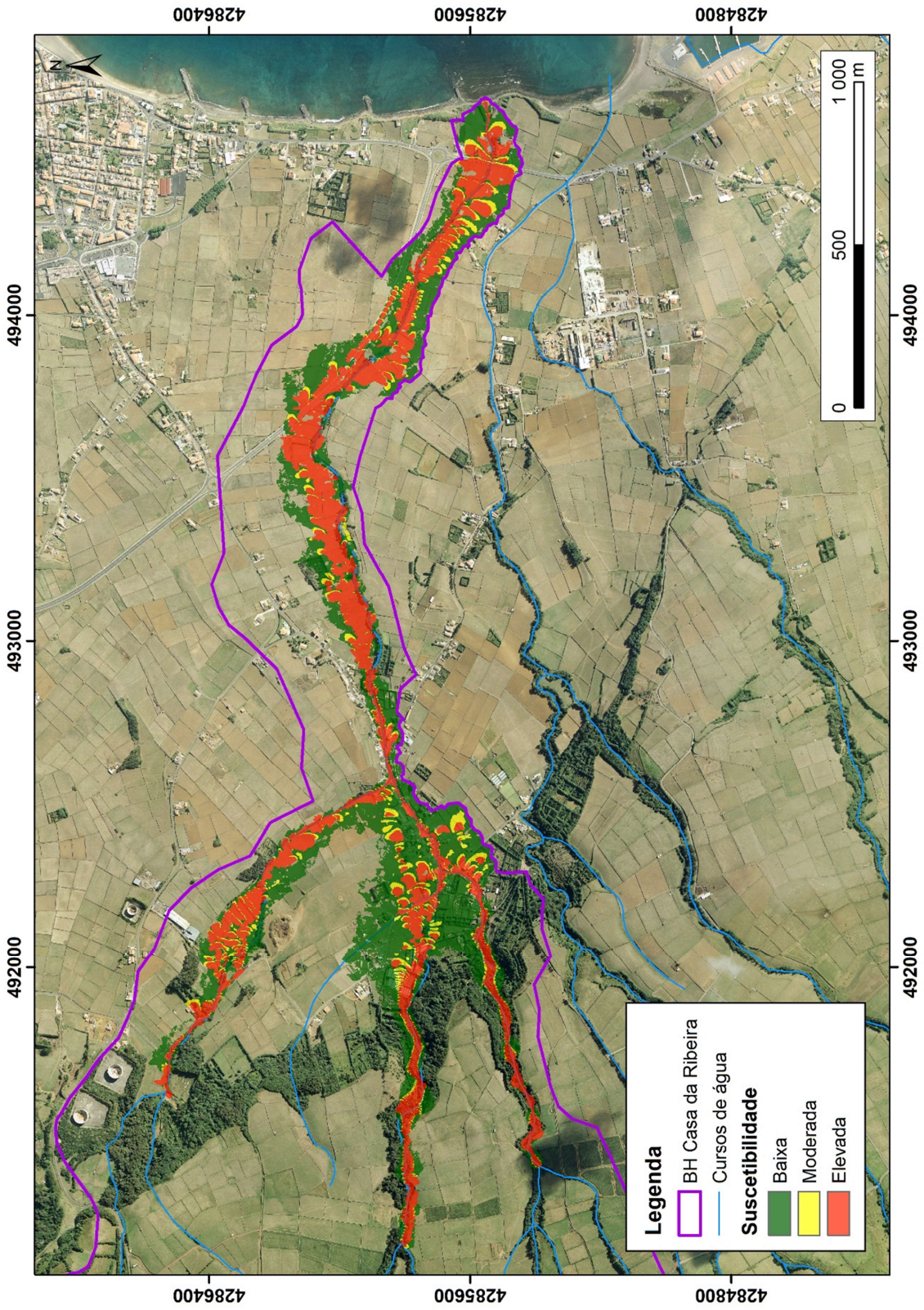


Figura 28 – Mapa de suscetibilidade a cheias para a Ribeira da Casa da Ribeira (concelho da Praia da Vitória, ilha Terceira).

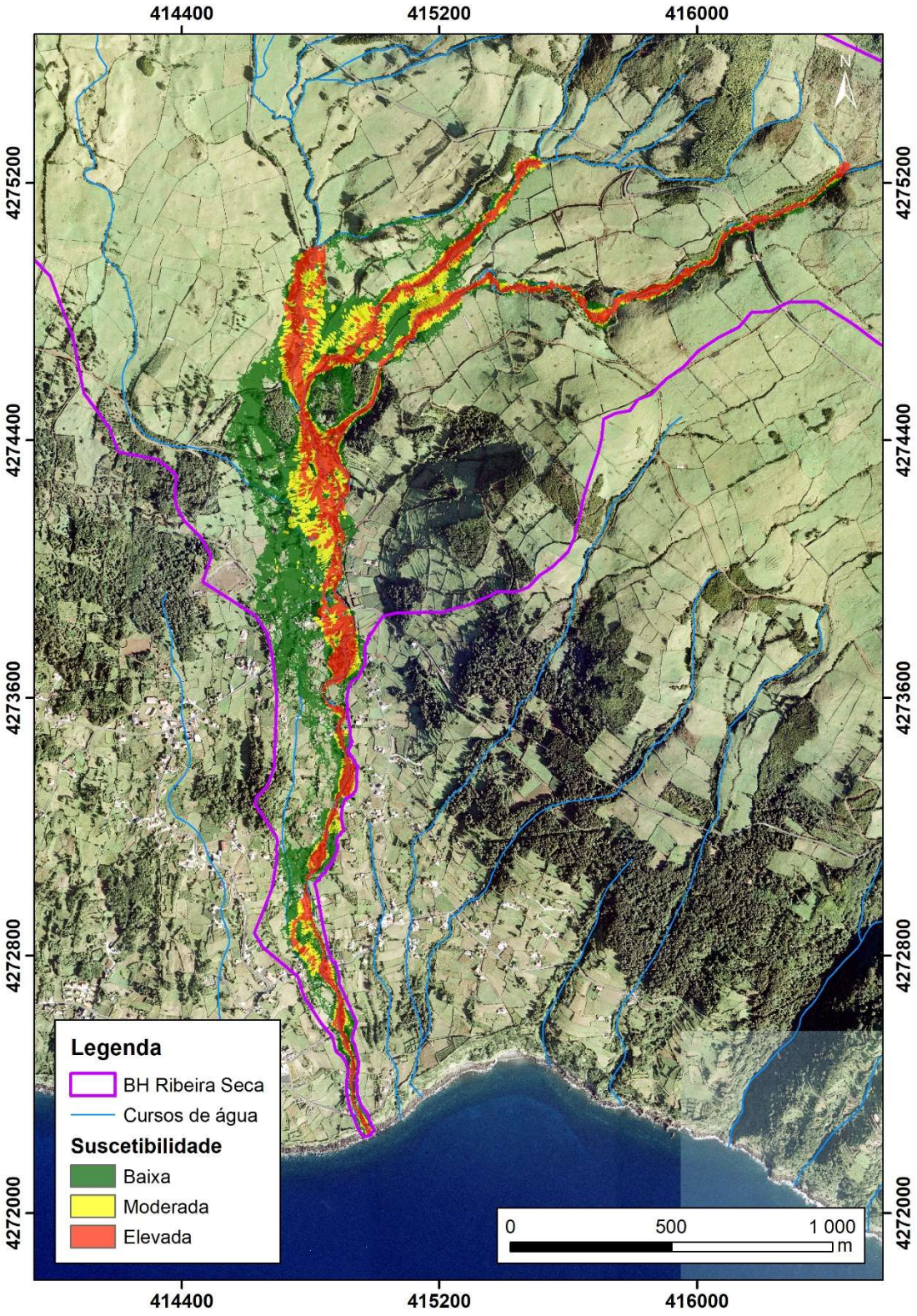


Figura 29 – Mapa de suscetibilidade a cheias para a Ribeira Seca (concelho da Calheta, ilha de São Jorge).

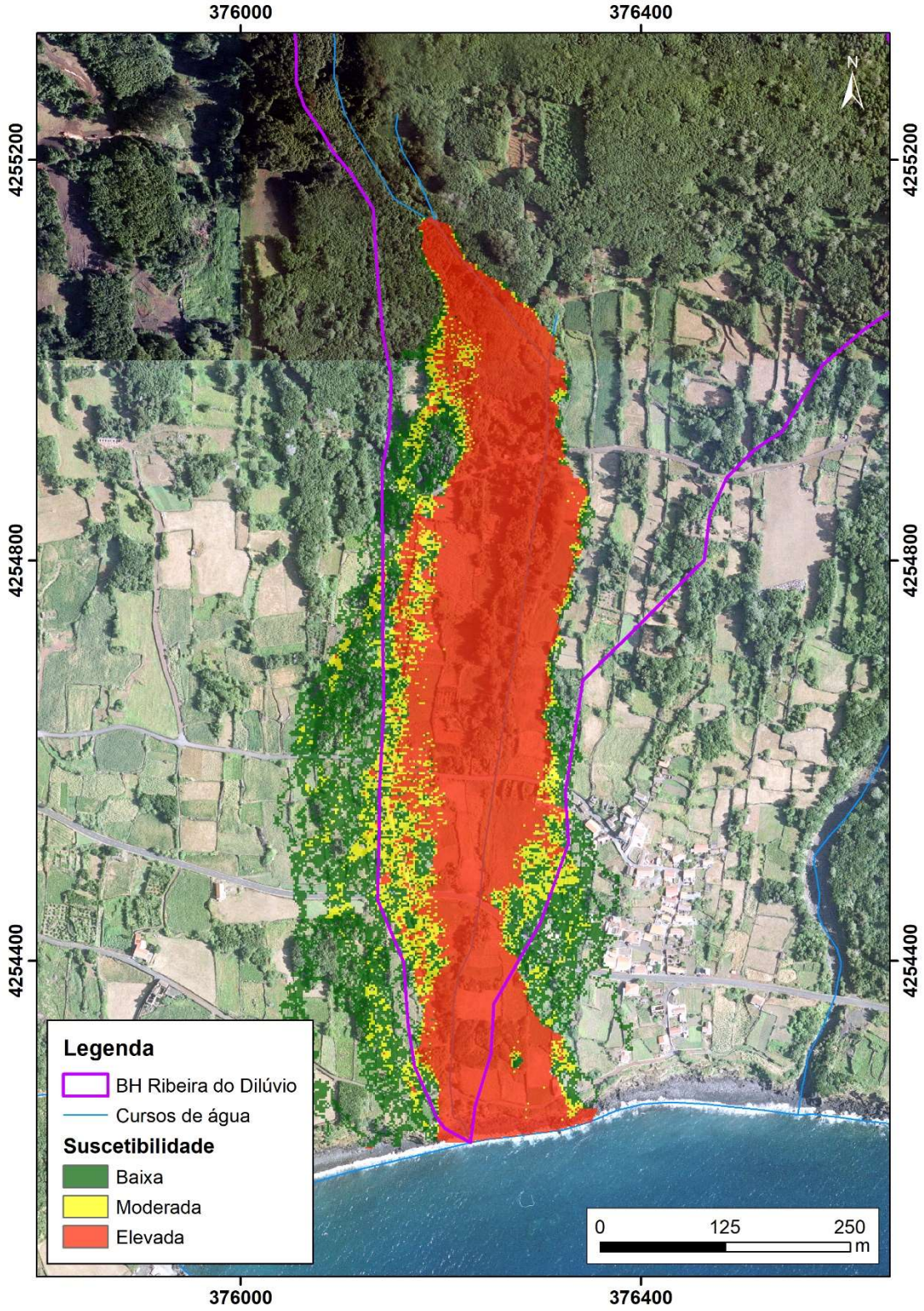


Figura 30 – Mapa de suscetibilidade a cheias para a Ribeira do Dilúvio (concelho da Madalena, ilha do Pico).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos relativamente à suscetibilidade a cheias para as seis bacias hidrográficas estudadas obrigam a uma interpretação cuidada, que tenha em consideração as limitações do modelo probabilístico utilizado para modelação dos fluxos e do Modelo Numérico de Elevação utilizado como base de trabalho.

Verifica-se que o Modelo Numérico de Elevação, embora tenha muita resolução (0,45x0,45 m para as bacias hidrográficas de São Miguel e 0,50x0,50 m para as restantes), não reflete a existência de elementos artificiais limitadores dos fluxos (*e.g.*, muros de guarda, passagens hidráulicas ou outras barreiras artificiais), sendo os resultados apenas constrangidos pela geomorfologia do terreno, que em alguns locais não apresenta a qualidade necessária para a determinação rigorosa das áreas inundáveis. Tal facto, torna os resultados obtidos muito conservadores, na maioria dos casos, devido ao extravasamento exagerado de alguns dos fluxos simulados, o que poderá ser minimizado com a elaboração de cartografia de maior detalhe.

Por outro lado, a inexistência de estações hidrométricas nas bacias hidrográficas em estudo, e de estações meteorológicas, ou udométricas, com séries temporais de dados longas, impossibilita o cálculo de hidrogramas, da probabilidade de excedência e do período de retorno de caudais ou cenários de precipitação. Tais factos impossibilitam a utilização de *softwares* de modelação hidráulica mais robustos (*e.g.*, HEC-RAS, MIKE FLOOD). Atualmente, a Direção Regional do Ambiente possui uma Rede de Monitorização Hidrometeorológica Automática, de grande qualidade, que, no futuro, contribuirá para que se possam estudar com maior detalhe estes fenómenos e utilizar *softwares* de modelação mais robustos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Felpeto, A. (2002) – *Modelización física y simulación numérica de procesos eruptivos para la generación de mapas de peligrosidad volcánica. Madrid*: [s.n.], 2002. 250 p. Tese de doutoramento apresentada à Universidad Complutense de Madrid.

Felpeto, A.; Martí, J. e Ortiz, R. (2007) - Automatic GIS-based system for volcanic hazard assessment. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 166, 106-116.

Horton, R. (1932) - *Drainage Basin Characteristics*. Transactions, American Geophysical Union, 13, 350-361.

Horton, R.E. (1945) - Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol Soe. Am. Bull.*, v.56, n.3, p.275-370.

Marques, R. (2013) - *Estudo de movimentos de vertente no concelho da Povoação (ilha de São Miguel, Açores): inventariação, caracterização e análise da susceptibilidade*. Tese de doutoramento em Geologia, especialidade de Riscos Geológicos. 456 p.

Miller, V.C. (1953) - *A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee*. Department of Geology Columbia University, New York, 389-402.

Schumm, S.A. (1956) - The evolution of drainage systems and slopes in bad lands at Perth, Amboi, New Jersey. Geol. *Soc. Ame. Bull.* 67 (5), pp. 597-646.

Silva, R.F. e Marques, R. (2018) – *Elaboração da reavaliação dos riscos de inundações na Região Hidrográfica dos Açores – 2.º ciclo de planeamento. Fase 1 – Reavaliação dos riscos de inundações*. Relatório Técnico-científico DTC 012/IVAR/CIVISA/18. Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores.15 p.

Strahler, A. N. (1957) - Quantitative analysis of watershed Geomorphology. Am. *Geophys. Union Trans*. 38 (6): 913-920.

RELATÓRIO 3 - **ELABORAÇÃO DA REAVALIAÇÃO DOS RISCOS DE INUNDAÇÕES NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DOS AÇORES - 2.º CICLO DE PLANEAMENTO**

Reavaliação das cartas das zonas inundáveis para áreas de risco definidas no 1.º ciclo de planeamento

R.F. Silva e R. Marques

DTC 012/IVAR/CIVISA/21

CENTRO DE INFORMAÇÃO E VIGILÂNCIA SISMOVULCÂNICA DOS AÇORES

INSTITUTO DE INVESTIGAÇÃO EM VULCANOLOGIA E AVALIAÇÃO DE RISCOS

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO 1

2. MODELAÇÃO DE FLUXOS GRAVÍTICOS 8

2.1 Seleção do modelo utilizado 8
2.2. Parâmetros utilizados na modelação 9
2.3 Validação e classificação dos mapas de suscetibilidade 10
2.4. Resultados da modelação numérica 10

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS 16

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 17

1. INTRODUÇÃO

O presente documento técnico-científico enquadra-se no âmbito do procedimento por ajuste direto n.º 45/DRA/2018, para aquisição de serviços de "Elaboração da reavaliação dos riscos de inundações na Região Hidrográfica dos Açores – 2.º ciclo de planeamento ", realizado ao abrigo do contrato n.º 40/DRA/2018, celebrado no dia 2 de agosto de 2018, entre a Região Autónoma dos Açores, através da Direção Regional do Ambiente da Secretaria Regional da Energia, Ambiente e Turismo (DRA-SREAT), e o Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA).

No âmbito do 2.º ciclo de planeamento do Plano de Gestão de Riscos de Inundações da Região Autónoma dos Açores (PGRIA), foram reclassificadas todas as bacias hidrográficas do arquipélago em termos de risco de cheia e selecionadas, por apresentarem risco elevado (Silva e Marques, 2018; 2020), as seguintes bacias hidrográficas:

1. Ilha de São Miguel:
    a. Bacia hidrográfica da Grota da Areia (concelho de Ponta Delgada);
    b. Bacia hidrográfica da Grota do Cinzeiro (concelho do Nordeste).
2. Ilha Terceira:
    a. Bacia hidrográfica da Ribeira de São Bento (concelho de Angra do Heroísmo);
    b. Bacia hidrográfica da Ribeira da Casa da Ribeira (concelho de Praia da Vitória).
3. Ilha de São Jorge:
    a. Bacia hidrográfica da Ribeira Seca (concelho da Calheta).
4. Ilha do Pico:
    a. Bacia hidrográfica da Ribeira do Dilúvio (concelho da Madalena).

O presente documento tem como objetivo apresentar os resultados da reavaliação das zonas inundáveis para as bacias hidrográficas selecionadas no 1.º ciclo de planeamento (Pombo *et*. al, 2014) do PGRIA 2016-2021 (Decreto Legislativo Regional n.º 20/2016/A, de 10 de outubro). Tal decisão justifica-se pela disponibilização de um novo Modelo Digital de Terreno, com uma resolução superior ao utilizado por Pombo *et al.* (2014), que possibilitou uma melhoria significativa na qualidade dos resultados obtidos.

As bacias hidrográficas selecionadas no 1.º ciclo de planeamento do PGRIA 2016-2021 foram as seguintes:

1. Ilha de São Miguel:
    a. Bacia hidrográfica da Ribeira do Povoação (concelho da Povoação) (Fig. 1);
    b. Bacia hidrográfica da Ribeira Grande (concelho da Ribeira Grande) (Fig. 2).
2. Ilha Terceira:
    a. Bacias hidrográficas das Ribeiras do Porto Judeu (Ribeira do Testo e Grota do Tapete) (concelho de Angra do Heroísmo) (Fig. 3);
    b. Bacia hidrográfica da Ribeira da Agualva (concelho da Praia da Vitória) (Fig. 4).
3. Ilha das Flores:
    a. Bacia hidrográfica da Ribeira Grande (concelho das Lajes das Flores) (Fig. 5).

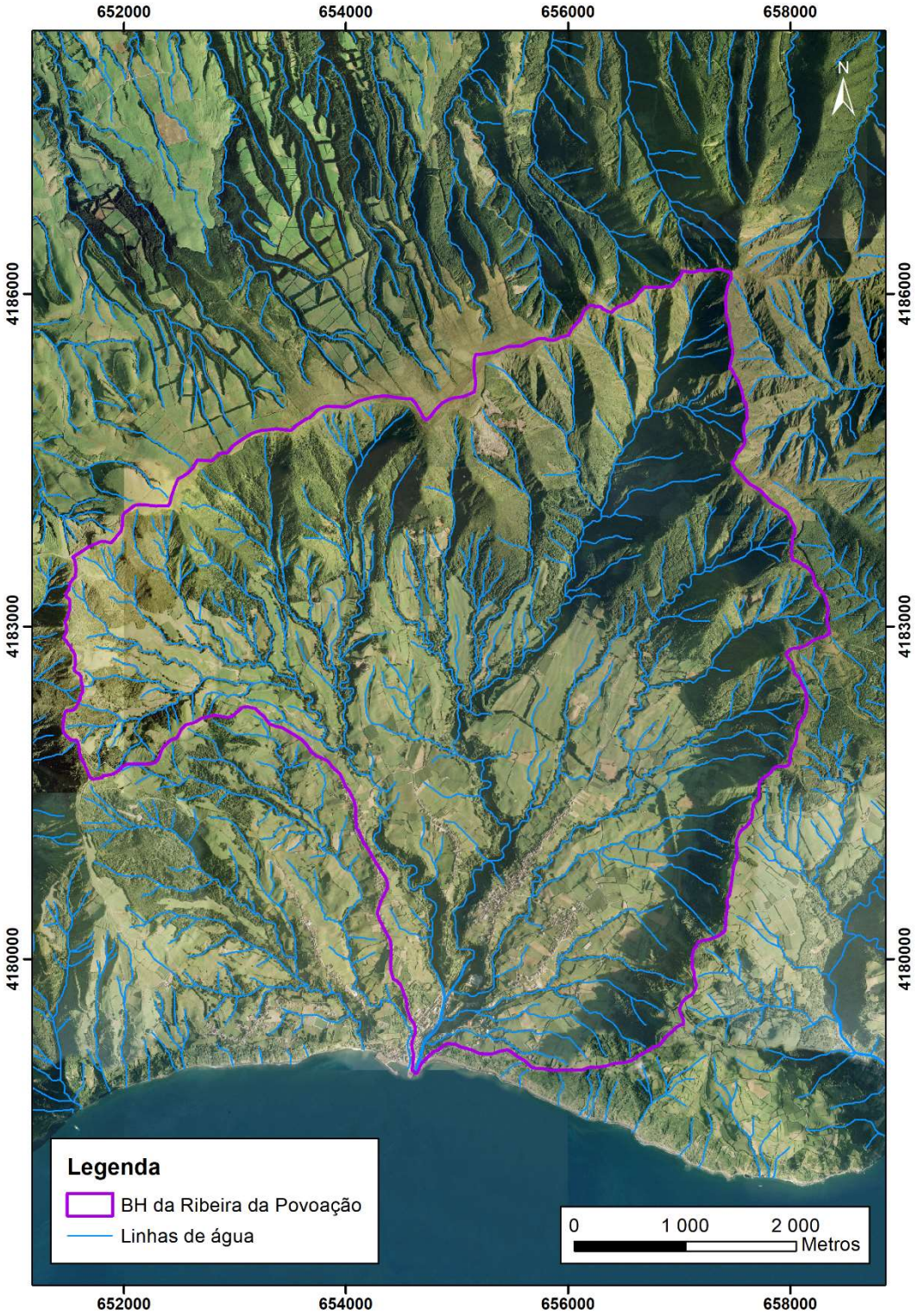


Figura 1 – Bacia hidrográfica da Ribeira da Povoação (concelho da Povoação, ilha de São Miguel).

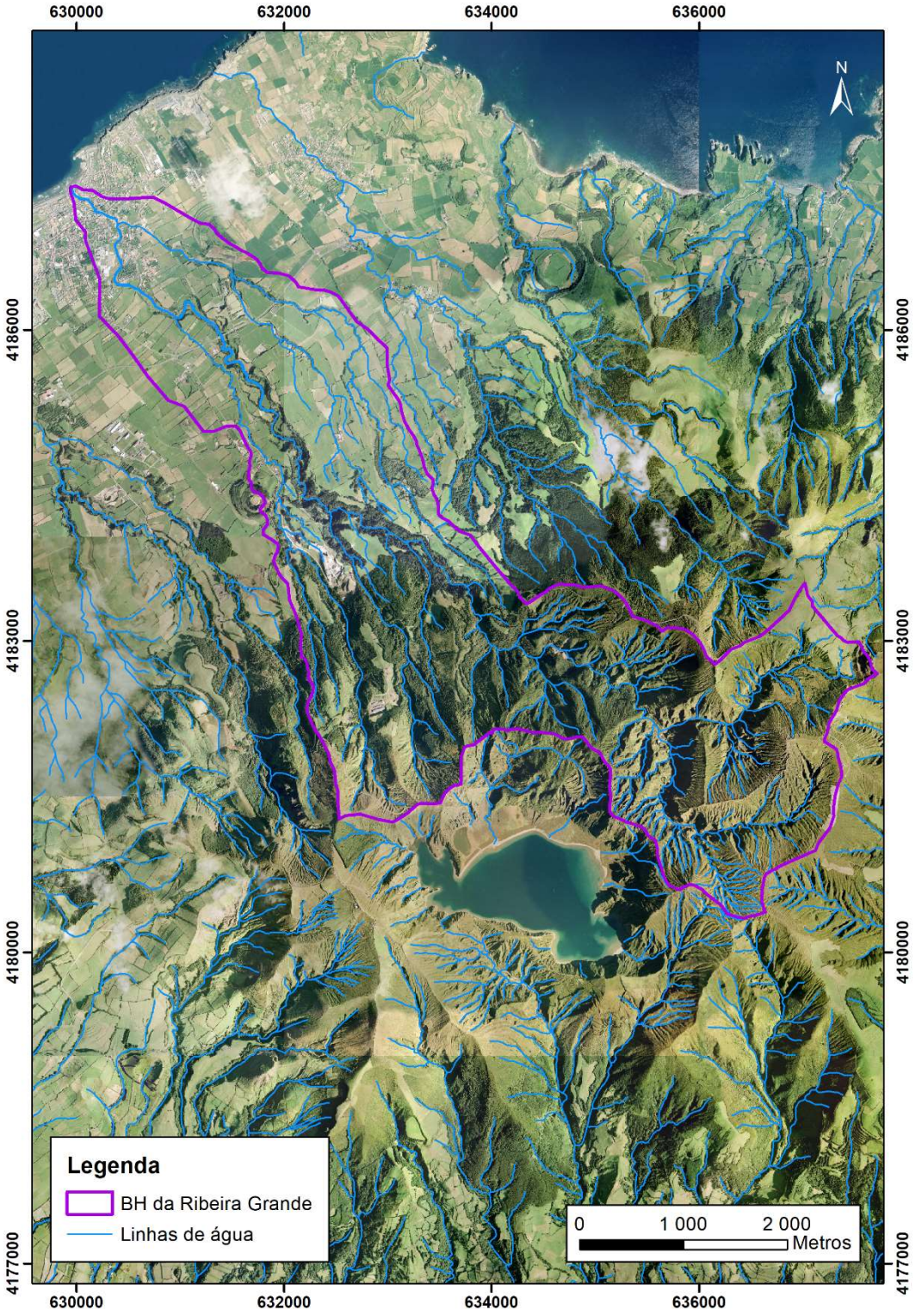


Figura 2 – Bacia hidrográfica da Ribeira Grande
(concelho da Ribeira Grande, ilha de São Miguel).

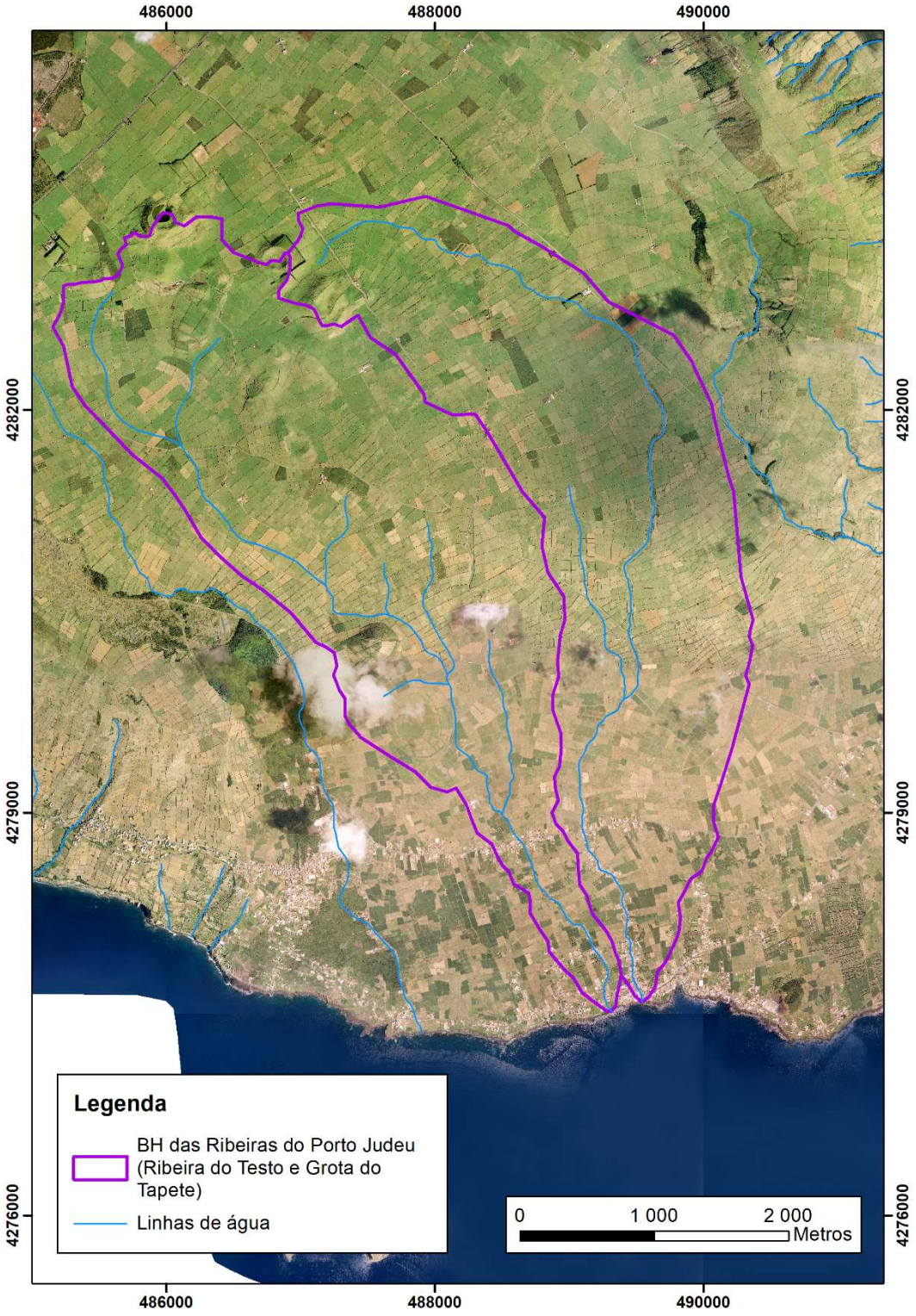


Figura 3 – Bacia hidrográfica das Ribeiras do Porto Judeu (Ribeira do Testo e Grota do Tapete) (concelho de Angra do Heroísmo, ilha Terceira).

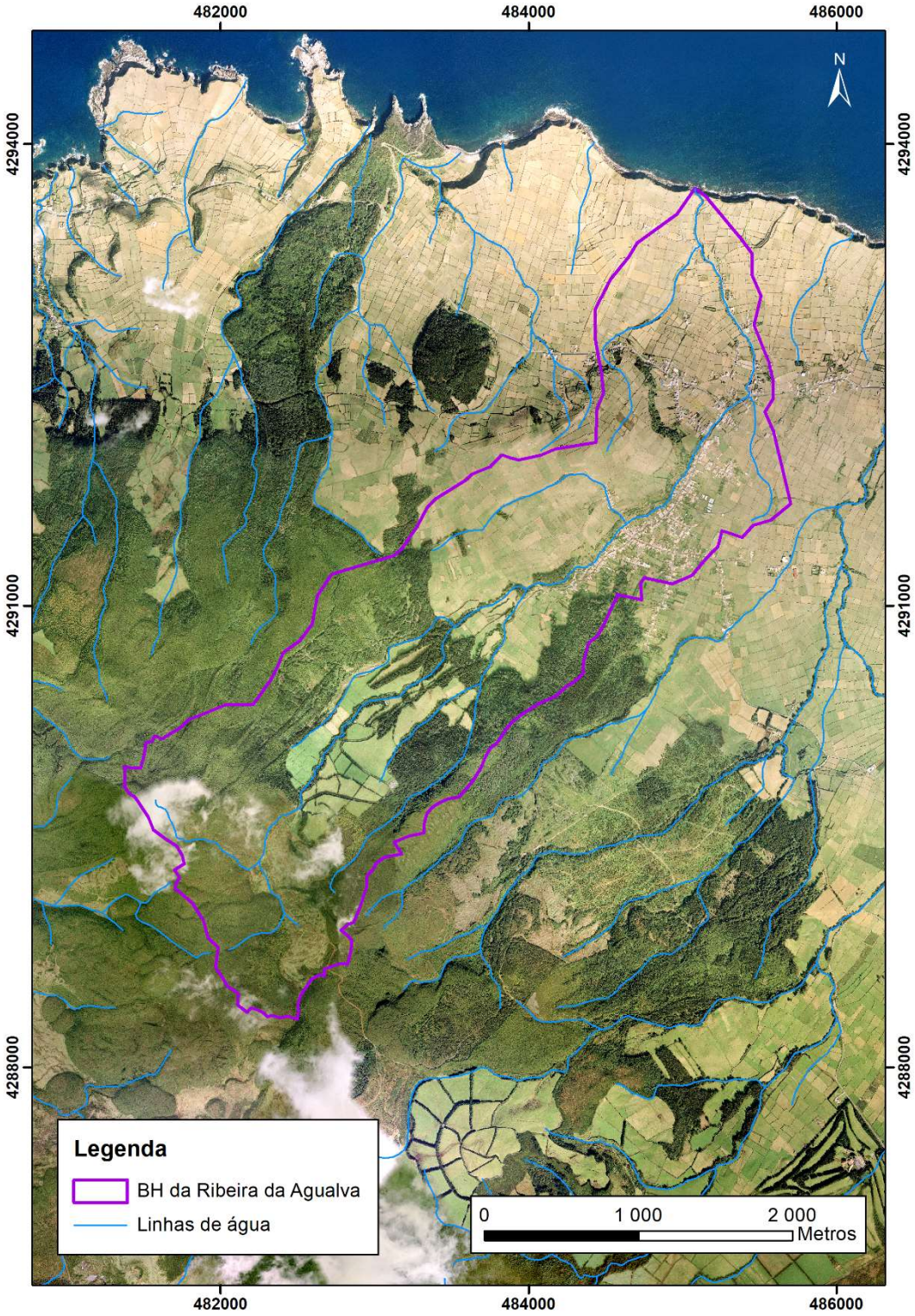


Figura 4 – Bacia hidrográfica da Ribeira da Agualva (concelho de Praia da Vitória, ilha Terceira).

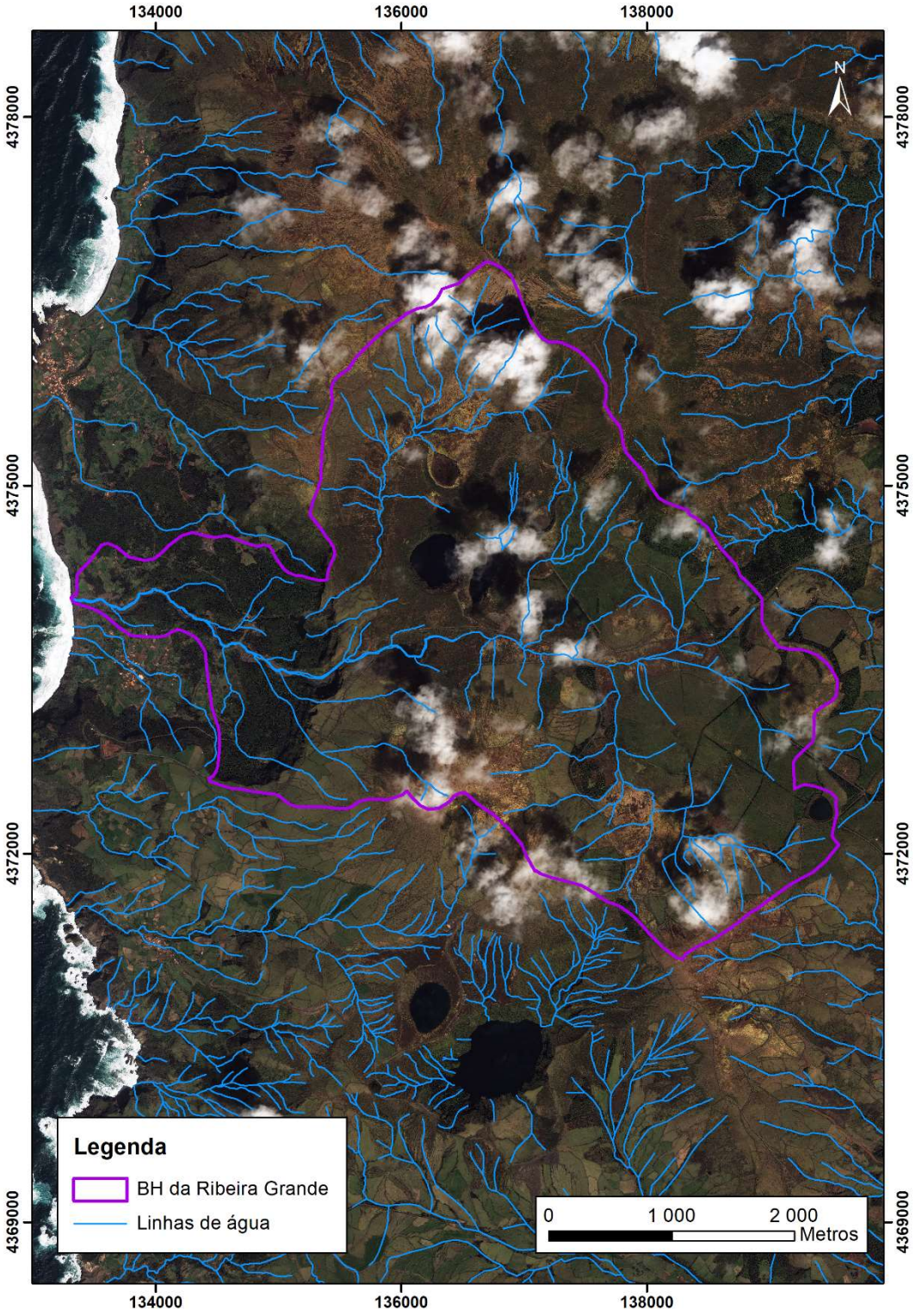


Figura 5 – Bacia hidrográfica da Ribeira Grande
(concelho das Lajes das Flores, ilha das Flores).

2. MODELAÇÃO DE FLUXOS GRAVÍTICOS

2.1 Seleção do modelo utilizado

A determinação das zonas inundáveis por uma cheia foi efetuada através da determinação numérica da probabilidade espacial (suscetibilidade) de cada unidade de terreno ser afetada por um fluxo gravítico. Neste sentido, foi utilizado o modelo probabilístico para modelação de fluxos gravíticos, VORIS (*Volcanic Risk Information System*; Felpeto *et al*., 2007).

A seleção do modelo VORIS para a avaliação da suscetibilidade à ocorrência de cheias teve por base os condicionalismos existentes ao nível dos dados hidrométricos e a resolução da informação cartográfica existente na Região Autónoma dos Açores. A ausência de estações hidrométricas nas bacias hidrográficas em estudo impossibilita a obtenção de dados que permitam a construção de hidrogramas, excluindo a possibilidade de se utilizarem *softwares* de modelação mais complexos (*e.g.* HEC-RAS; MIKE FLOOD). Por outro lado, a baixa resolução da cartografia e dos Modelos Numéricos de Elevação (MNE) disponíveis na região, condicionam determinantemente a qualidade dos resultados obtidos, seja qual for o modelo utilizado para a determinação da suscetibilidade a cheias.

O modelo VORIS é condicionado, exclusivamente, pela topografia, podendo ser aplicado a qualquer tipo de fluxo para o qual apenas se pretenda modelar o controle da topografia no resultado final. O modelo simula a trajetória de um fluxo usando as relações altimétricas entre cada unidade matricial ortogonal que compõe a área de estudo e as oito que lhe são contiguas, aplicando o algoritmo de Monte-Carlo na seleção das soluções. A utilização deste algoritmo permite calcular, através da repetição iterativa do processo, o caminho mais provável de um fluxo e a sua área de abrangência a partir de um ponto considerado como emissor.

A simulação da trajetória foi efetuada sobre um Modelo Numérico de Elevação (MNE), com uma discretização do terreno em unidades ortogonais matriciais de 2x2 m, em concordância com o trabalho desenvolvido nas bacias selecionadas no 2.º ciclo de planeamento do PGRIA (Silva e Marques, 2020). O valor da probabilidade de cada célula foi determinado em função do número de vezes que uma determinada unidade de terreno é transposta por uma iteração. A trajetória do fluxo em cada unidade de terreno é calculada pela aplicação do algoritmo de Monte-Carlo.

2.2. Parâmetros utilizados na modelação

O modelo desenvolvido por Felpeto (2002) exige a introdução de quatro dados de entrada:

1) a matriz ortogonal quadrangular da altimetria (correspondente ao MNE);
2) o comprimento máximo do fluxo, em metros, (l_{max});
3) a altura crítica (h_c);
4) localização da(s) fonte(s) emissora(s) do fluxo gravítico;
5) número de iterações.

O comprimento máximo (l_{max}), inserido em metros, determina a distância percorrida pelo fluxo. O valor introduzido deverá contemplar a distância da fonte do fluxo ao ponto final pretendido (foz das ribeiras). A altura crítica (h_c), inserida em metros, corresponde à frente do fluxo, que controla a sua capacidade de se propagar de uma célula para outra, tendo em consideração as suas diferenças altimétricas.

Como fontes emissoras do fluxo gravítico considerou-se, para todas as bacias hidrográficas, os pontos de interseção das linhas de água de 1.ª e 2.ª ordem de Strahler (Strahler, 1957).

Para a determinação das zonas inundáveis das cinco bacias hidrográficas em estudo foram utilizados os parâmetros listados na tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros utilizados para a modelação da suscetibilidade a cheias para as bacias hidrográficas em estudo.

Ilha	Bacia Hidrográfica	l_{max} (m)	h_c (m)
São Miguel	Ribeira da Povoação	250.000	3
	Ribeira Grande	250.000	2
Terceira	Ribeiras do Porto Judeu	200.000	2
	Ribeira da Agualva	300.000	2
Flores	Ribeira Grande	250.000	2

A estimativa do valor de altura crítica (h_c) adequado para cada cenário foi um processo iterativo. Para todos os cenários, o valor de h_c foi calibrado com recurso à comparação dos resultados obtidos com o edificado e infraestruturas afetadas pelas cheias que ocorreram nas bacias hidrográficas em estudo.

2.3 Validação e classificação dos mapas de suscetibilidade

Os resultados da modelação das áreas inundáveis, obtidos a partir da utilização do modelo VORIS, não são por si só suficientes para a elaboração dos mapas finais da suscetibilidade a inundações. A validação e classificação dos resultados obtidos são igualmente tarefas fundamentais para a elaboração de mapas de qualidade e classificados com critérios claros que auxiliem a sua leitura e utilização (Marques, 2013).

A validação dos mapas de suscetibilidade a inundações foi efetuada com base no cálculo das Curvas de Predição (*Prediction Rate Curves*, PRC). Na prática, materializam-se pela projeção da área classificada por ordem decrescente de suscetibilidade, em percentagem acumulada, no eixo das abcissas de um gráfico, e pela respetiva projeção, no eixo das ordenadas, do edificado/infraestruturas afetadas igualmente em percentagem acumulada. De forma conservadora, nas cartas das áreas inundáveis considerou-se que a classe de suscetibilidade elevada abrange todo o edificado e infraestruturas afetadas por eventos de cheia ocorridos no passado.

2.4. Resultados da modelação numérica

Com base nas classes definidas, foram obtidos os mapas de suscetibilidade a cheias apresentados nas figuras 6, 7, 8, 9 e 10, para as bacias hidrográficas da Ribeira da Povoação e Ribeira Grande (ilha de São Miguel), Ribeiras do Porto Judeu (Ribeira do Testo e Grota do Tapete) e Ribeira da Agualva (ilha Terceira) e Ribeira Grande (ilha das Flores), respetivamente.

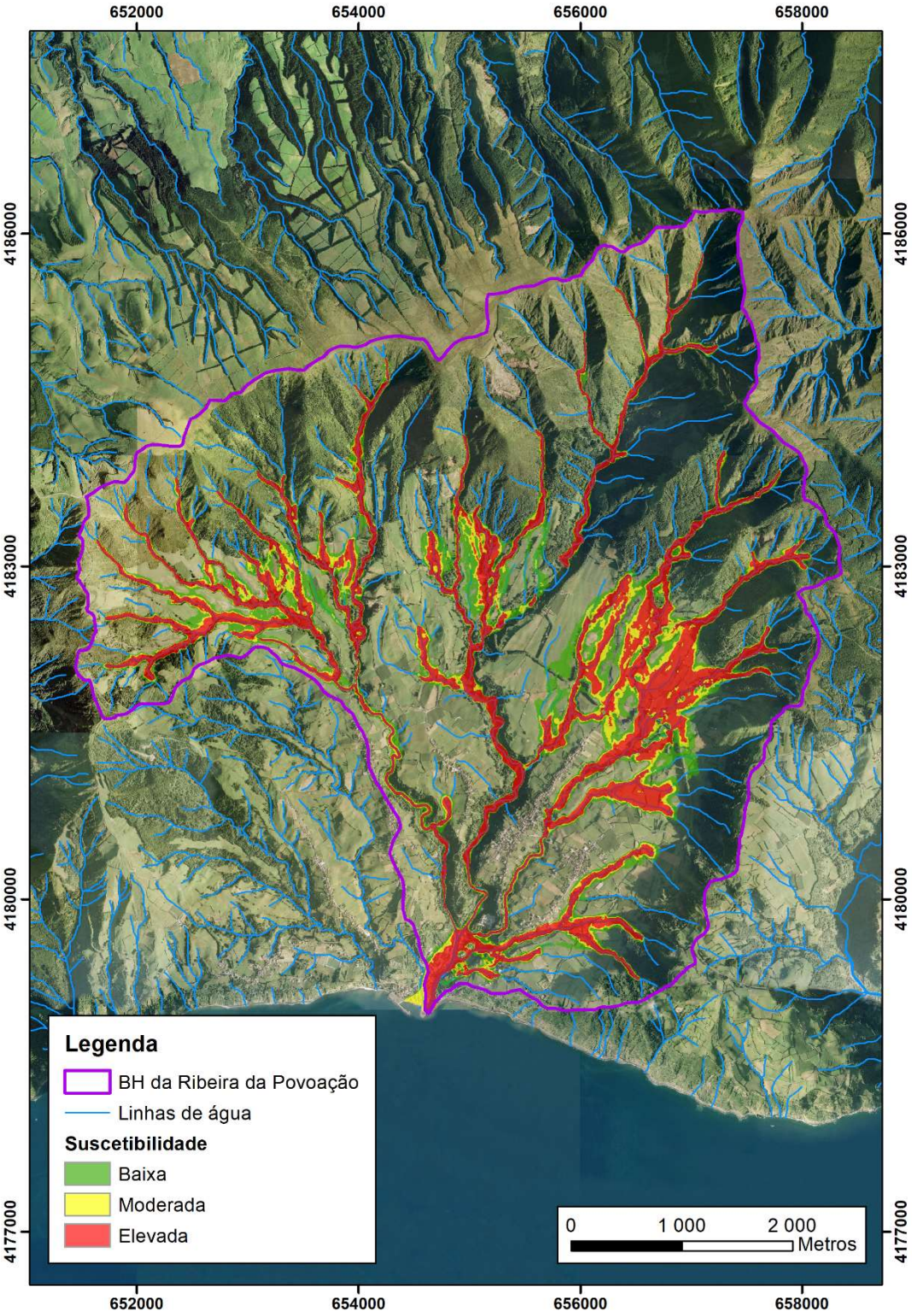


Figura 6 – Mapa de suscetibilidade a cheias para a Ribeira da Povoação (concelho da Povoação, ilha de São Miguel).

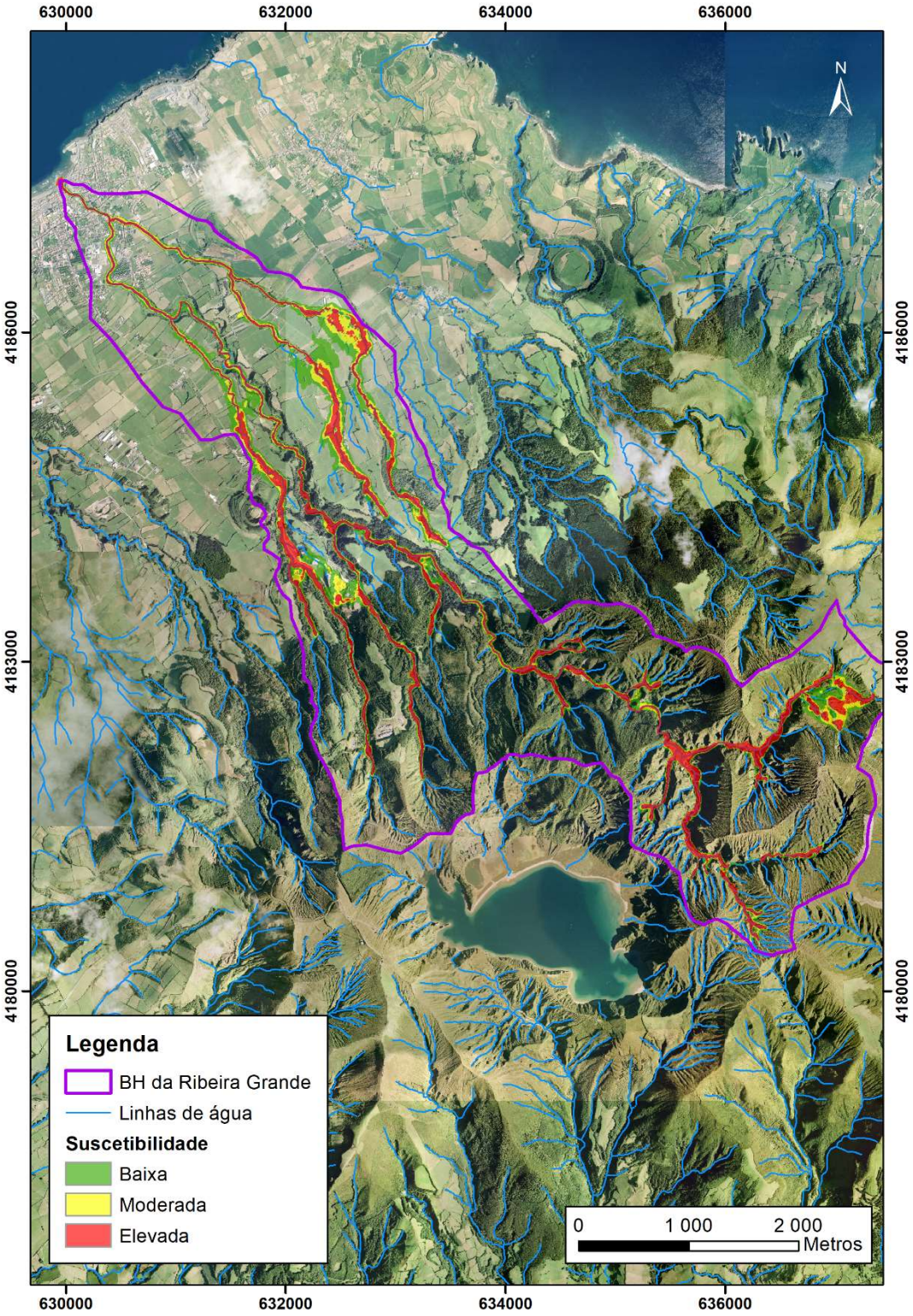


Figura 7 – Mapa de suscetibilidade a cheias para a Ribeira Grande (concelho da Ribeira Grande, ilha de São Miguel).

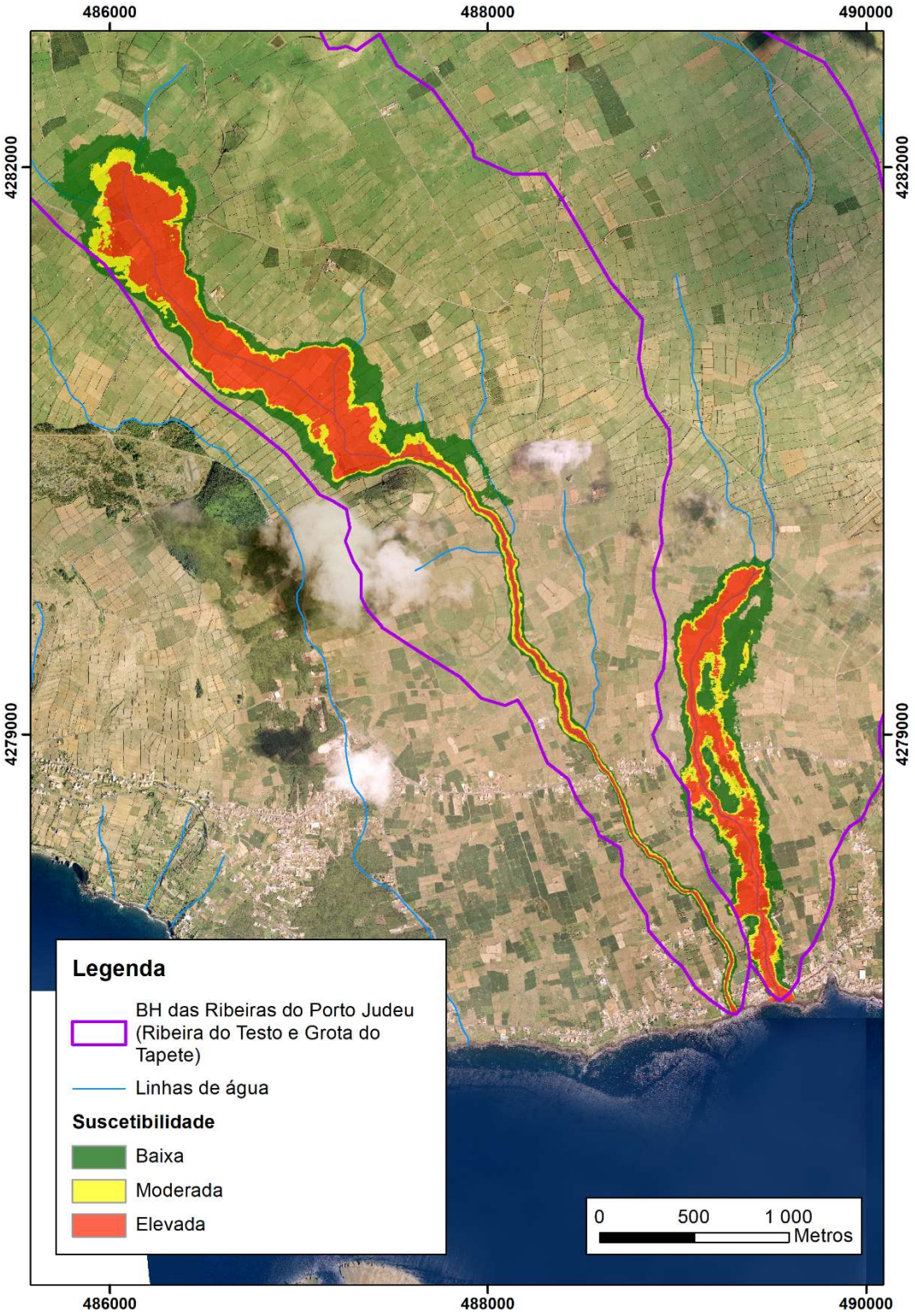


Figura 8 – Mapa de suscetibilidade a cheias para as Ribeiras do Porto Judeu (Ribeira do Testo e Grota do Tapete) (concelho de Angra do Heroísmo, ilha Terceira).

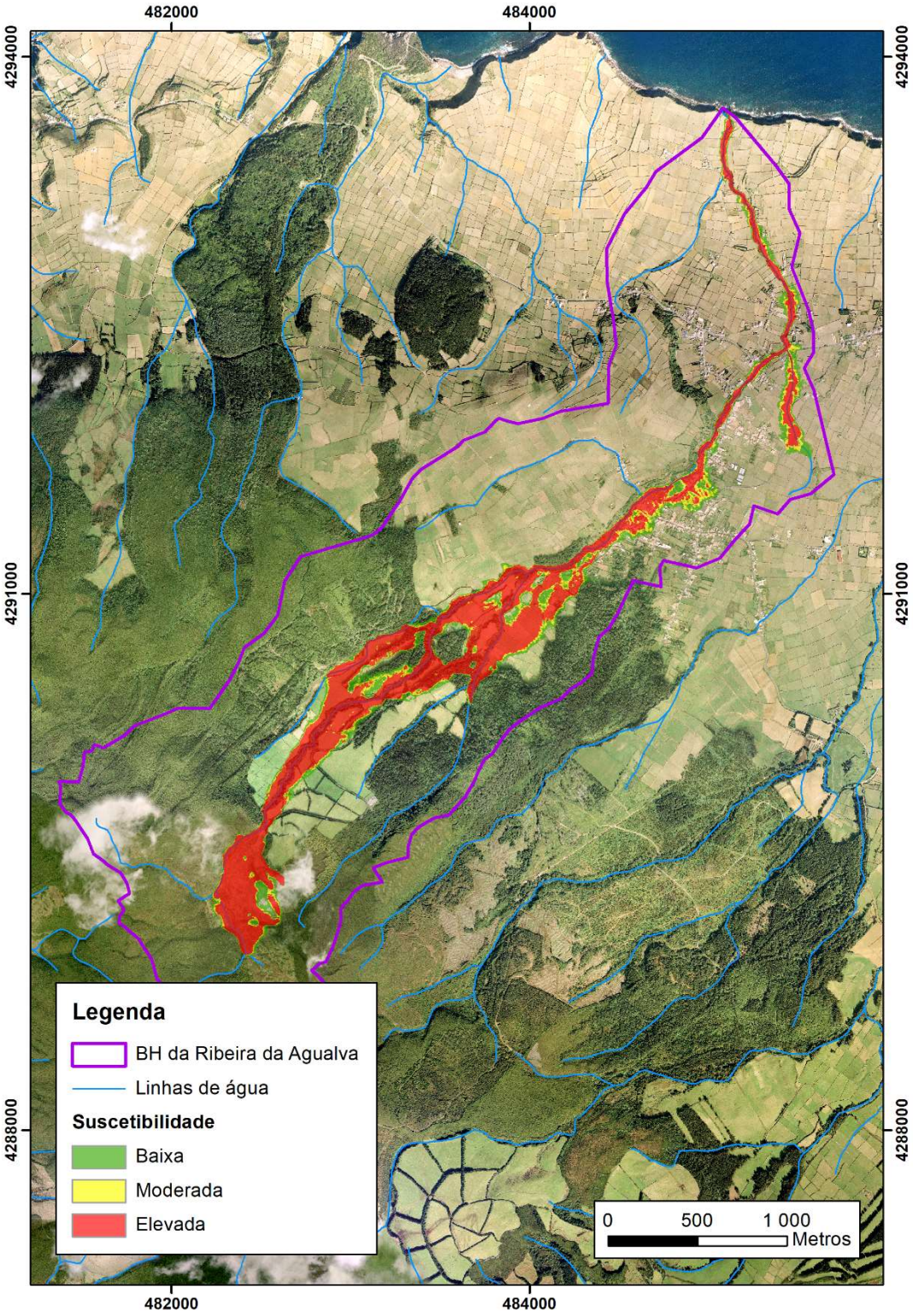


Figura 9 – Mapa de suscetibilidade a cheias para a Ribeira da Agualva (concelho de Praia da Vitória, ilha Terceira).

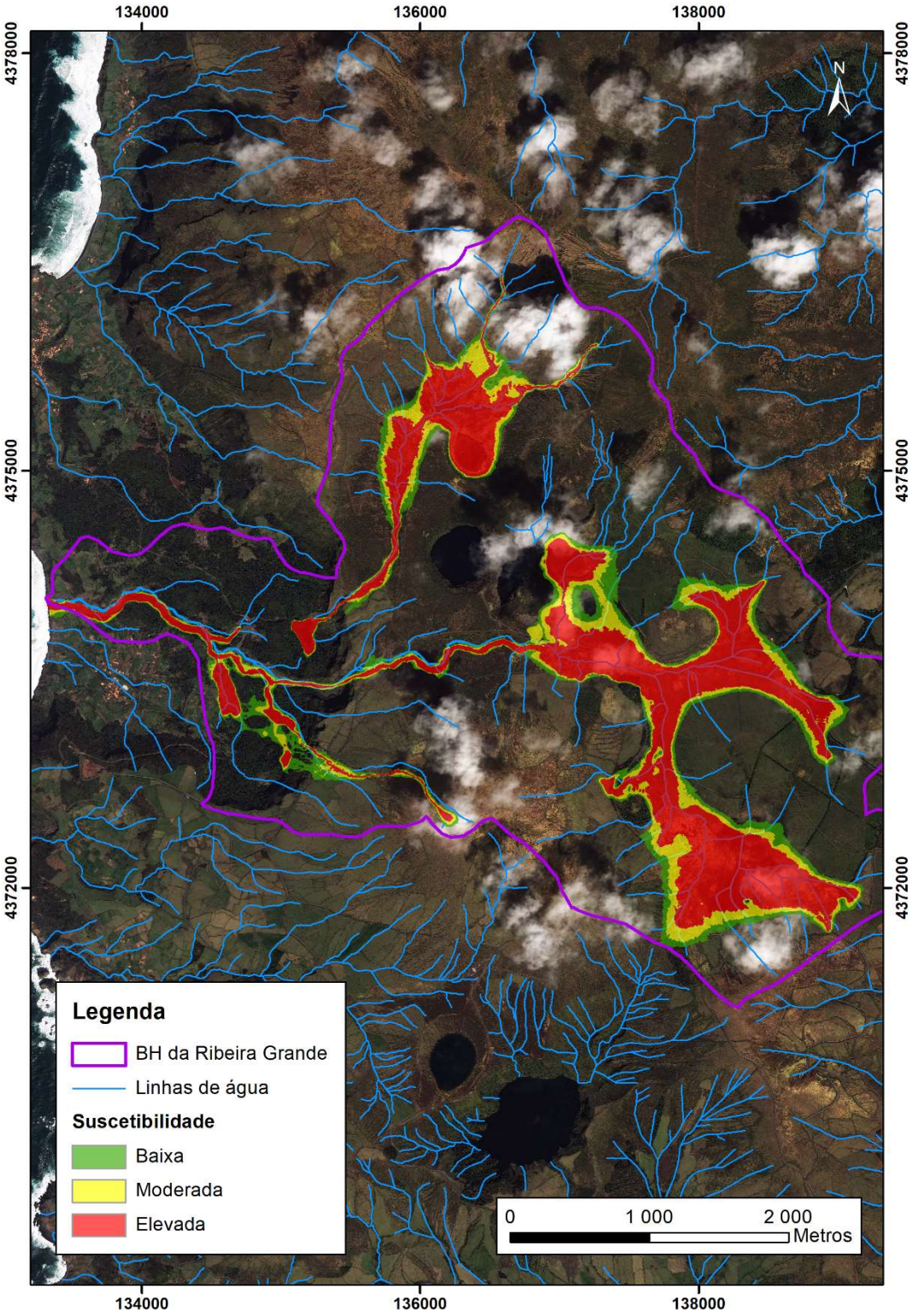


Figura 10 – Mapa de suscetibilidade a cheias para a Ribeira Grande (concelho das Lajes das Flores, ilha das Flores).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados, referentes à reavaliação da suscetibilidade a cheias nas cinco bacias hidrográficas selecionadas no 1.º ciclo de planeamento (Pombo *et*. al, 2014) do PGRIA 2016-2021 (Decreto Legislativo Regional n.º 20/2016/A, de 10 de outubro), obrigam a uma interpretação cuidada, que tenha em consideração as limitações do modelo probabilístico, selecionado para a modelação, e do Modelo Numérico de Elevação, utilizado como base de trabalho.

Verifica-se que o Modelo Numérico de Elevação, embora tenha muita resolução (0,45x0,45 m para as bacias hidrográficas de São Miguel e 0,50x0,50 m para as restantes), não reflete a existência de elementos artificiais limitadores dos fluxos (*e.g.*, muros de guarda, passagens hidráulicas ou outras barreiras artificiais), sendo os resultados apenas constrangidos pela geomorfologia do terreno, que em alguns locais não apresenta a qualidade necessária para a determinação rigorosa das áreas inundáveis. Tal facto, torna os resultados obtidos muito conservadores, na maioria dos casos, devido ao extravasamento exagerado de alguns dos fluxos simulados, o que poderá ser minimizado com a elaboração de cartografia de maior detalhe.

Por outro lado, a inexistência de estações hidrométricas nas bacias hidrográficas em estudo, e de estações meteorológicas, ou udométricas, com séries temporais de dados longas, impossibilita o cálculo de hidrogramas, da probabilidade de excedência e do período de retorno de caudais ou cenários de precipitação. Tais factos impossibilitam a utilização de *softwares* de modelação hidráulica mais robustos (*e.g.*, HEC-RAS, MIKE FLOOD). Atualmente, a Direção Regional do Ambiente possui uma Rede de Monitorização Hidrometeorológica Automática, de grande qualidade, que, no futuro, contribuirá para que se possam estudar com maior detalhe estes fenómenos e utilizar *softwares* de modelação mais robustos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Decreto Legislativo Regional n.º 20/2016/A, publicado no Diário da República n.º 194/2016, Série I, de 10 de outubro de 2016, págs. 3528-3587

Felpeto, A. (2002) – *Modelización física y simulación numérica de procesos eruptivos para la generación de mapas de peligrosidad volcánica. Madrid*: [s.n.], 2002. 250 p. Tese de doutoramento apresentada à Universidad Complutense de Madrid.

Felpeto, A.; Martí, J. e Ortiz, R. (2007) – Automatic GIS-based system for volcanic hazard assessment. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 166, 106-116.

Pombo, J.; Marques, R. e Pacheco, P. (2014) - *Prestação de serviços para a avaliação de riscos de inundações - Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de Outubro, que transpõe a diretiva 2007/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro - Fase 1 - Avaliação preliminar dos riscos de inundações*. Documento Técnico-Científico 027/CVARG/CIVISA/14.

Silva, R.F. e Marques, R. (2018) – *Elaboração da reavaliação dos riscos de inundações na Região Hidrográfica dos Açores – 2.º ciclo de planeamento. Fase 1 – Reavaliação dos riscos de inundações*. Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos/Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores Relatório Técnico-científico DTC 012/IVAR/CIVISA/18.

Silva, R.F. e Marques, R. (2020) – *Elaboração da reavaliação dos riscos de inundações na região hidrográfica dos açores - 2.º ciclo de planeamento. Fase 2 - Elaboração das cartas de zonas inundáveis para áreas de risco*. Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos/Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores. Documento técnico-científico 004/IVAR/CIVISA/2020.

Strahler, A. N. (1957) – Quantitative analysis of watershed Geomorphology. Am. *Geophys. Union Trans*. 38 (6): 913-920.