



O IMPACTE DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE NO CONCELHO DA POVOAÇÃO E OS DESENVOLVIMENTOS EFETUADOS AO NÍVEL DA ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE ALERTA E ALARME PARA A MITIGAÇÃO DO RISCO

RUI MARQUES

 rui.tf.marques@azores.gov.pt

 www.ivar.azores.gov.pt

CIVISA
Centro de Informação e Vigilância
Sismovulcânica dos Açores



UAC
UNIVERSIDADE
DOS AÇORES



**XV ENCONTRO
NACIONAL
de RISCOS**



**Risco de Movimentos em Vertentes
Aprender com o Passado**

Auditório da Câmara Municipal da Povoação Ilha de São Miguel (Açores)
4 e 5 de novembro de 2022

I. INTRODUÇÃO

**XV ENCONTRO
NACIONAL
de RISCOS**

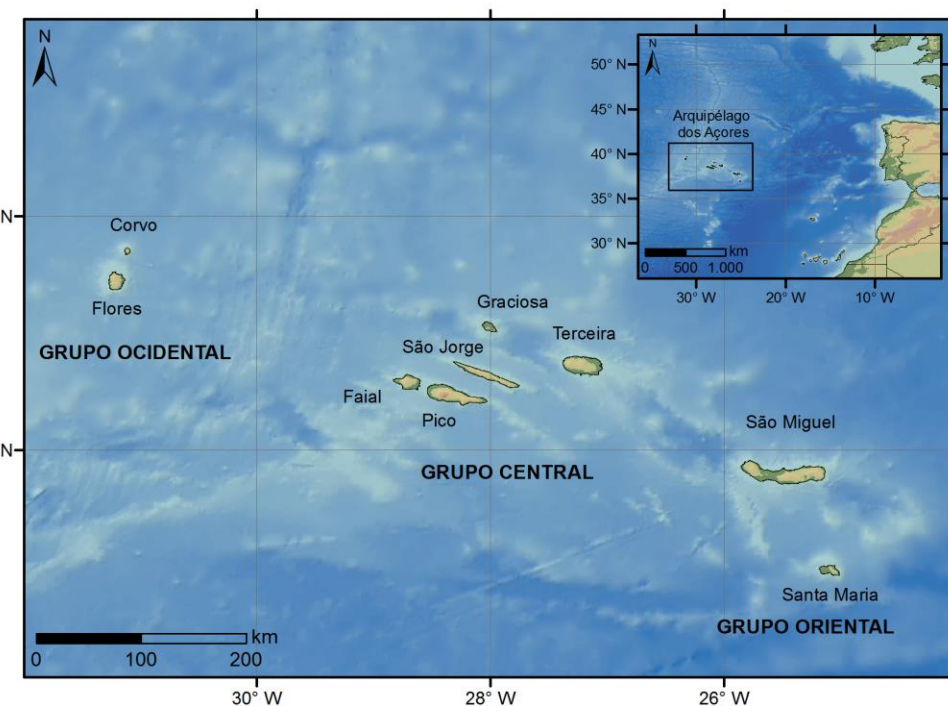
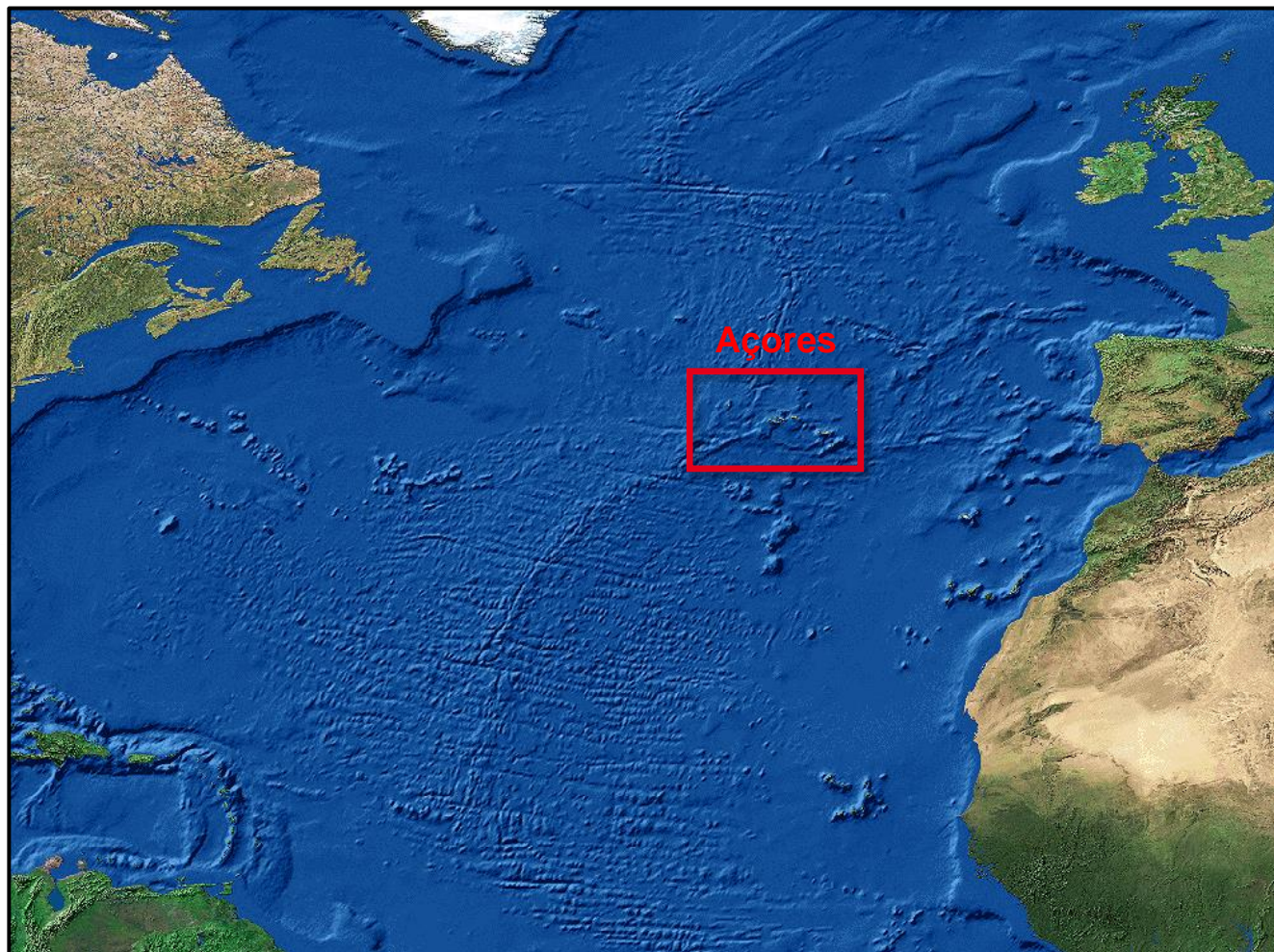


**Risco de Movimentos em Vertentes
Aprender com o Passado**

Auditório da Câmara Municipal da Povoação Ilha de São Miguel (Açores)
4 e 5 de novembro de 2022

I. Introdução

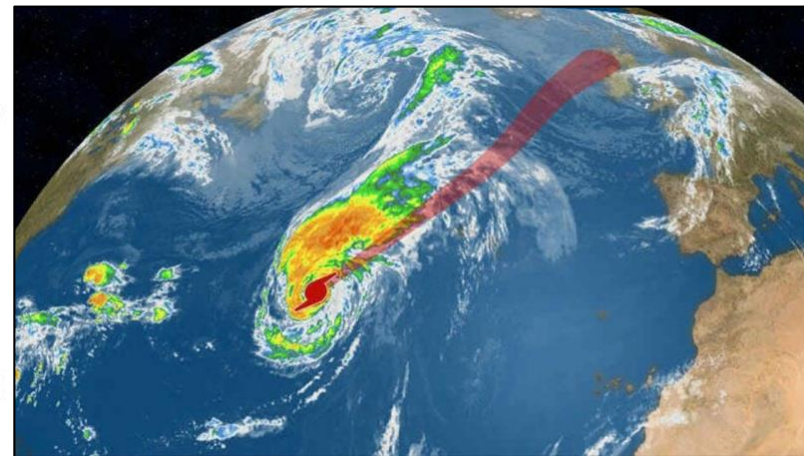
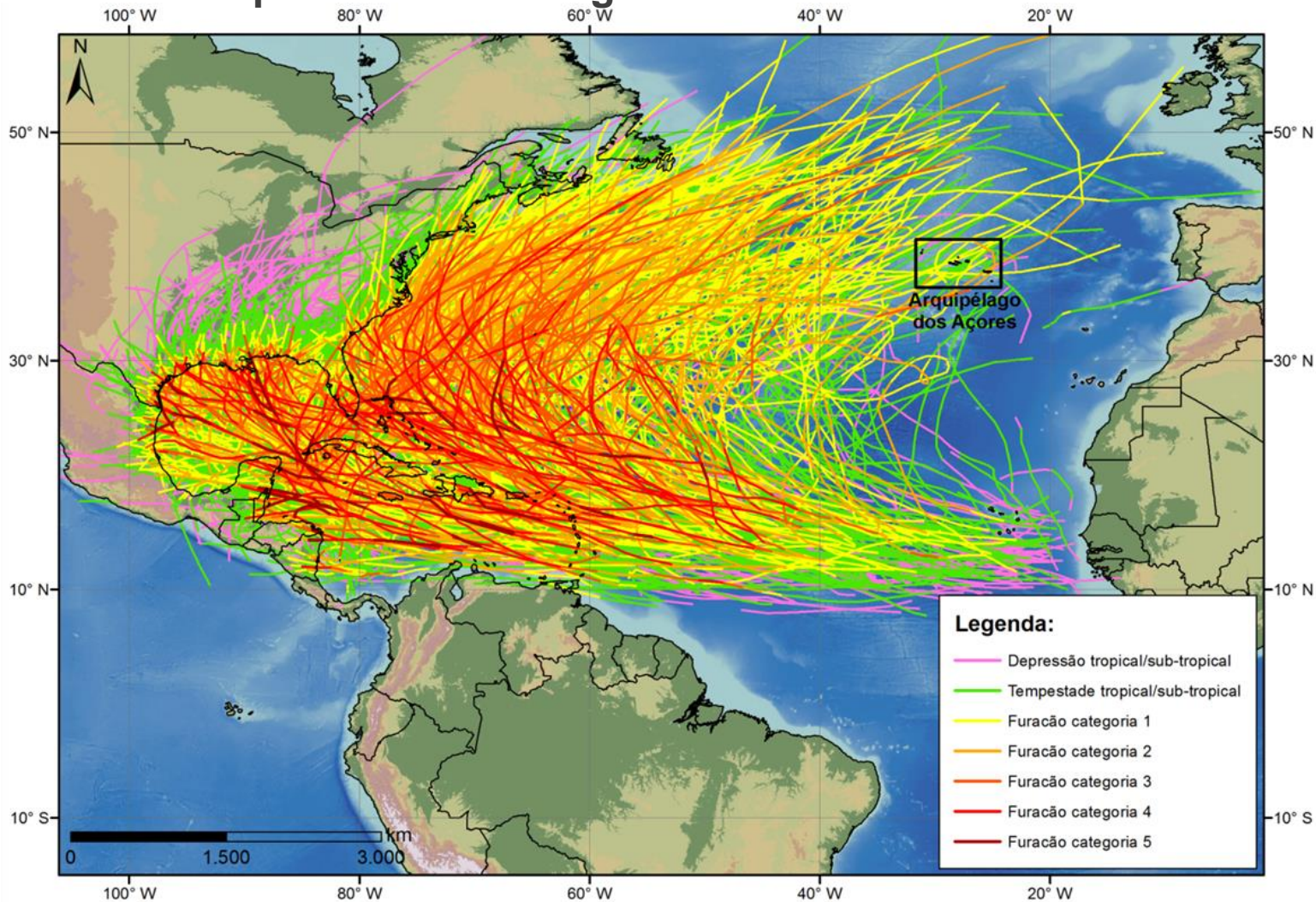
1.1 Enquadramento Geográfico



- Composto por 9 ilhas de origem vulcânica;
- 236.440 residentes (CENSUS, 2021);
 - Ilha de São Miguel: 133.295 residentes;
 - Concelho da Povoação: 5.791 residentes.

I. Introdução

1.1 Enquadramento Geográfico

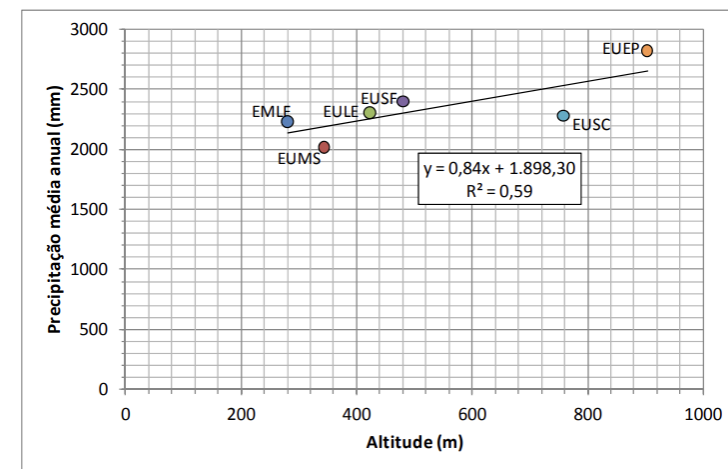
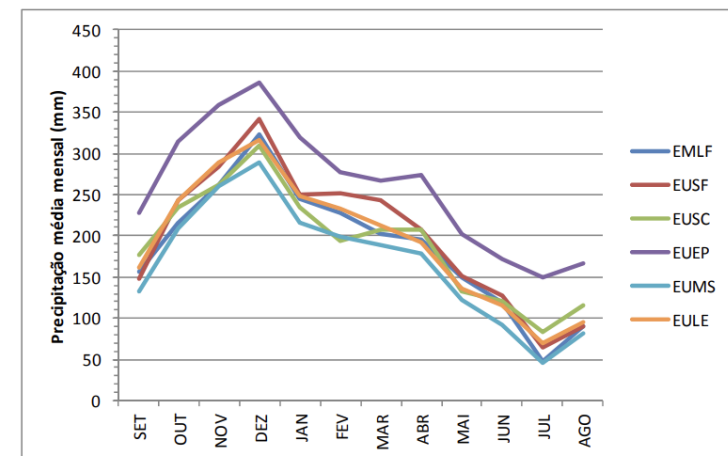
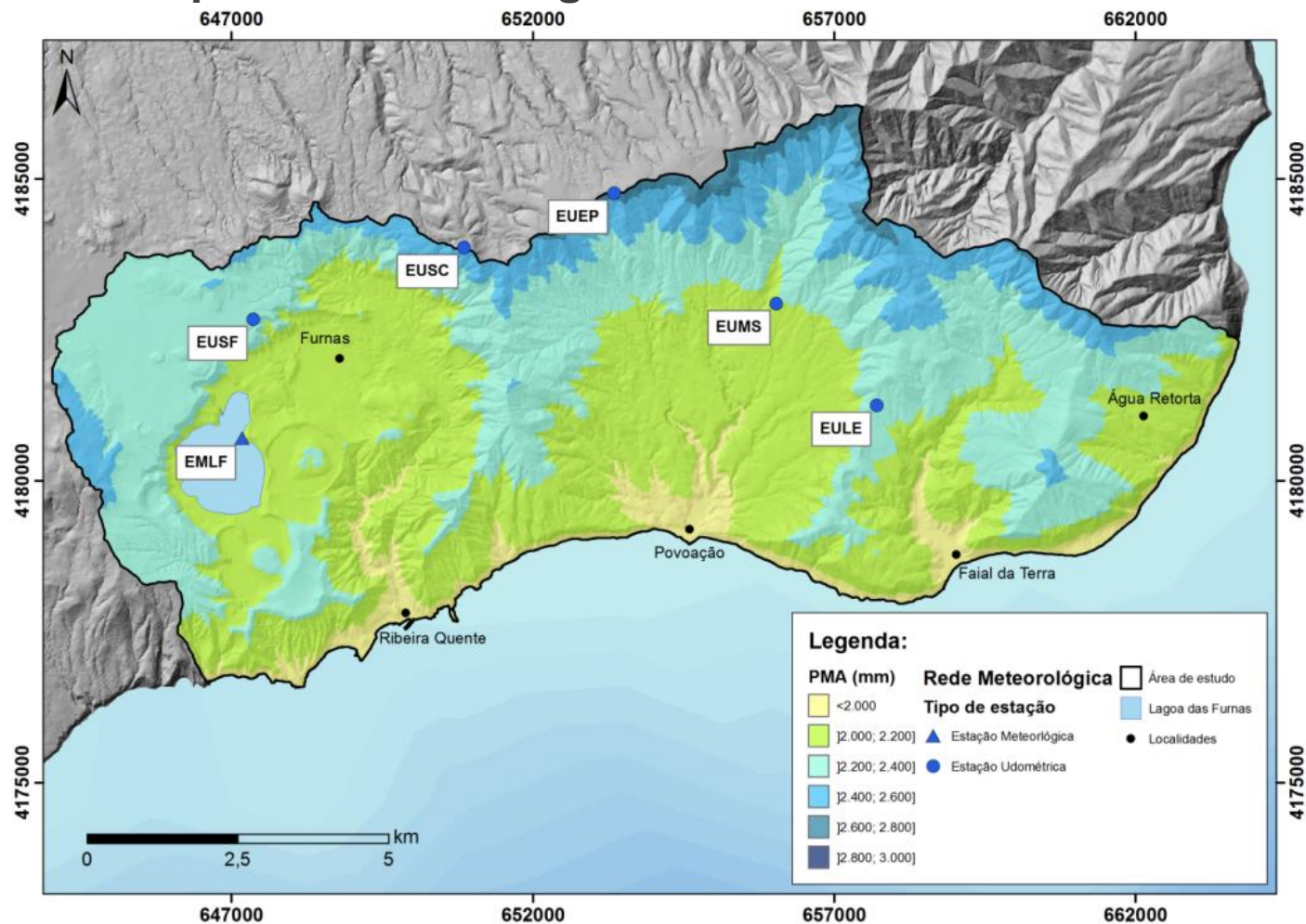


Furacões, tempestades e depressões tropicais e sub-tropicais
(1850 – 2013; dados cedidos pela NOAA, Marques, 2013)

Furacão Lorenzo, 2 de outubro de 2019
> 250 ocorrências, 53 desalojados e 330 M€
de prejuízos

I. Introdução

1.1 Enquadramento Geográfico



- Incremento de 84 mm de precipitação na PMA por cada 100 m de altitude;
 - Ao nível do mar valores esperam-se valores de PMA na ordem dos 1.898 mm;
 - No Pico da Vara (1.103 m) esperam-se valores da PMA de 2.825 mm.

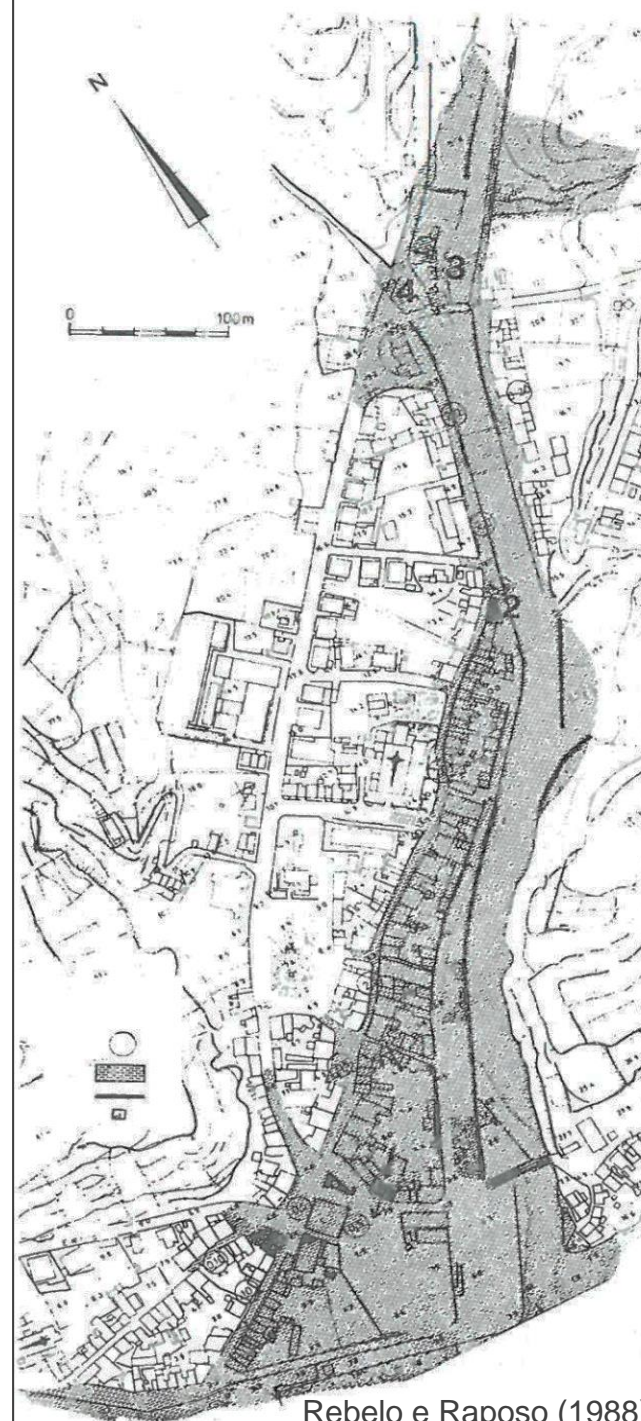
CHEIAS RÁPIDAS

Povoação, Faial da Terra e Nordeste
(ilha de São Miguel)

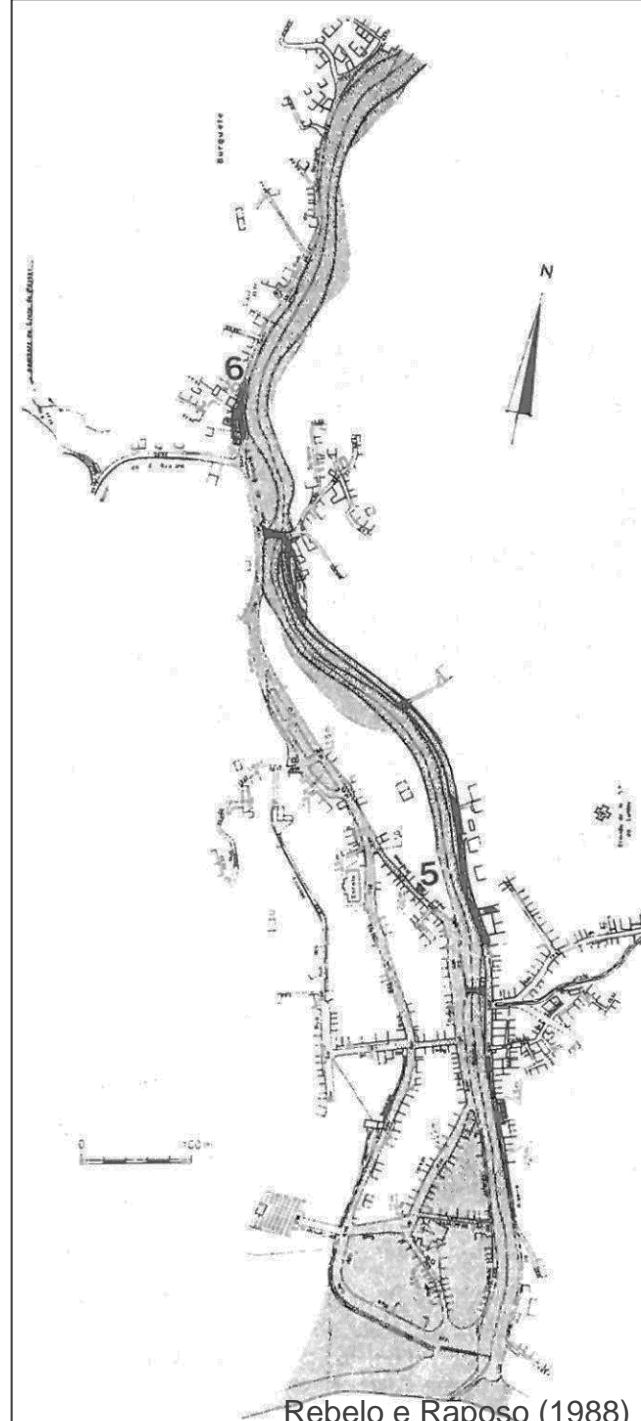
Data: 2 de setembro de 1986

Impacte:

- Na EMLF foram registados 276 l/m²;
- 3 vítimas mortais (1 Nordeste e 2 Faial da Terra);
- Dezenas de desalojados;
- Estradas intransitáveis; queda de duas pontes no Nordeste;
- Destruição da rede de distribuição de água, eletricidade e telefone.



Rebello e Raposo (1988)



Rebello e Raposo (1988)

MOVIMENTOS DE VERTENTE

Ribeira Quente (ilha de São Miguel)

Data: 31 outubro de 1997

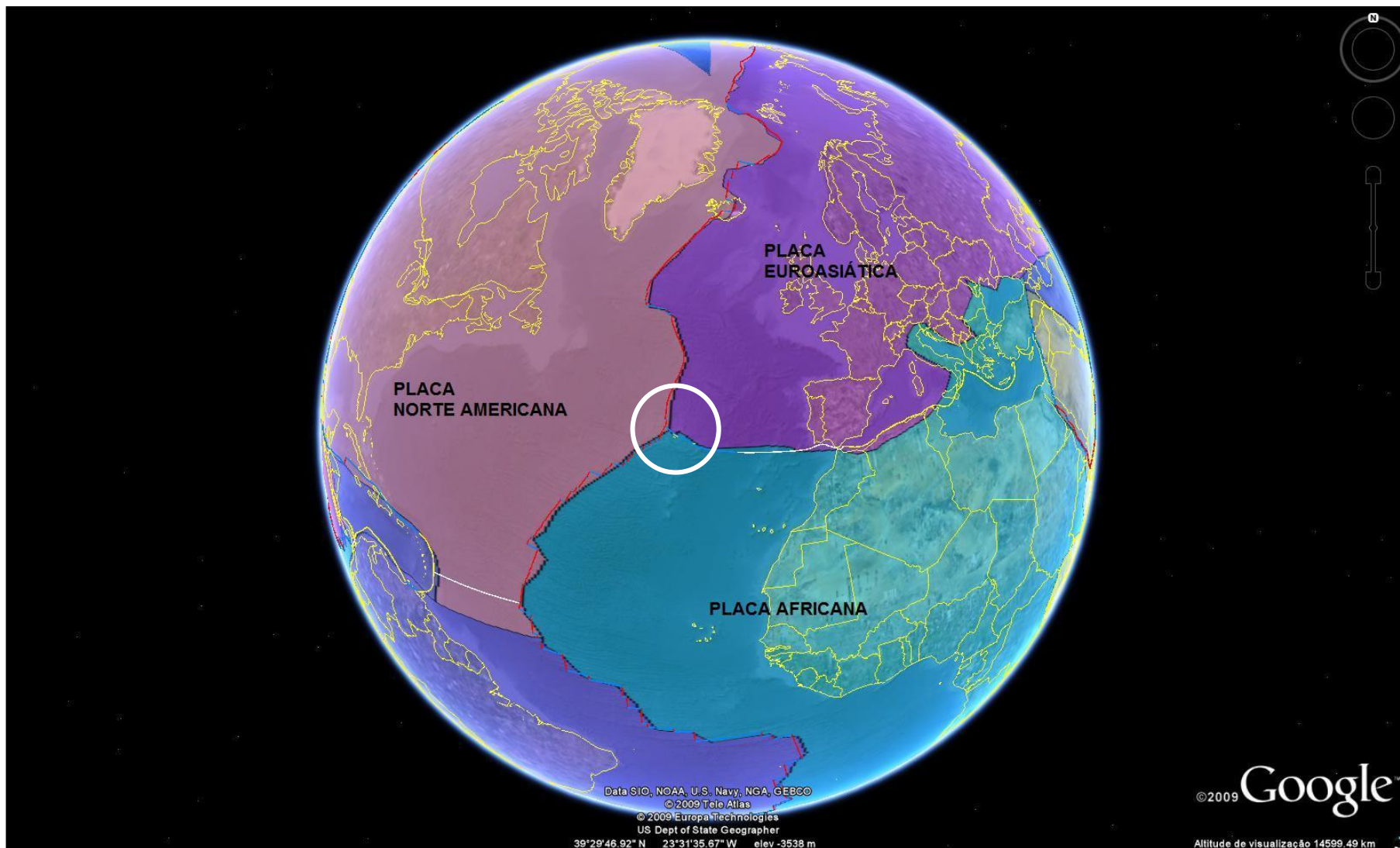
Impacte:

- Nas Furnas foram registados 220 mm/24h (154 mm/3h);
- Mais de 1.000 movimentos de vertente desencadeados;
- 29 vítimas mortais, 7 feridos;
- 36 habitações destruídas; 114 desalojados;
- Custos diretos e indiretos 21,3 M €.



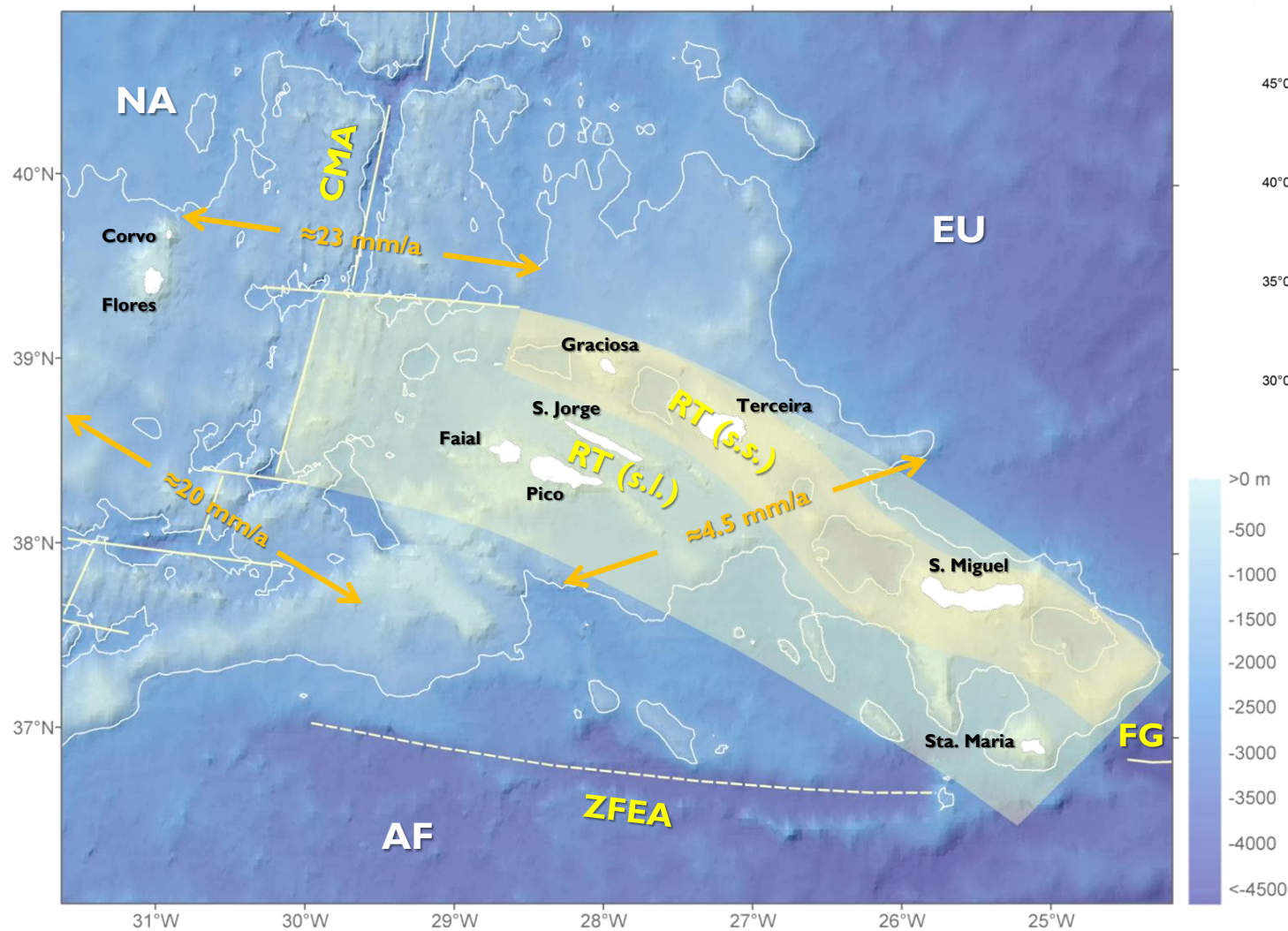
I. Introdução

1.2 Enquadramento Geodinâmico

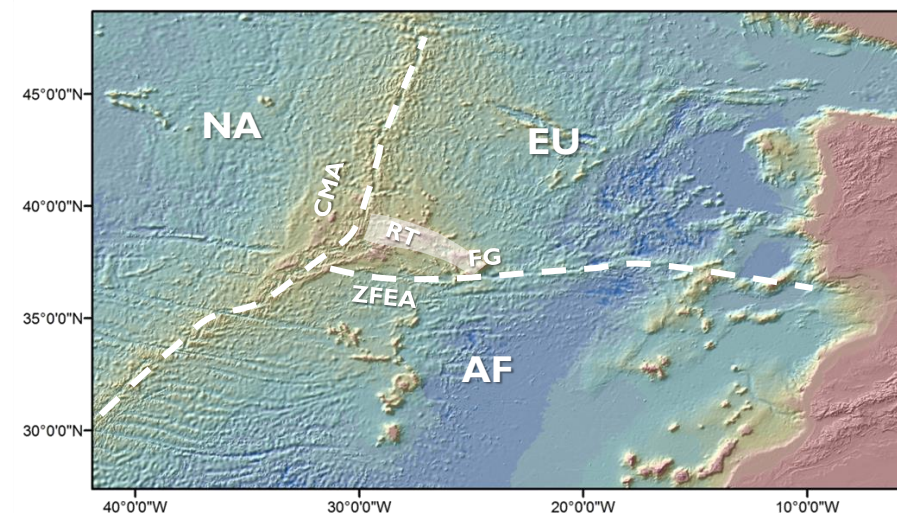


I. Introdução

1.2 Enquadramento Geodinâmico



(adaptado de Hipólito *et al.*, 2013)



(adaptado de Carmo, 2013)

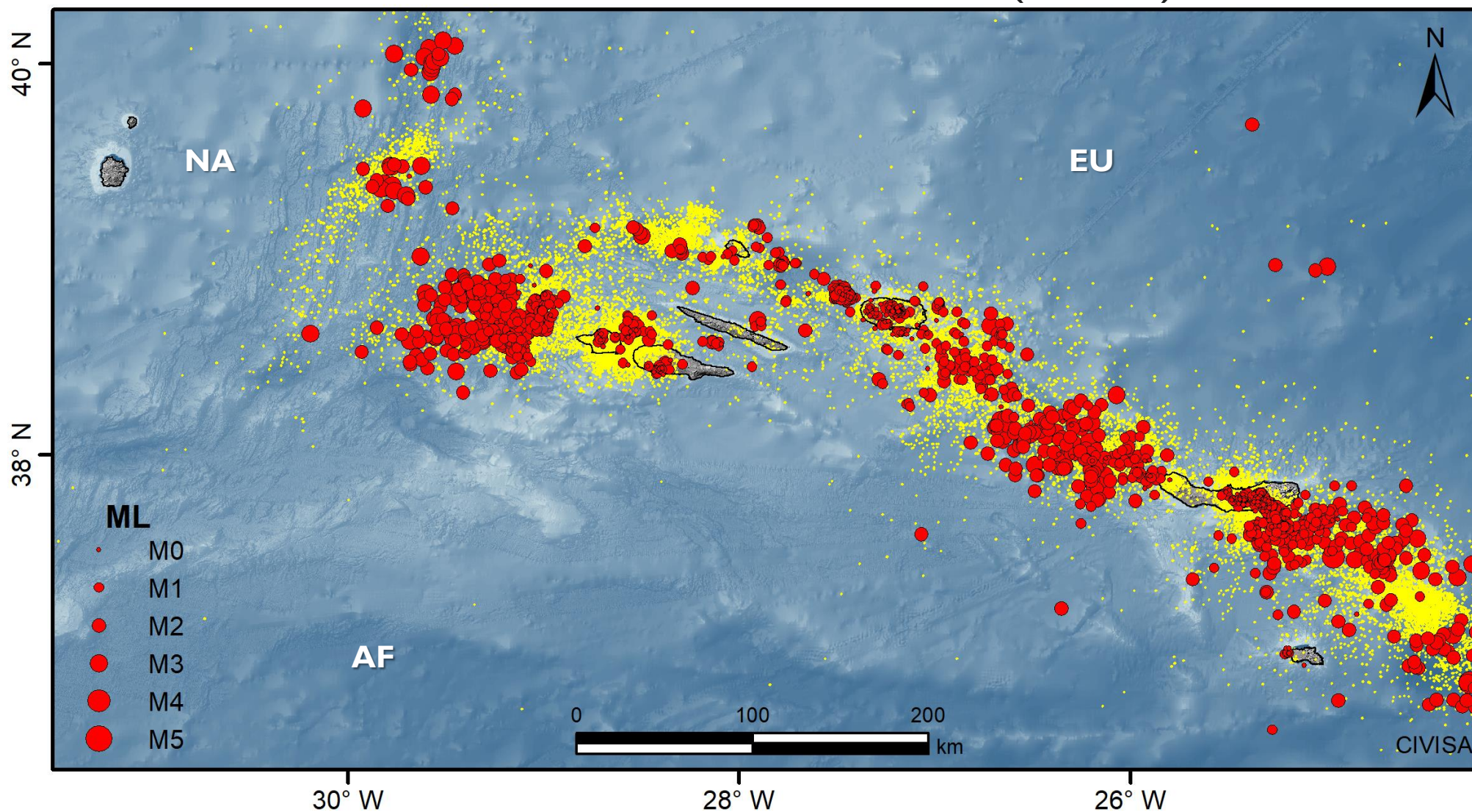
CMA – Limite divergente (construtivo)

RT – Limite transtensivo dextrógiro (transformante + divergente)

I. Introdução

1.2 Enquadramento Geodinâmico

SISMICIDADE INSTRUMENTAL 1997-2021 (25 ANOS)

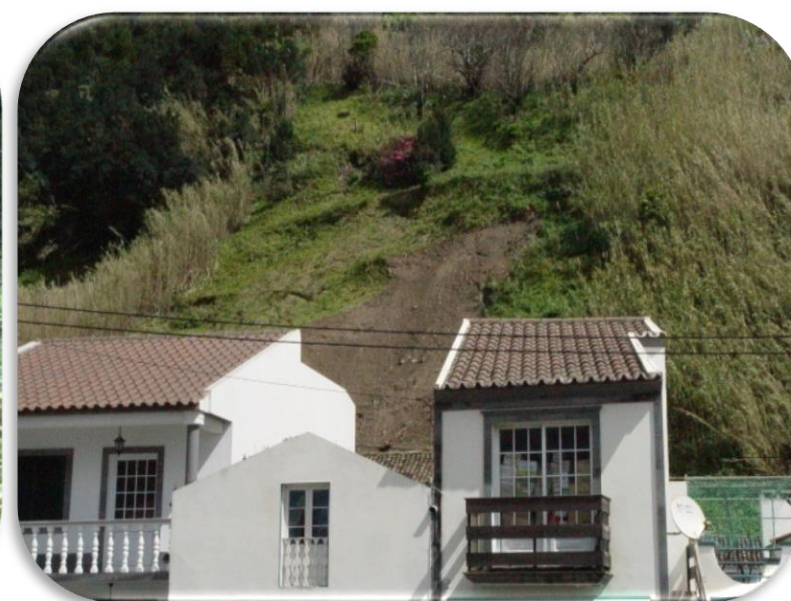


I. Introdução

1.3 Movimentos de vertente

MOVIMENTO DE VERTENTE - Movimento de uma massa de rocha e/ou solo instabilizada, cujo centro de gravidade do material afetado progride para jusante e para o exterior do talude.

Tipologias típicas no concelho da Povoação: Desabamentos, Deslizamentos e Escoadas.



I. Introdução

1.3 Movimentos de vertente

*FS = Forças que promovem a resistência ao cisalhamento
Forças que promovem a tensão cisalhante*

FACTORES RESPONSÁVEIS PELA REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

- Meteorização física
 - termoclastia
 - crioclastia
 - haloclastia
 - dilatação/descompressão
 - actividade biológica
- Meteorização química
 - hidrólise
 - hidratação
 - carbonatação
 - oxidação
- Aumento da pressão dos fluidos nos poros

FACTORES RESPONSÁVEIS PELO AUMENTO DA TENSÃO CISALHANTE

- Mudanças na geometria do talude
 - natural (e.g. erosão fluvial, marinha, glaciária)
 - artificial (e.g. escavações)
- Aumento da carga
 - natural (e.g. infiltração da água, actividade vulcânica, crescimento da vegetação)
 - artificial (e.g. construção de aterros)
- Vibração
 - natural (e.g. sismos)
 - artificial (e.g. explosões, tráfego rodoviário e ferroviário)



2. IMPACTE DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE

*“O passado serve para evidenciar as nossas falhas e dar-nos indicações para o progresso do futuro”
Henry Ford (1863-1947)*



2. IMPACTE DOS MOVIMENTOS DEVERTENTE



NATHA – *Natural Hazards in Azores*

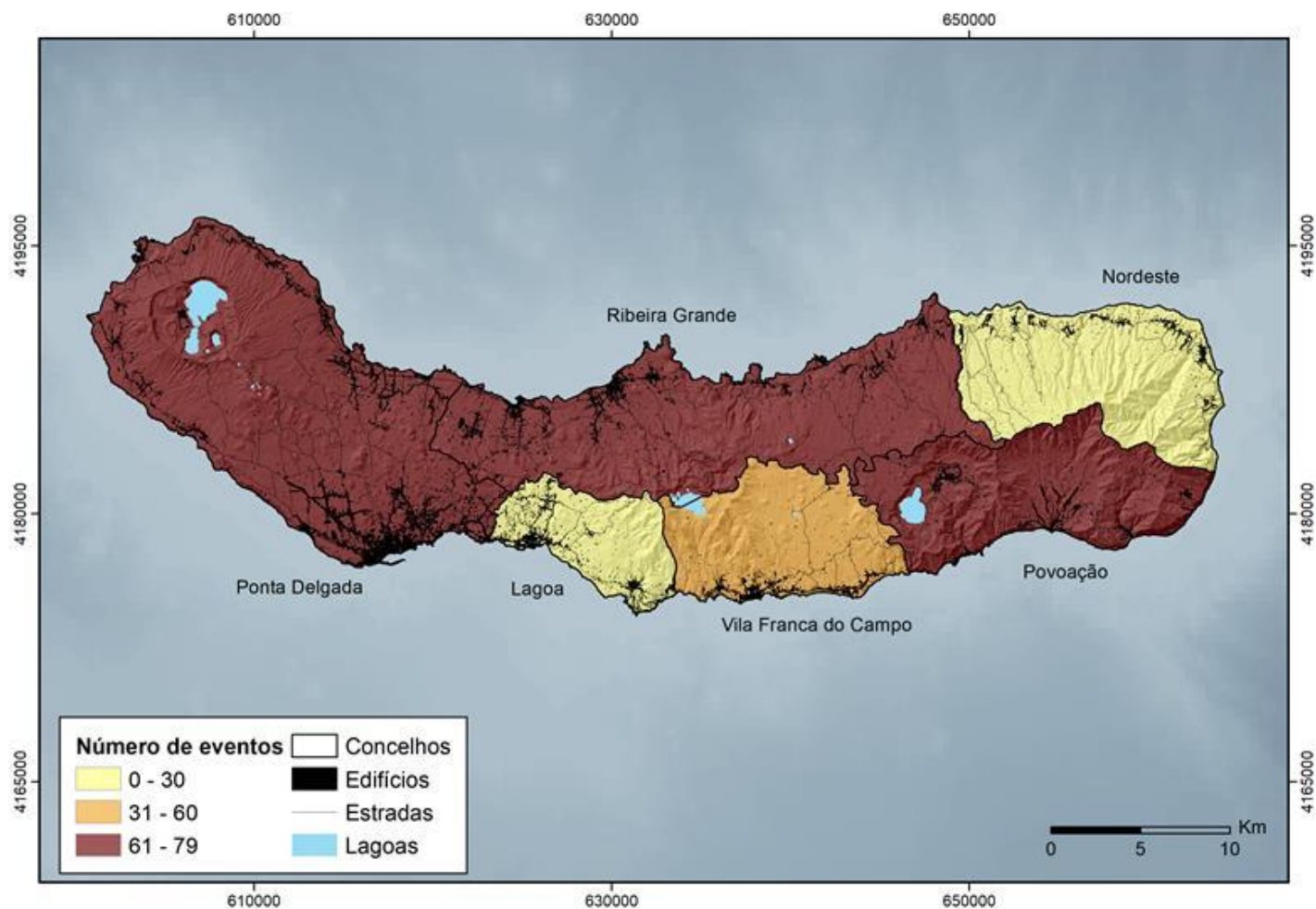
A informação foi recolhida com base em:

- Documentos antigos (e.g. livros de óbitos);
- Livros;
- Jornais;
- Artigos científicos;
- Documentos técnico-científicos;
- Teses;
- Informação disponível na internet.

**APROXIMADAMENTE 56.000
DOCUMENTOS CONSULTADOS**

2. IMPACTE DOS MOVIMENTOS DEVERTENTE

Para a ilha de São Miguel estão catalogados **254 eventos** de instabilidade geomorfológica danosos desde 1900.



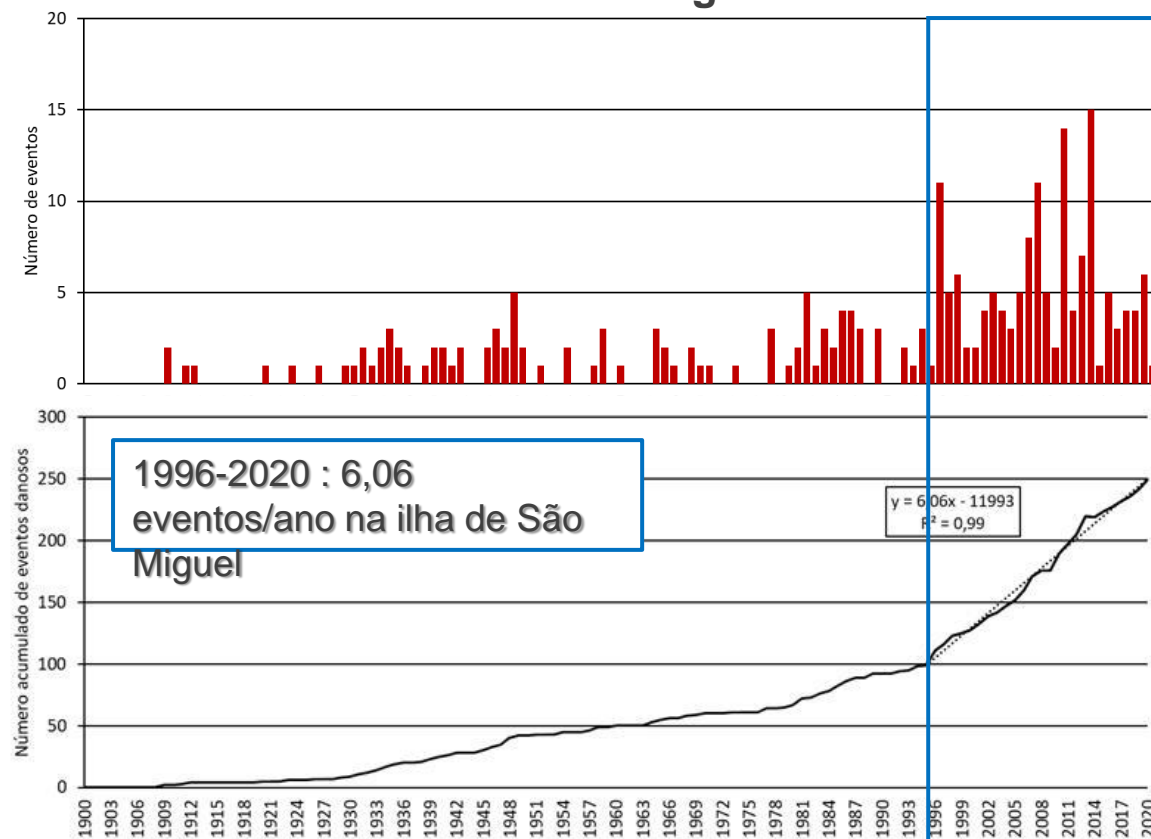
Concelho	Eventos (n.º; %)
Povoação	79; 31,1%
Ponta Delgada	75; 29,5%
Ribeira Grande	75; 29,5%
V.F. do Campo	46; 18,1%
Nordeste	27; 10,6%
Lagoa	22; 8,7%

Distribuição espacial dos eventos de instabilidade geomorfológica danosos
(Marques, 2013, Silva *et al.* 2022; Silva, em preparação)

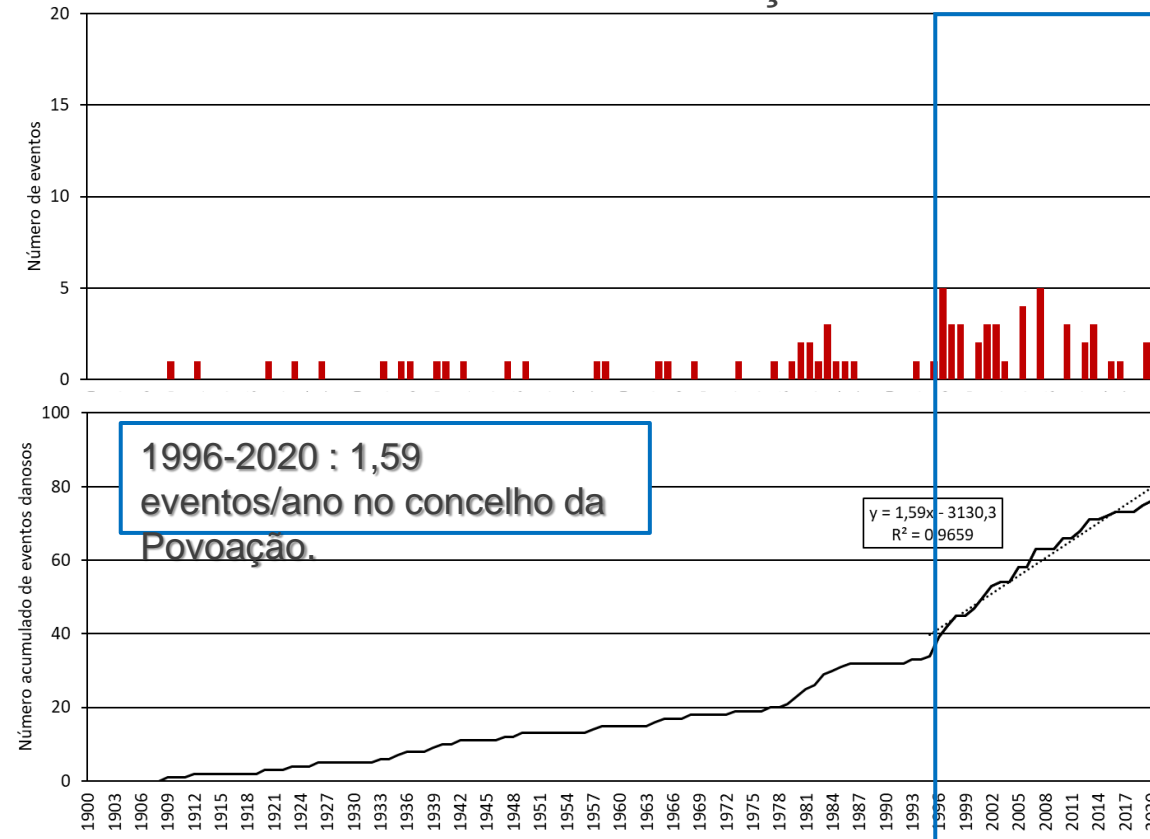
2. IMPACTE DOS MOVIMENTOS DEVERTENTE

- Para a ilha de São Miguel estão catalogados **254** eventos de instabilidade geomorfológica danosos desde 1900;
- Para o concelho da Povoação estão catalogados **79** eventos de instabilidade geomorfológica danosos desde 1900.

Ilha de São Miguel



Concelho da Povoação

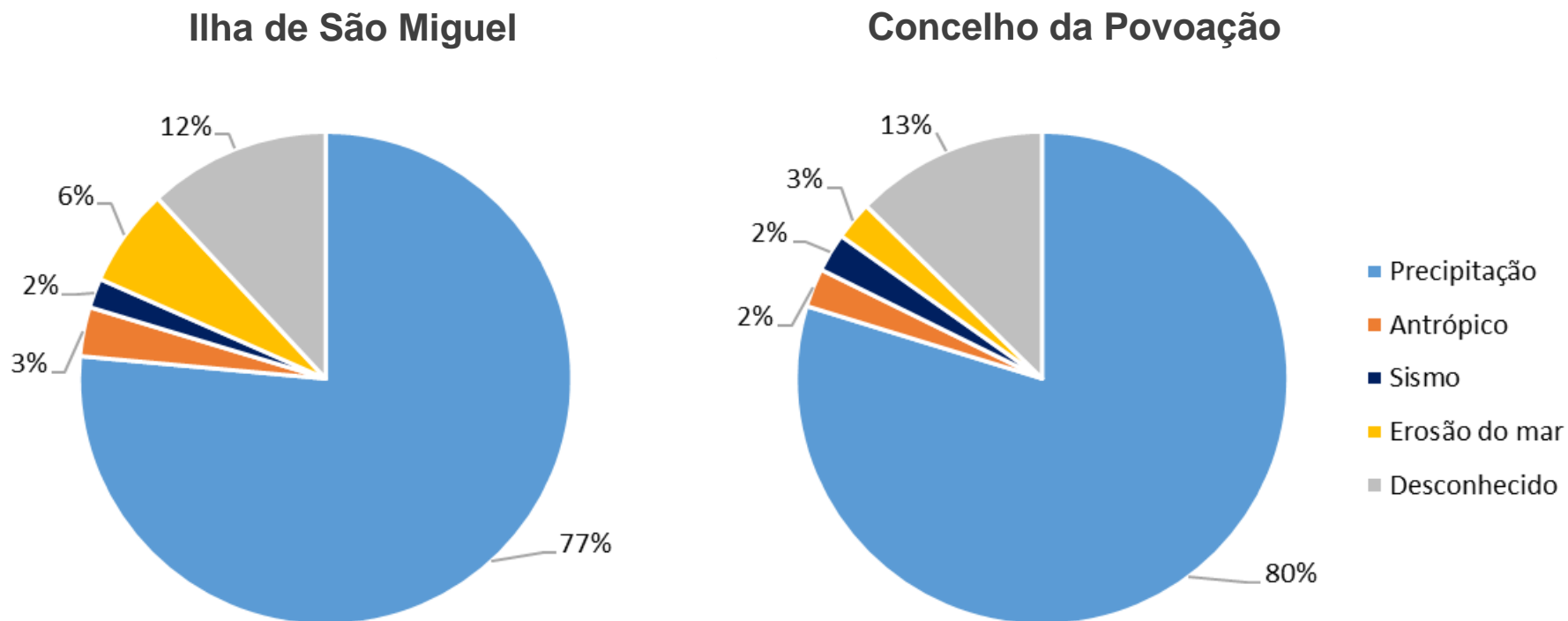


Distribuição temporal dos eventos de instabilidade geomorfológica danosos

(Marques, 2013, Silva *et al.* 2022; Silva, em preparação)



2. IMPACTE DOS MOVIMENTOS DEVERTENTE



Distribuição dos eventos de instabilidade geomorfológica danosos
 (Marques, 2013, Silva *et al.* 2022; Silva, em preparação)

- **77% dos eventos de instabilidade geomorfológica danosos** são desencadeados por precipitação na ilha de São Miguel;
- **80% dos eventos de instabilidade geomorfológica danosos** são desencadeados por precipitação no Concelho da Povoação;

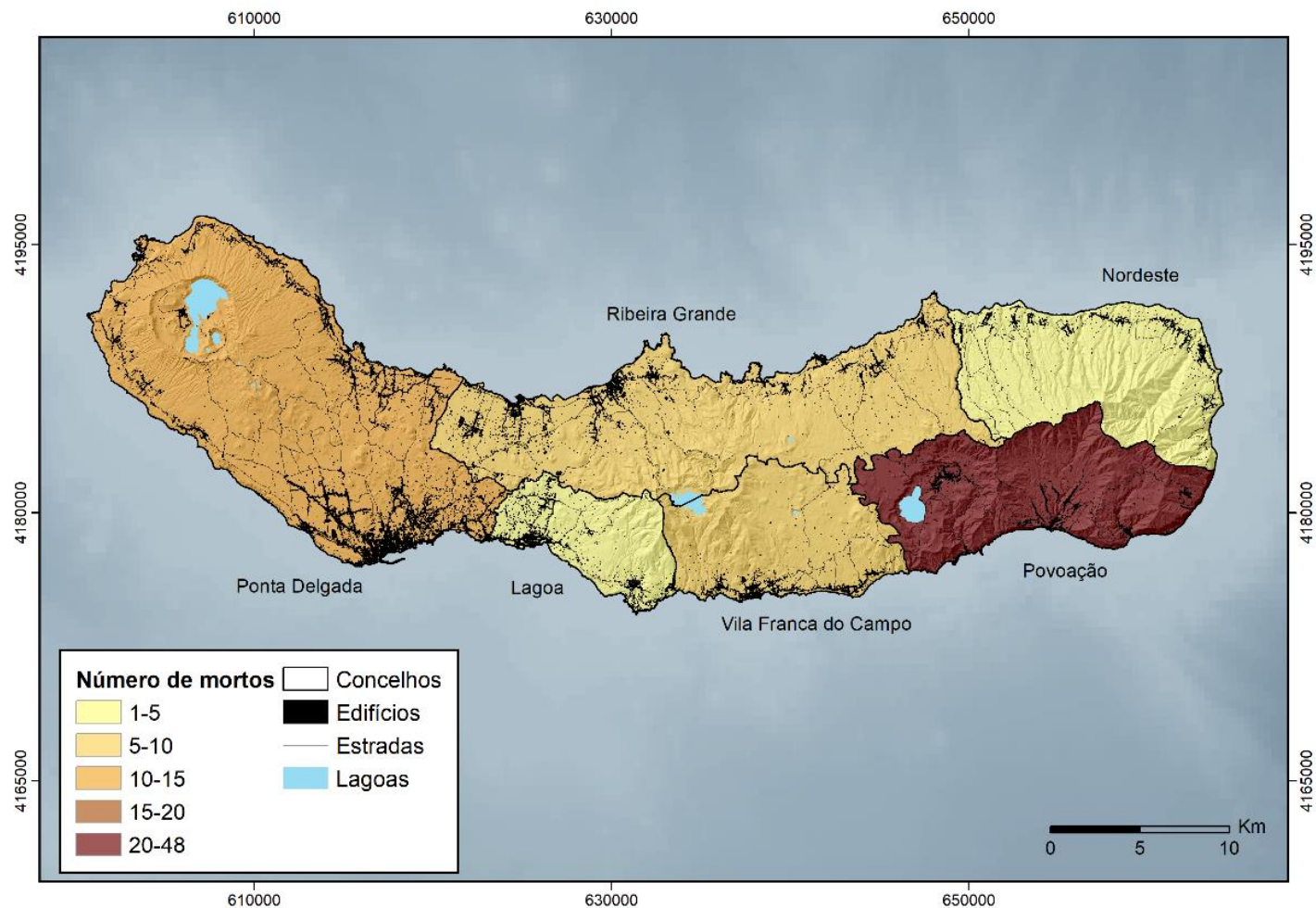
2. IMPACTE DOS MOVIMENTOS DEVERTENTE

Para a ilha de São Miguel contabilizaram-se **82 vítimas mortais** causadas por movimentos de vertente desde 1900.

Data	Concelho	Freguesia	Lugar	Fator desencadeante	Vítimas mortais
24/08/1926	Povoação	Povoação	Perto da Vila do Povoação	Desconhecido	1
08/02/1930	Ponta Delgada	Capelas	Morro das Capelas	Desconhecido	4
02/11/1933	Vila Franca do Campo	Água de Alto	Castanheiro (Grota do Barro)	Precipitação	2
14/06/1934	Ribeira Grande	Ribeirinha	Gramas	Desconhecido	2
11/02/1935	Ponta Delgada	Capelas	No Rossio	Desconhecido	1
27/04/1935	Povoação	Ribeira Quente	Caminho pedestre Ponta Garça – Ribeira Quente	Sismo	1
14/02/1936	Povoação	Água Retorta	Após o ramal de acesso à freguesia, no sentido para o Nordeste	Antrópico	2
14/10/1942	Povoação	Furnas	Salto do Fojo	Precipitação	7
17/02/1945	Ribeira Grande	Ribeirinha	Pedreira da Chã das Gatas	Antrópico	1
05/05/1945	Ribeira Grande	Matriz	Caldeiras	Desconhecido	1
28/02/1948	Vila Franca do Campo	Água de Alto	Terra de Além	Precipitação	2
20/02/1949	Ribeira Grande	Maia	Na estrada de ligação à Lombinha da Maia	Precipitação	2
10/05/1951	Lagoa	Cabouco	Arrudas	Desconhecido	1
12/06/1964	Povoação	Ribeira Quente	Na estrada Ribeira Quente-Furnas	Desconhecido	1
04/08/1964	Ponta Delgada	Fenais da Luz	Aguada	Desconhecido	1
24/08/1966	Ponta Delgada	Sete Cidades	Lagoa do Canário	Antrópico	3

2. IMPACTE DOS MOVIMENTOS DE VERTENTE

Para a ilha de São Miguel contabilizaram-se **82 vítimas mortais** causadas por movimentos de vertente desde 1900.

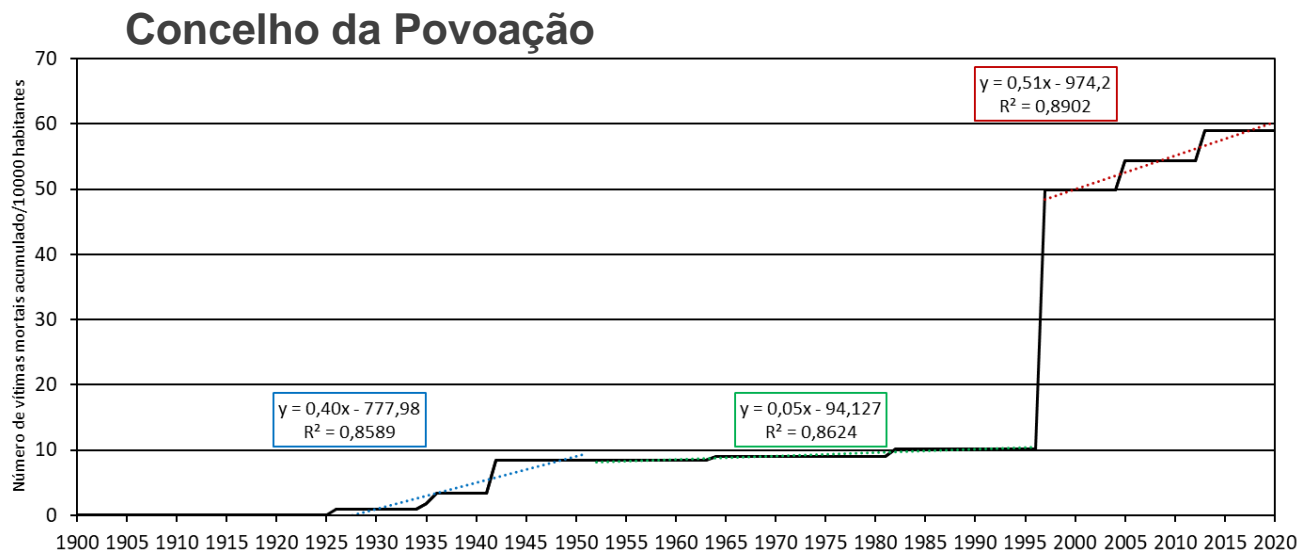
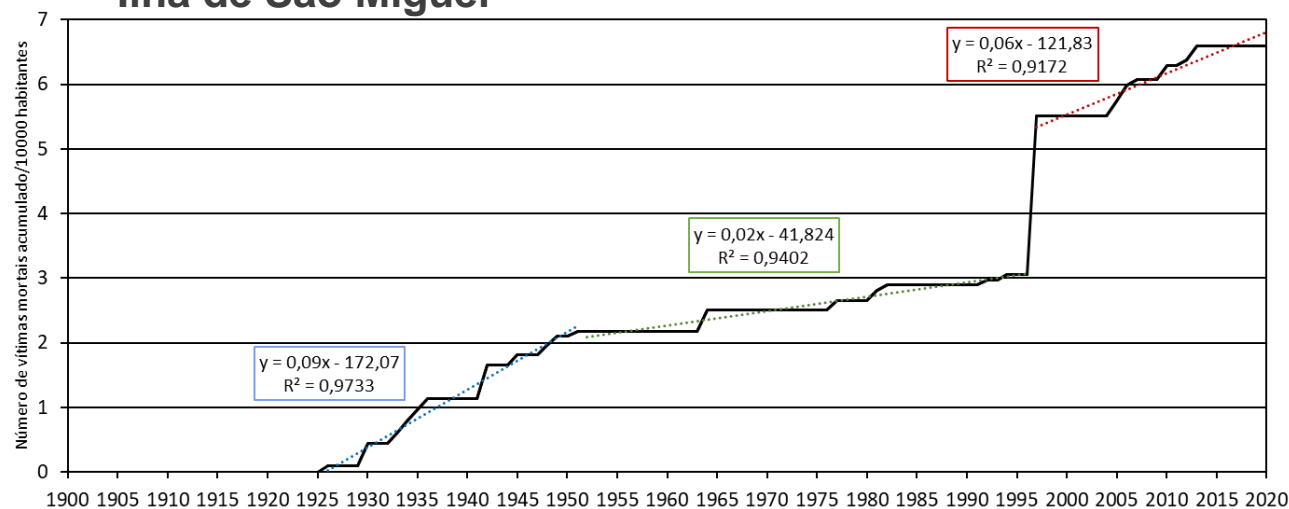


Concelho	Vítimas (n°;%)
Povoação	48; 58,5%
Ponta Delgada	14; 17,1%
Ribeira Grande	8; 9,8%
V.F. do Campo	7; 8,5%
Nordeste	3; 3,7%
Lagoa	2; 2,4%

Distribuição espacial dos eventos de instabilidade geomorfológica danosos
(Marques, 2013, Silva *et al.* 2022; Silva, em preparação)

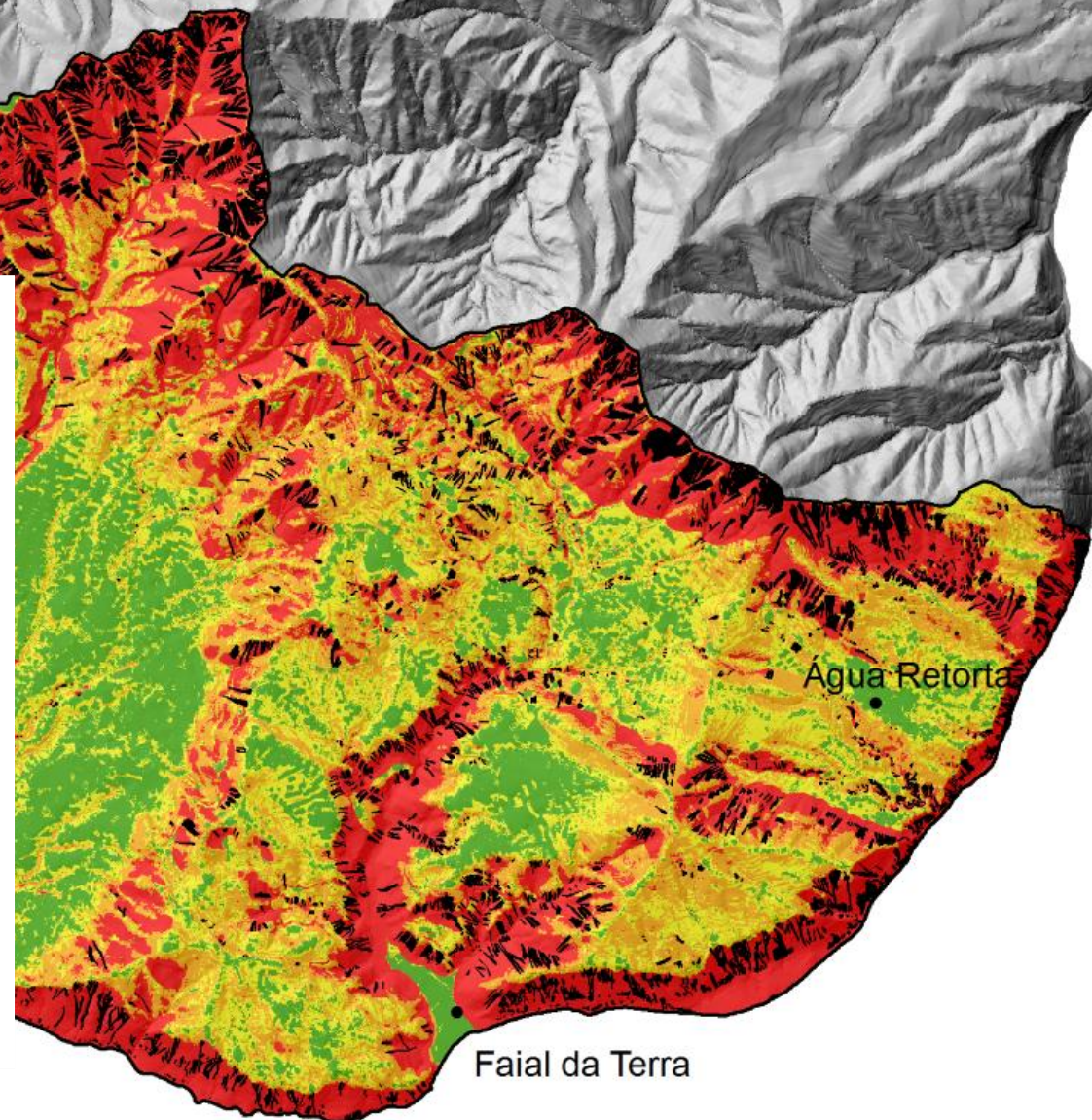
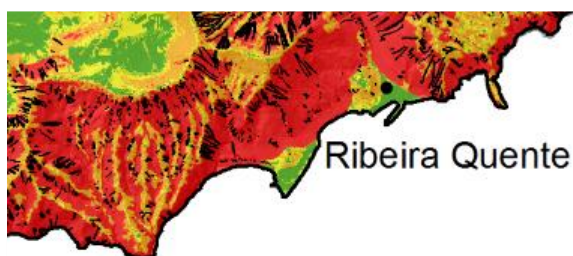
2. IMPACTE DOS MOVIMENTOS DEVERTENTE

- Para a ilha de **São Miguel** contabilizaram-se **82 vítimas mortais** causadas por movimentos de vertente desde 1900;
- Para o **concelho da Povoação** contabilizaram-se **48 vítimas mortais** causadas por movimentos de vertente desde 1900.



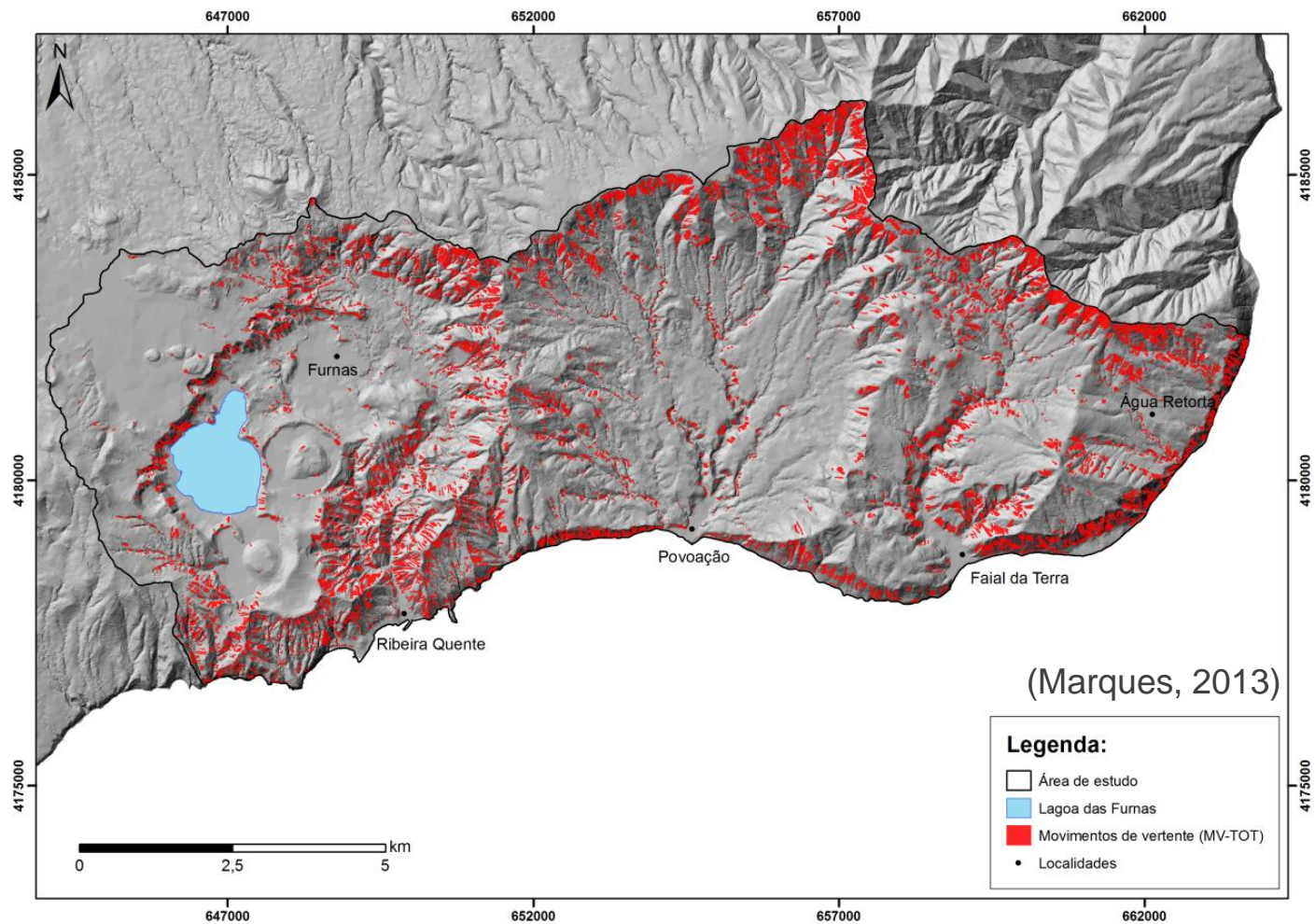
3. ANÁLISE DA SUSCETILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

“O mais incompreensível do mundo é que ele seja compreensível.”
Albert Einstein (1879-1955)



3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.1 Inventariação de movimentos de vertente



Área de estudo	Nº de movimentos de vertente	Área instabilizada planimétrica (m ²)
TOTAL	11.606	5.259.565,6

3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.1 Inventariação de movimentos de vertente



Deslizamentos translacionais superficiais (< 3 m de profundidade de rotura)

3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.1 Inventariação de movimentos de vertente

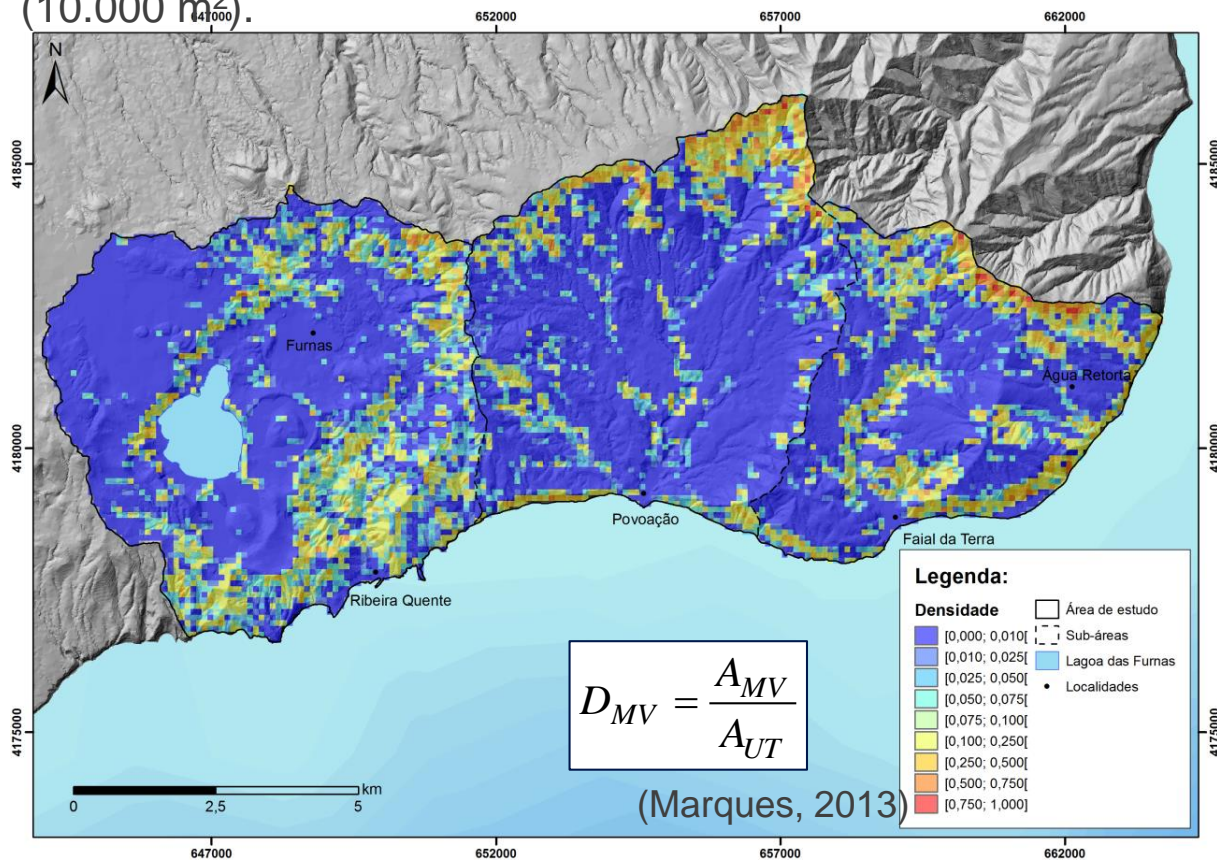


Deslizamentos translacionais que evoluíram para escodas detríticas devido a condicionalismos geomorfológicos, geológicos e hidrológicos

3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.1 Inventariação de movimentos de vertente

Para o cálculo de densidades foram utilizadas unidades matriciais ortogonais de 100x100 m (10.000 m²).



- O sector com maior extensão geográfica com densidade elevada corresponde ao vale da Ribeira Quente (freguesia da Ribeira Quente).

- Instabilidade concentrada em estruturas morfológicamente bem marcadas na paisagem, caracterizadas por declive elevado, nomeadamente: paredes internas das caldeiras dos vulcões das Furnas e Povoação, escarpas de falha, arribas litorais e taludes de cursos de água;
- As densidades mais elevadas aparecem associadas a arribas litorais e a sectores declivosos em cotas mais elevadas:

3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.1 Inventariação de movimentos de vertente

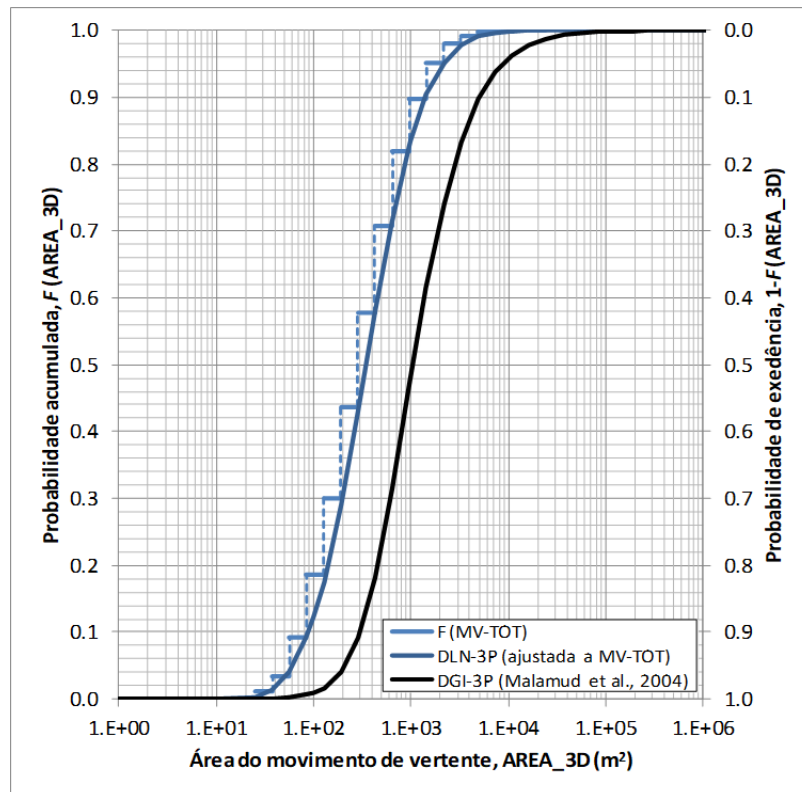
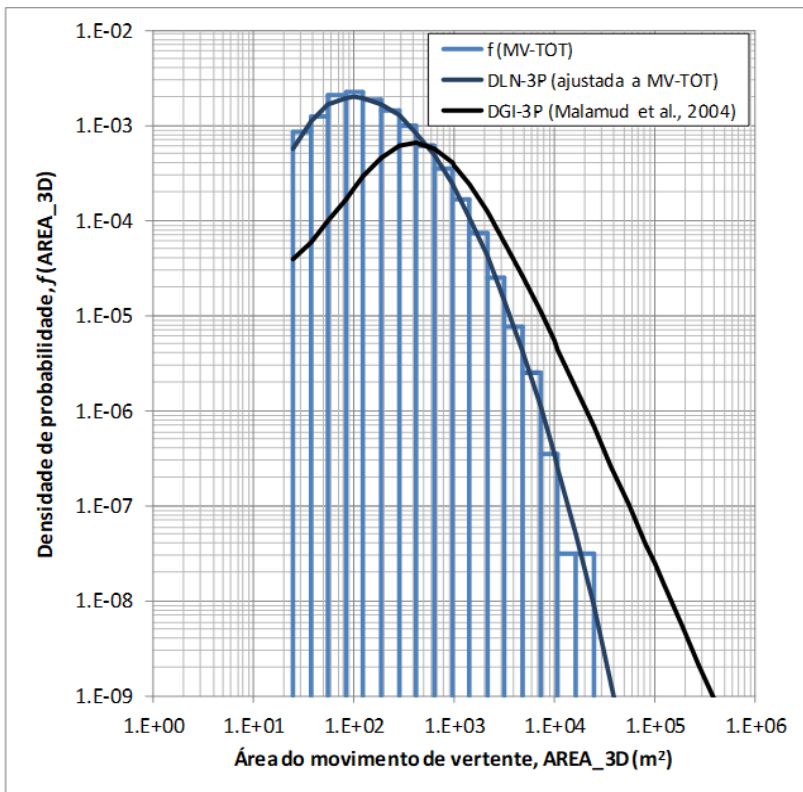
Distribuição Log-normal de 3 parâmetros

Função de Densidade de Probabilidade (FDP)

$$f(x; \mu, \sigma, \gamma) = \frac{1}{(x - \gamma)\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x - \gamma) - \mu}{\sigma}\right)^2\right)$$

Função de Probabilidade Acumulada (FPA)

$$F(A_{MV}; \mu, \sigma, \gamma) = \Phi\left(\frac{\ln(A_{MV} - \gamma) - \mu}{\sigma}\right)$$



Parametrização da função através do método da máxima verosimilhança:

$$\begin{aligned} \mu &= 5,8 \\ \sigma &= 1,1 \\ \gamma &= 8,56 \end{aligned}$$

Probabilidade de excedência (1 - F(A _{MV}))	A _{MV} (m ²)	Inventário MV-TOT
		1x10 ¹
	1x10 ²	8,78x10 ⁻¹
	1x10 ³	1,66x10 ⁻¹
	1x10 ⁴	1,19x10 ⁻³
	1x10 ⁵	1,71x10 ⁻⁷

(Marques, 2013)



3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.2 Análise da suscetibilidade

- Inventário de movimentos de vertente → UT's matriciais 5x5 m;
- 12 factores de predisposição → UT's matriciais 5x5 m.

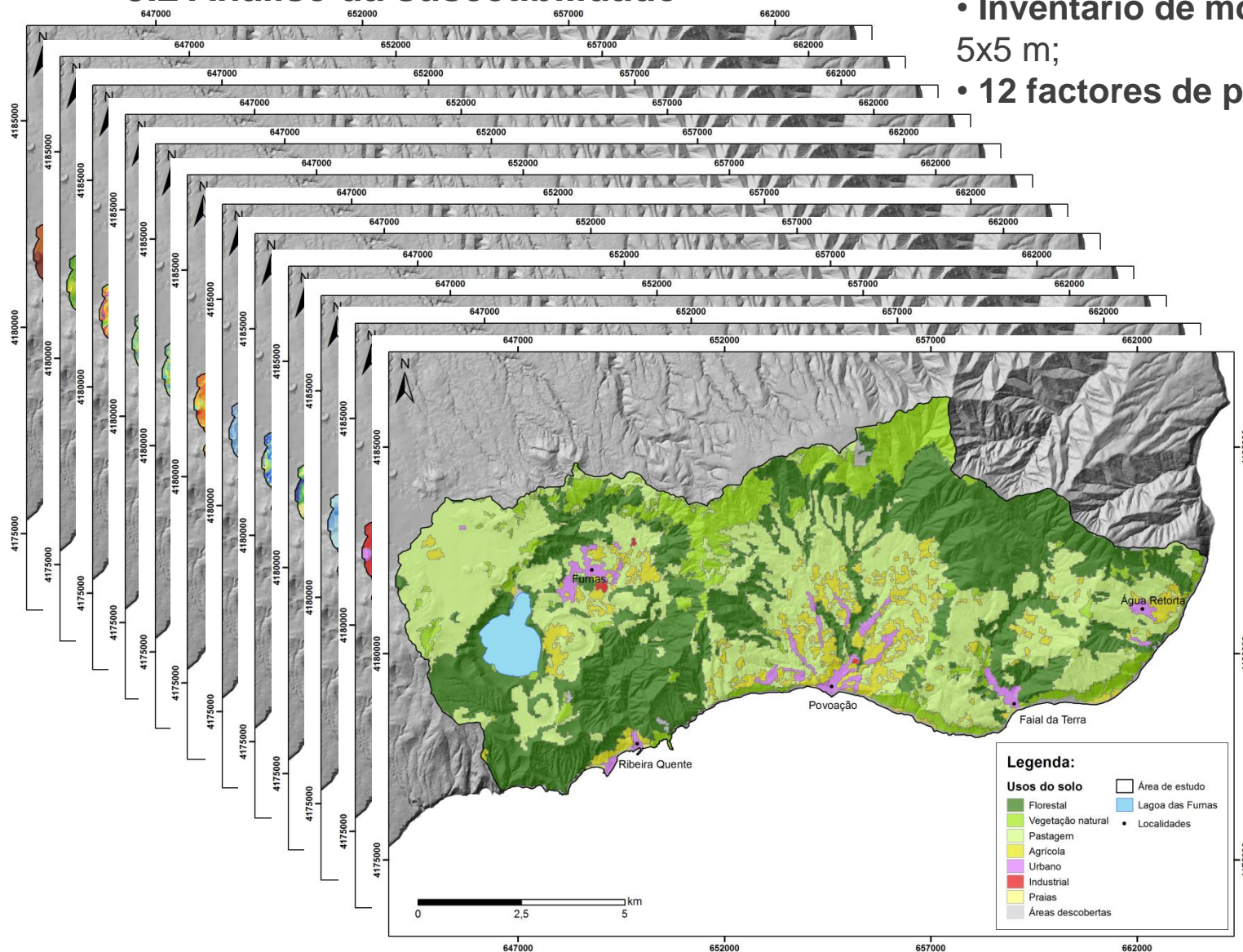
Factores de predisposição:

- Altitude (11 classes)
- Declive (13 classes)
- Exposição (9 classes)
- Perfil transversal (3 classes)
- Perfil longitudinal (3 classes)
- Insolação (12 classes)
- Área de contribuição (12 classes)
- 1/Wetness Index (10 classes)
- Distância aos cursos de água (7 classes)
- Densidade de drenagem (6 classes)
- Geologia (9 classes)
- Uso do solo (9 classe)

109 variáveis dicotómicas independentes

Regressão Logística

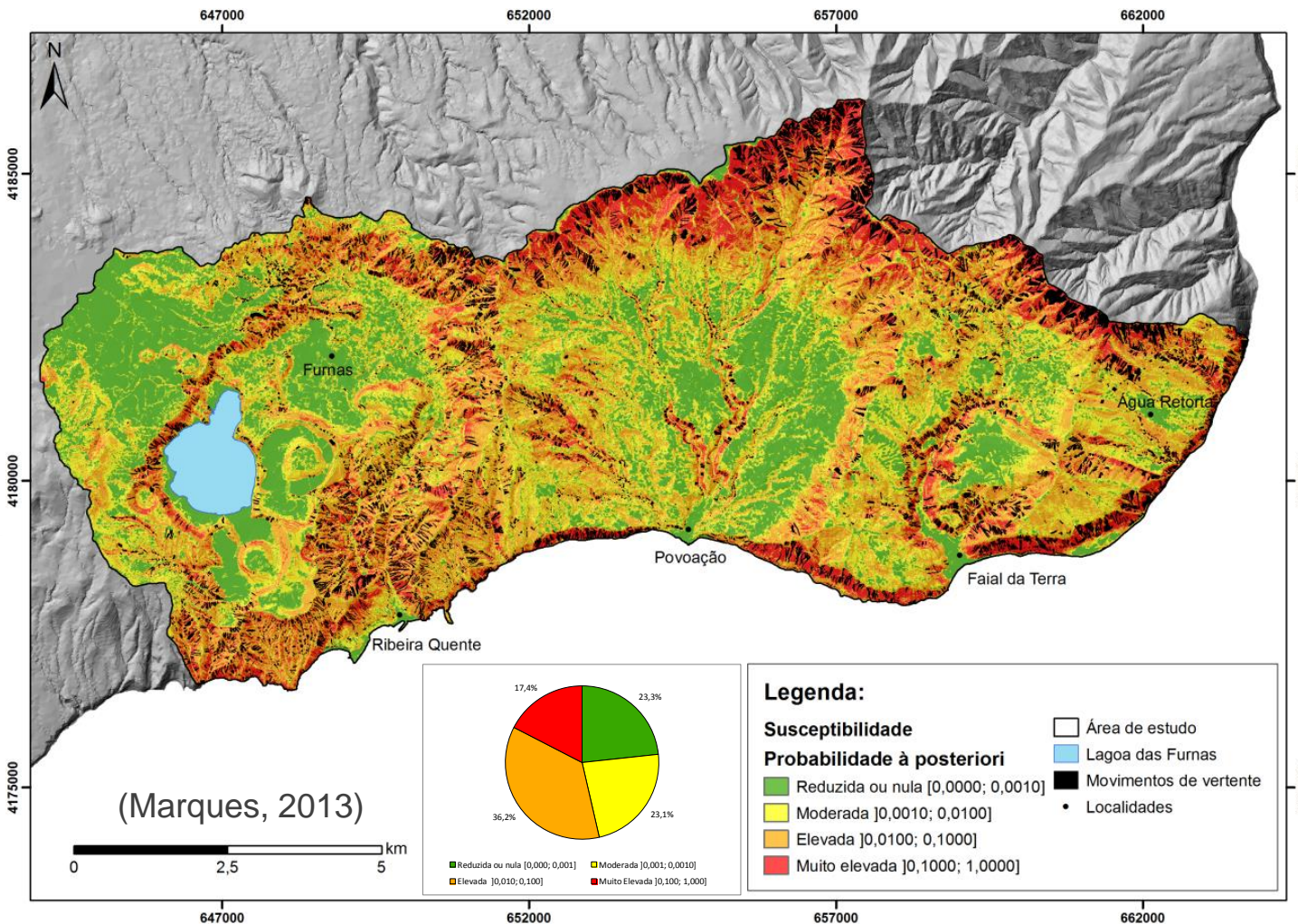
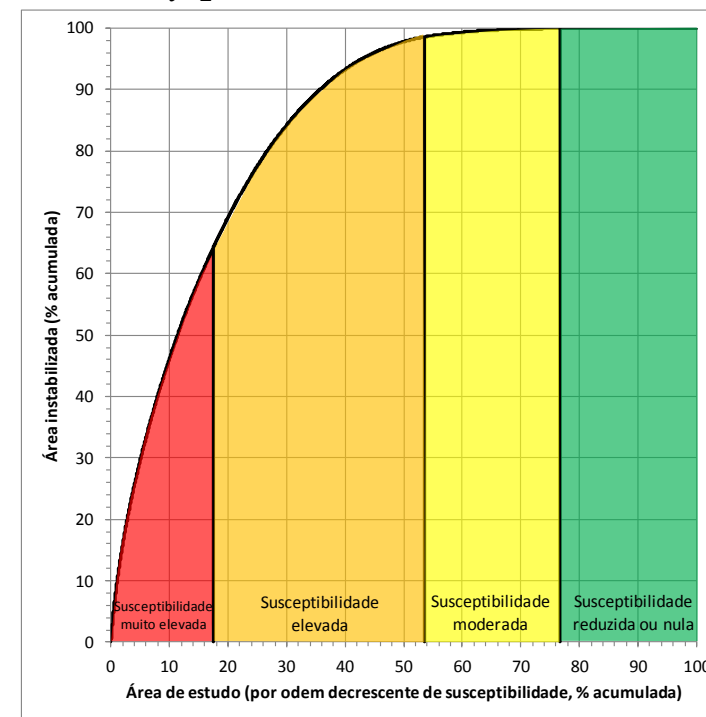
$$p_i = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_{1,i} + \dots + \beta_k x_{k,i})}}$$



3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.2 Análise da suscetibilidade

$$AAC = \sum_{i=1}^n \left[(a_{i+1} - a_i) \cdot \frac{o_{i+1} + o_i}{2} \right] = 0,85$$



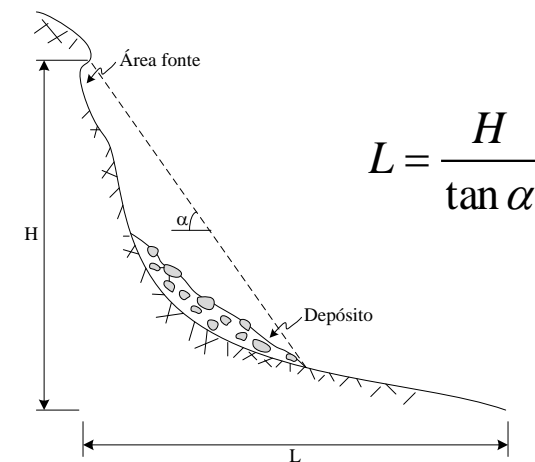
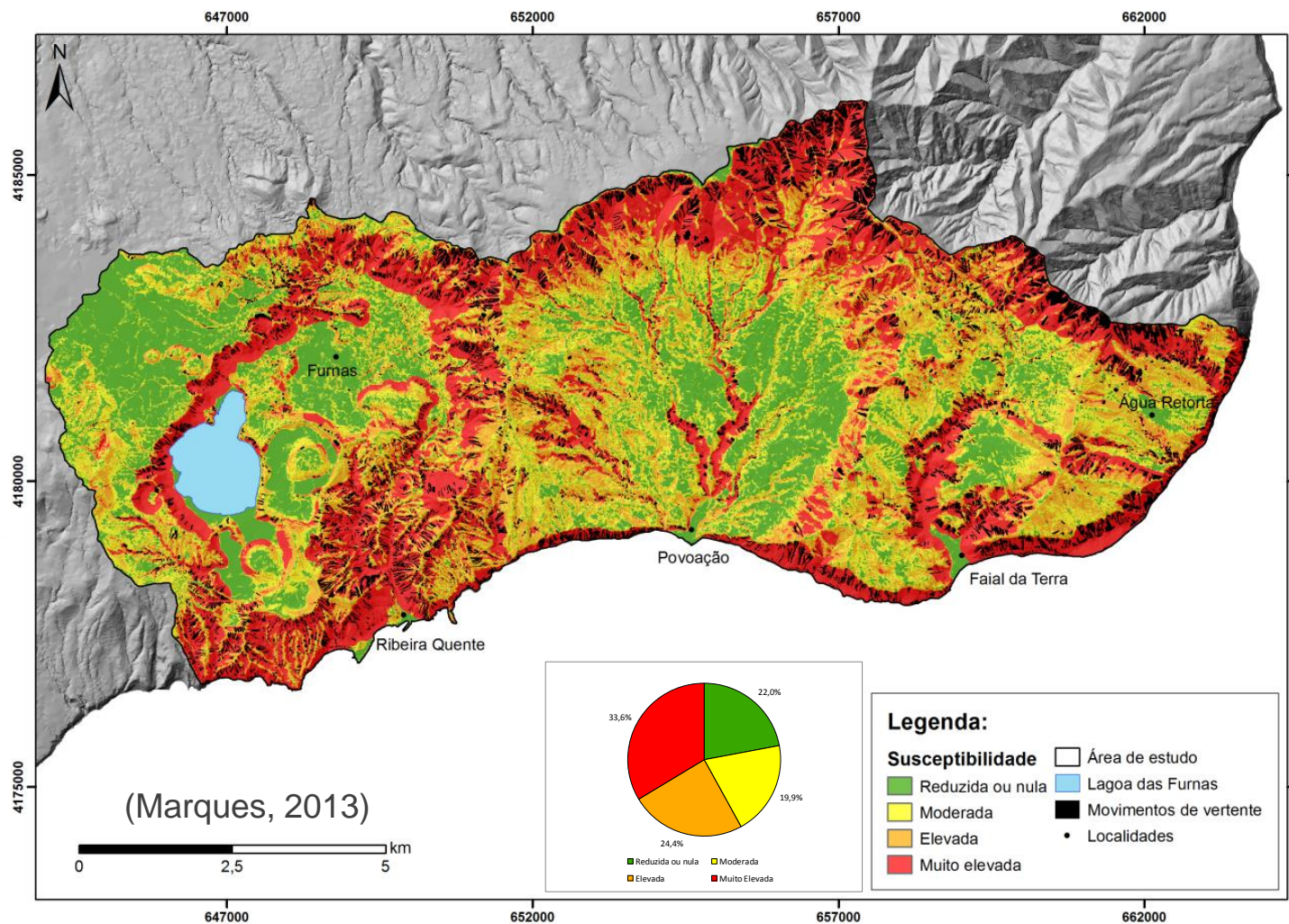
Qualidade do modelo	AAC	
	Guzzetti (2005)	Thulier (2009)
Excelente	> 0,9	> 0,9
Boa	0,8 – 0,9	0,8 – 0,9
Aceitável	0,75 – 0,8	0,7 – 0,8
Fraca		0,6 – 0,7
Muito fraca		0,5 – 0,6

- 53,6% do território do concelho da Povoação tem suscetibilidade elevada a muito elevada (rotura).



3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.2 Análise da suscetibilidade



		Classes de suscetibilidade das áreas fonte			
		Reduzida ou nula (B)	Moderada (M)	Elevada (E)	Muito Elevada (ME)
Classes de suscetibilidade da propagação	Reduzida ou nula (B)	B	M	E	ME
	Moderada (M)	M	M	E	ME
	Elevada (E)	E	E	E	ME
	Muito Elevada (ME)	ME	ME	ME	ME

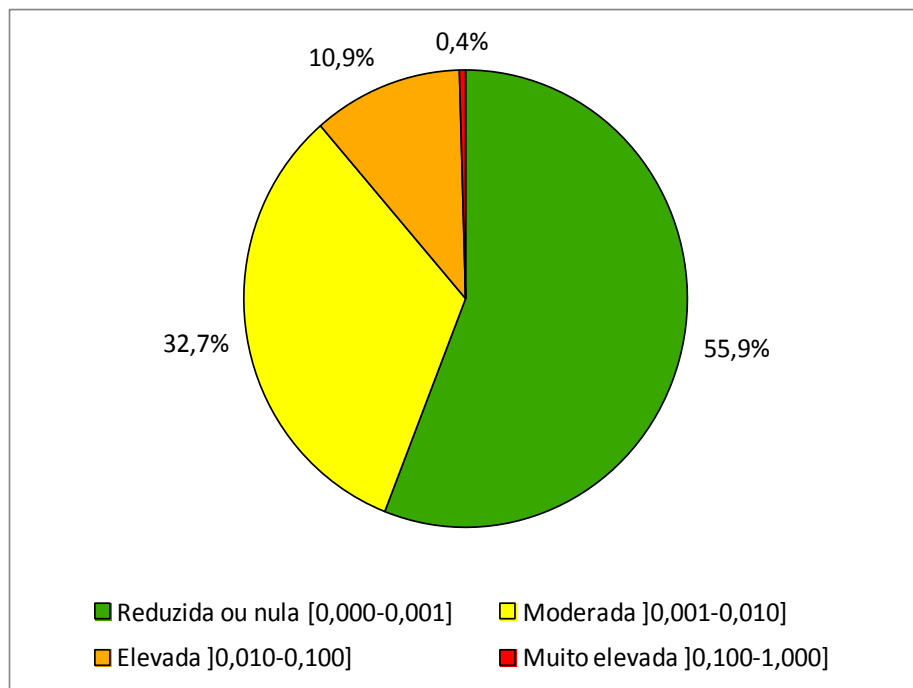
- 58,0% do território do concelho da Povoação tem suscetibilidade elevada a muito elevada (rotura e propagação).

3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

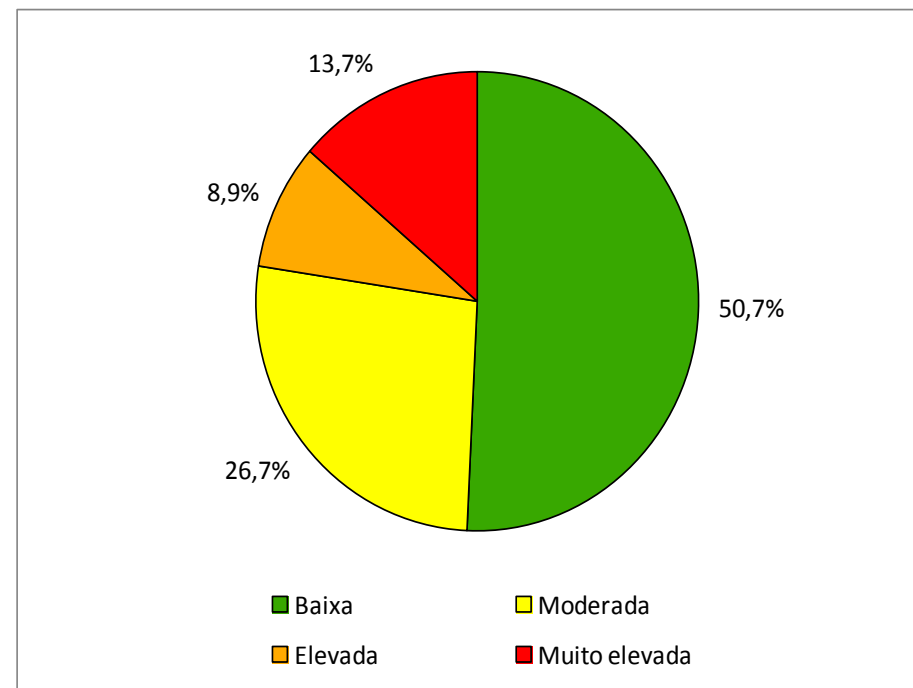
3.3 Análise do Risco Específico

Utilizaram-se os **4.253 edifícios** cartografados pormenorizadamente por Resendes (2004).

Risco Específico (rotura)



Risco Específico (rotura + propagação)



- **11,3% dos edifícios** estão localizados em áreas de suscetibilidade elevada e muito elevada (rotura);
- **22,6% dos edifícios** estão localizados em áreas de suscetibilidade elevada e muito elevada (rotura + propagação).

3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

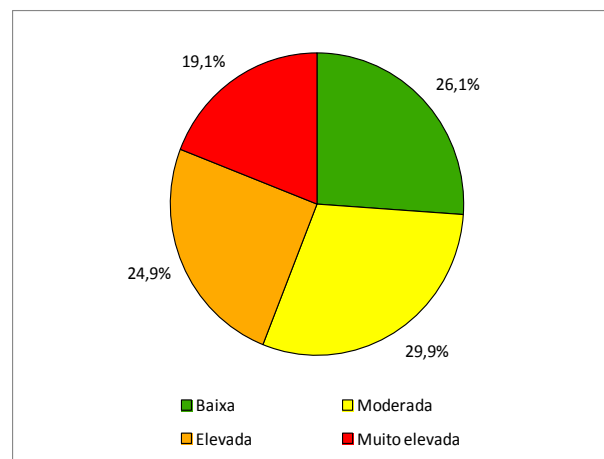
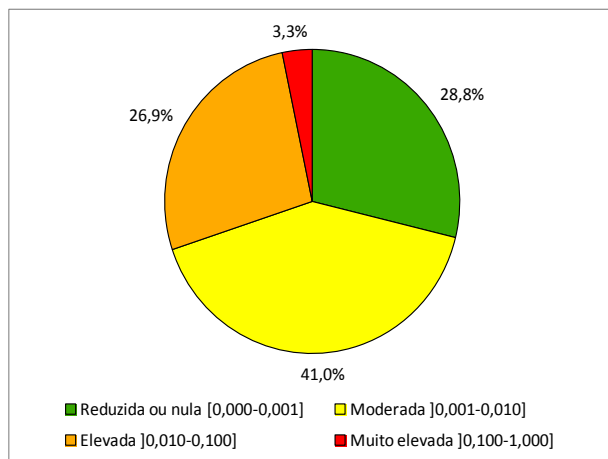
3.3 Análise do Risco Específico

Vias de comunicação

Risco Específico (rotura)

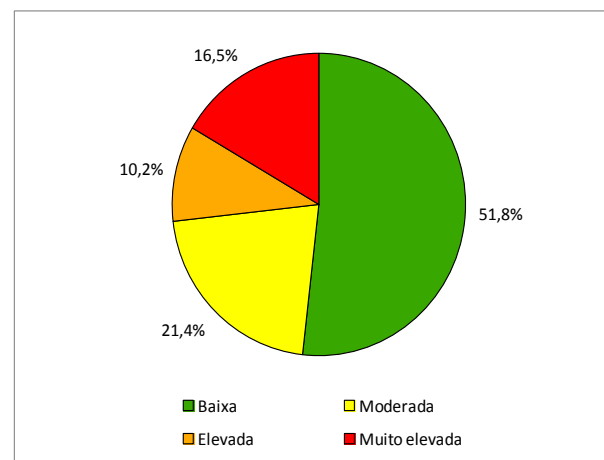
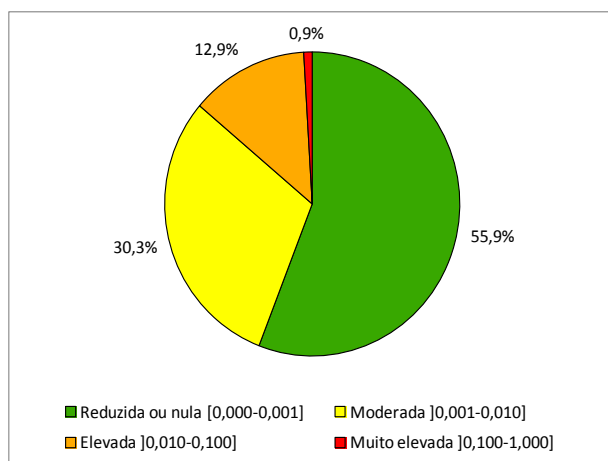
Risco Específico (rotura + propagação)

Estradas principais



- **30,2%** das estradas principais estão localizados em áreas de suscetibilidade elevada e muito elevada (rotura);
- **44,0%** das estradas principais estão localizados em áreas de suscetibilidade elevada e muito elevada (rotura + propagação).

Estradas secundárias

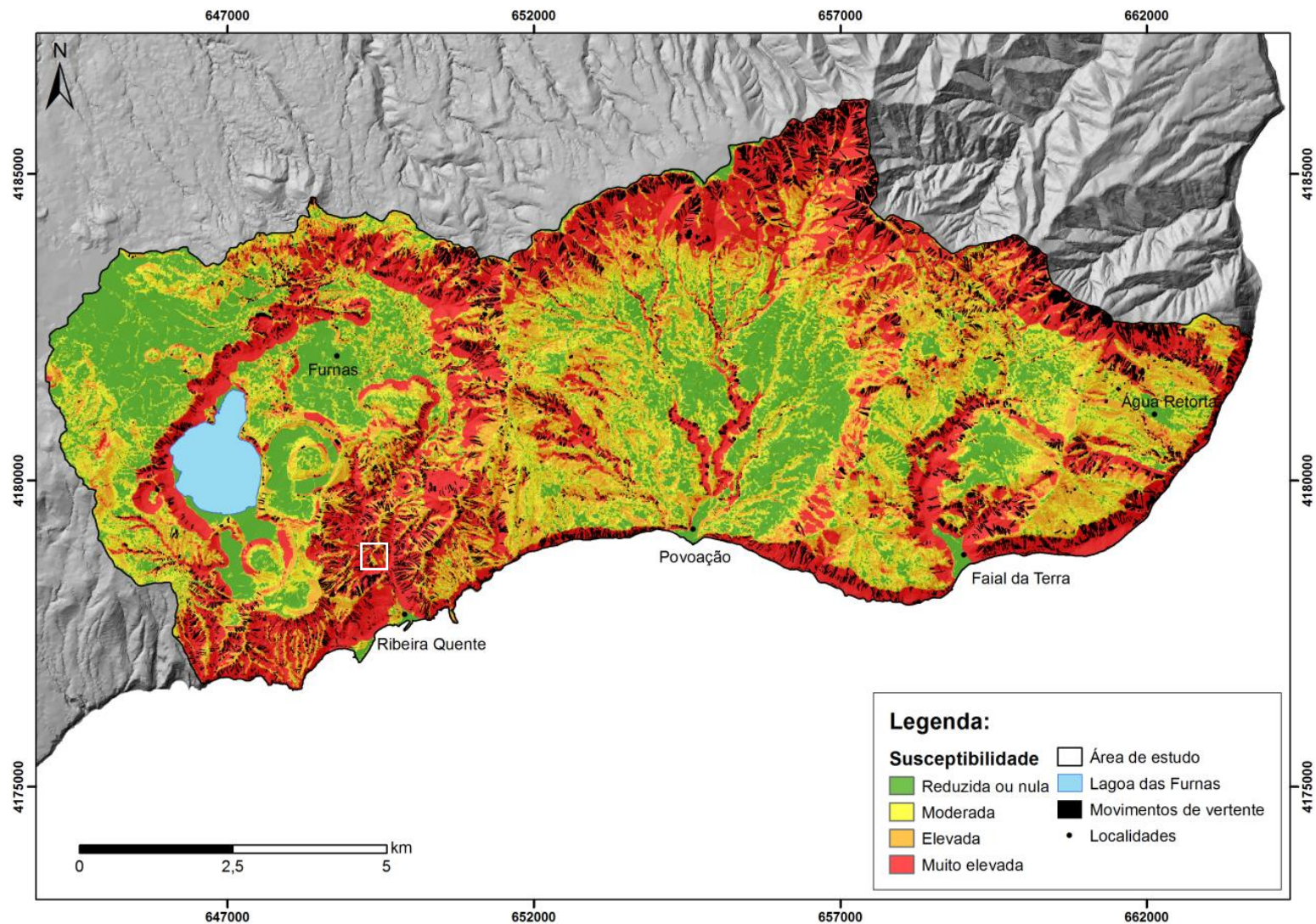


- **13,8%** das estradas secundárias estão localizados em áreas de suscetibilidade elevada e muito elevada (rotura);
- **26,7%** das estradas secundárias estão localizados em áreas de suscetibilidade elevada e muito elevada (rotura + propagação).

3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.4 Casos de estudo

12 de junho de 1964 (estrada Rib. Quente – Furnas; antes da entrada do túnel sul)

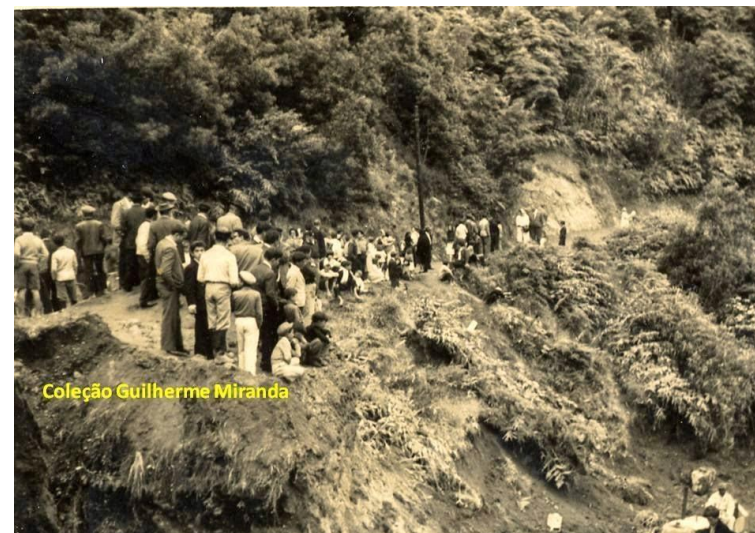
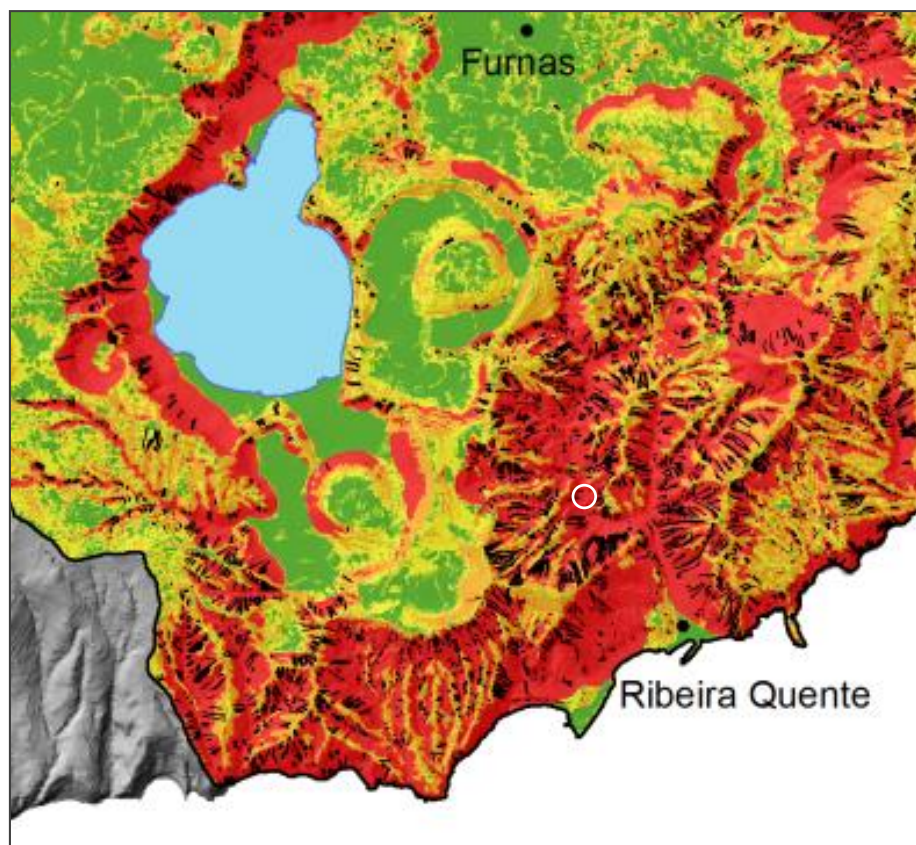


3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.4 Casos de estudo

12 de junho de 1964 (estrada Rib. Quente – Furnas)

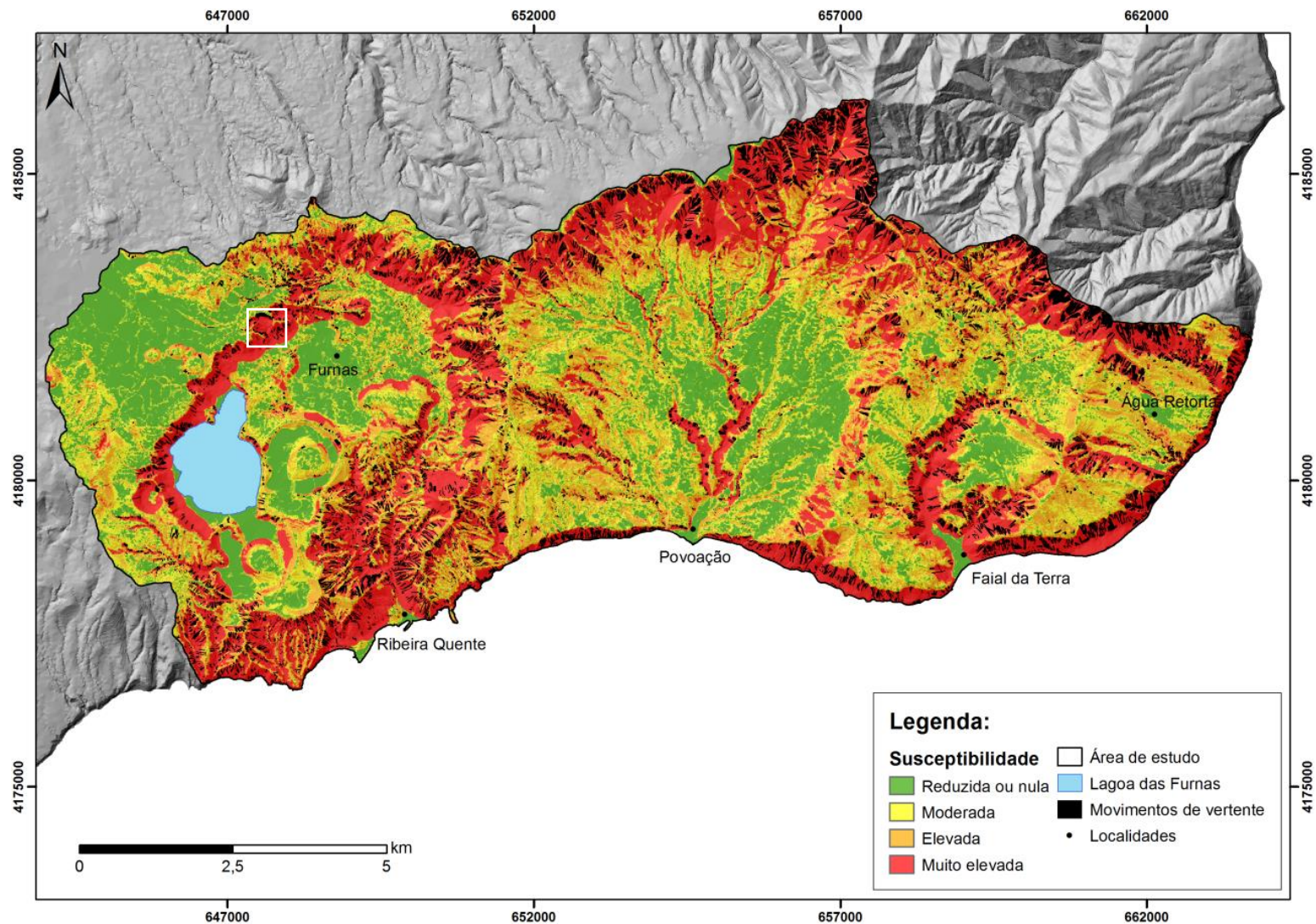
- Queda de um autocarro numa vertente;
- 1 vítimas mortal;
- 5 feridos graves e 4 feridos ligeiros.



3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.4 Casos de estudo

14 de outubro 1942 (Salto do Fojo)

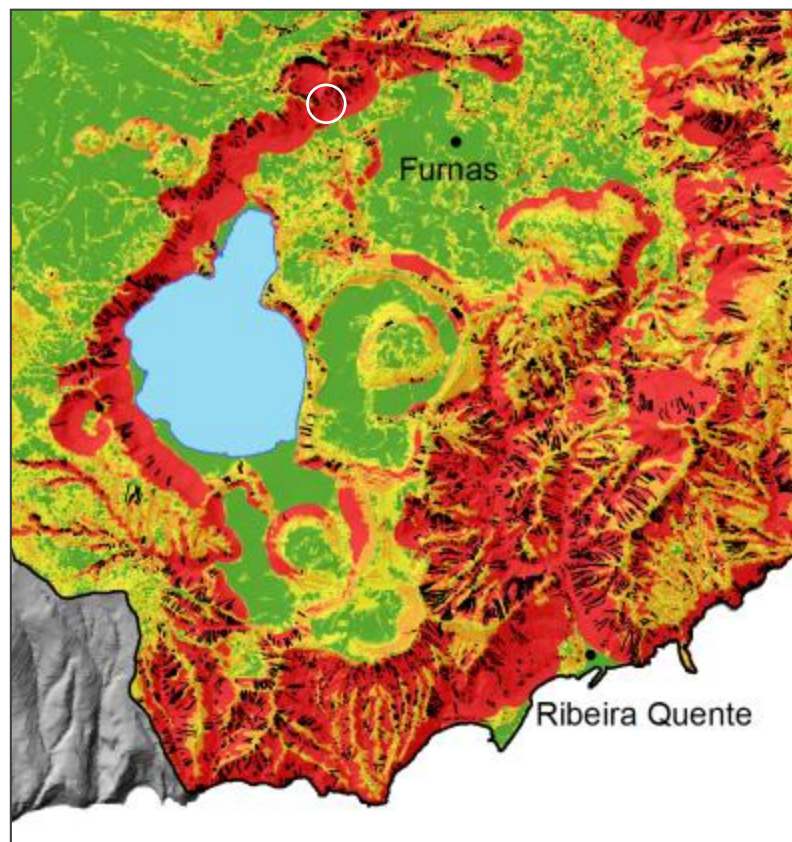


3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.4 Casos de estudo

14 de outubro de 1942 (Salto do Fojo, Furnas)

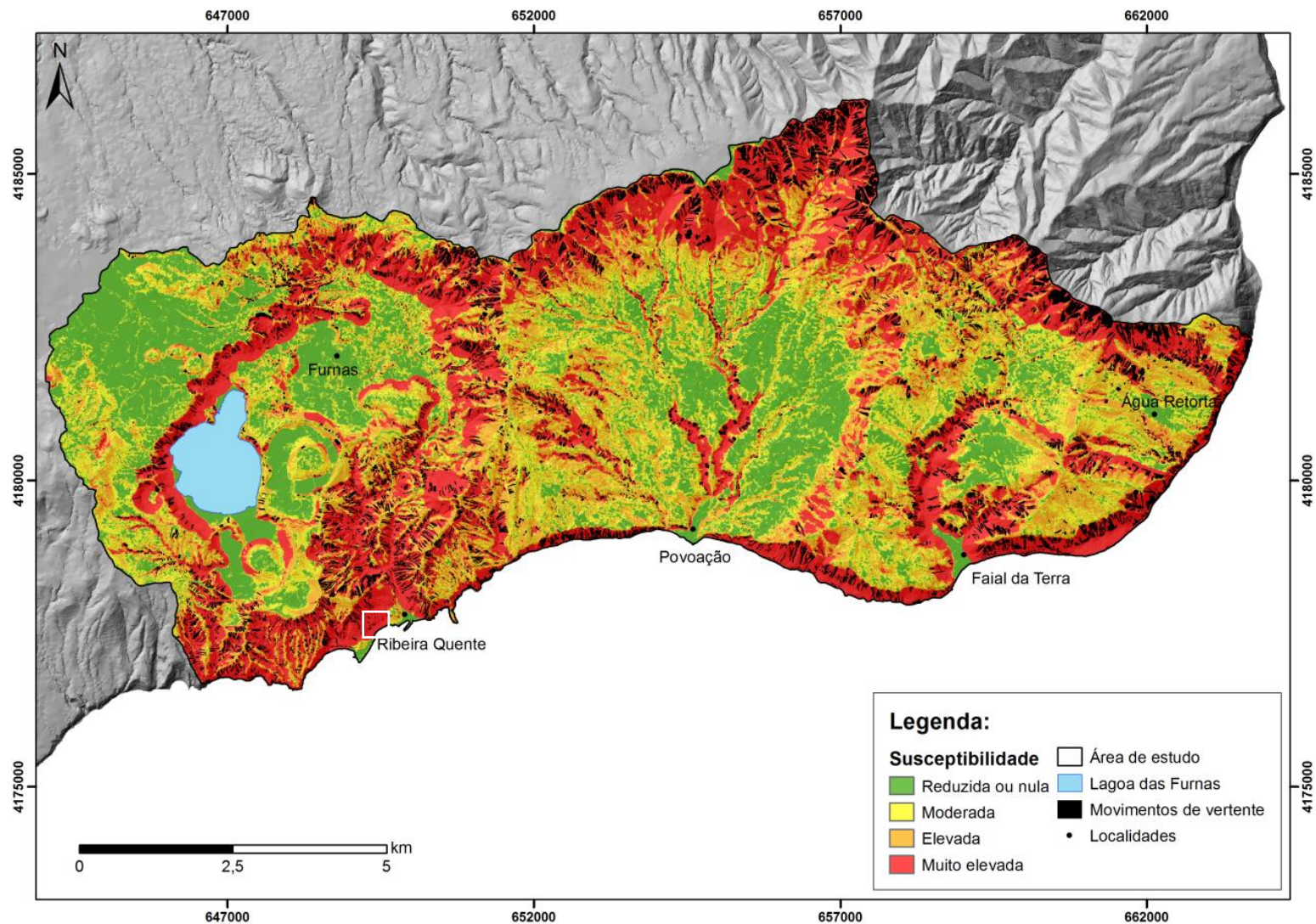
- 7 vítimas mortais (5 civis e 2 militares);
- Morte de animais;
- 150.000 m³ de material .



3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.4 Casos de estudo

31 de outubro 1997 (Ribeira Quente) – o evento com maior número de vítimas mortais desde 1900

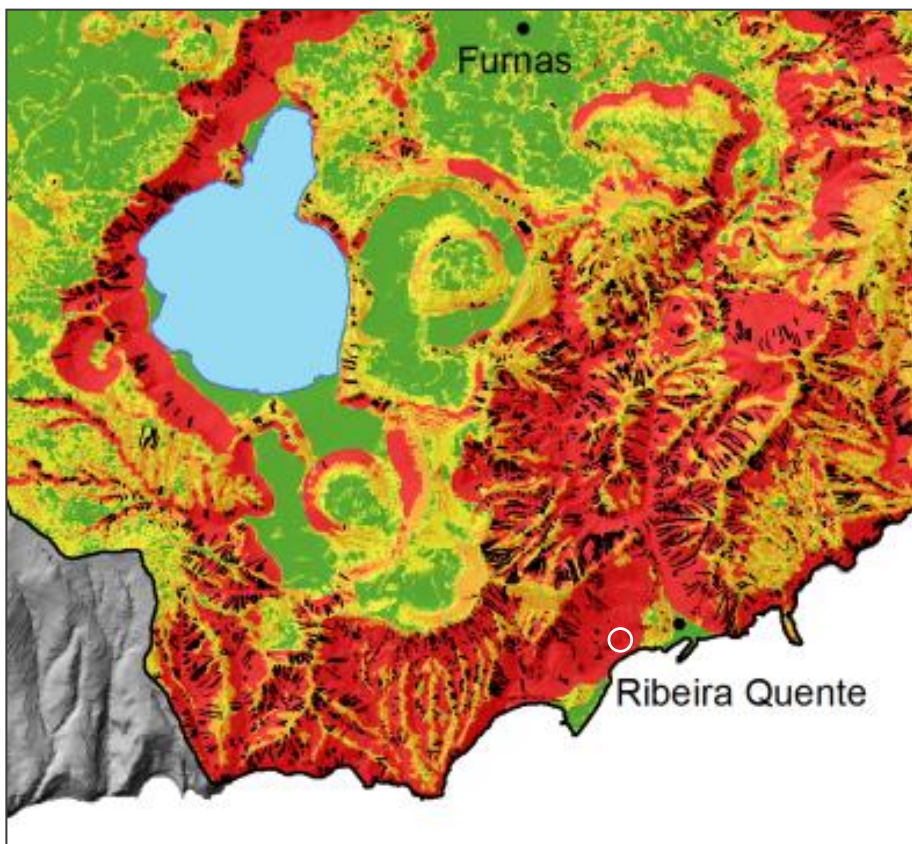


3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.4 Casos de estudo

31 de outubro de 1997 (Ribeira Quente)

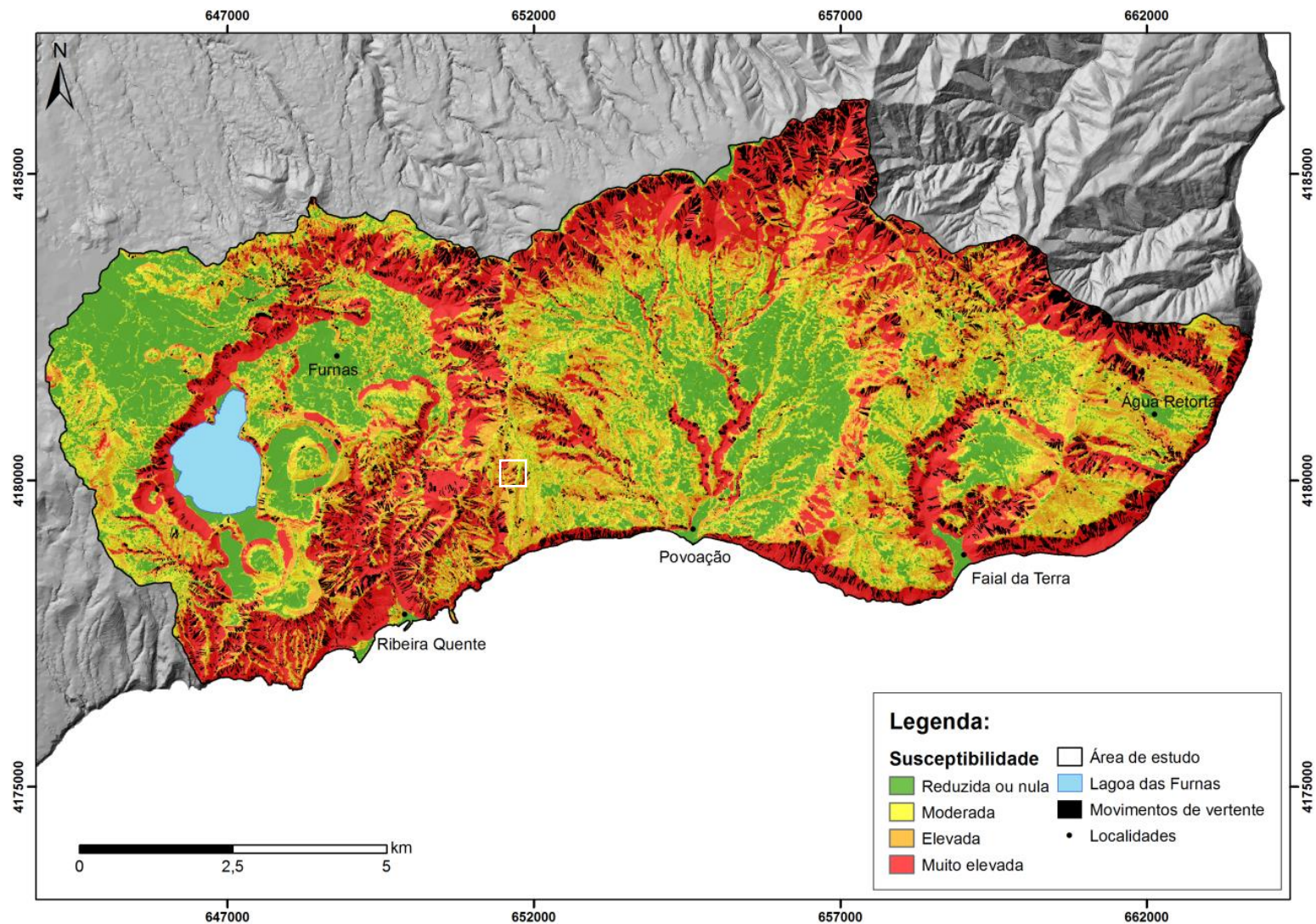
- 29 vítimas mortais;
- 36 habitações destruídas; 114 desalojados;
- 21,3 M € de custos diretos e indiretos.



3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.4 Casos de estudo

6 de março de 2005 (Furnas-Povoação)

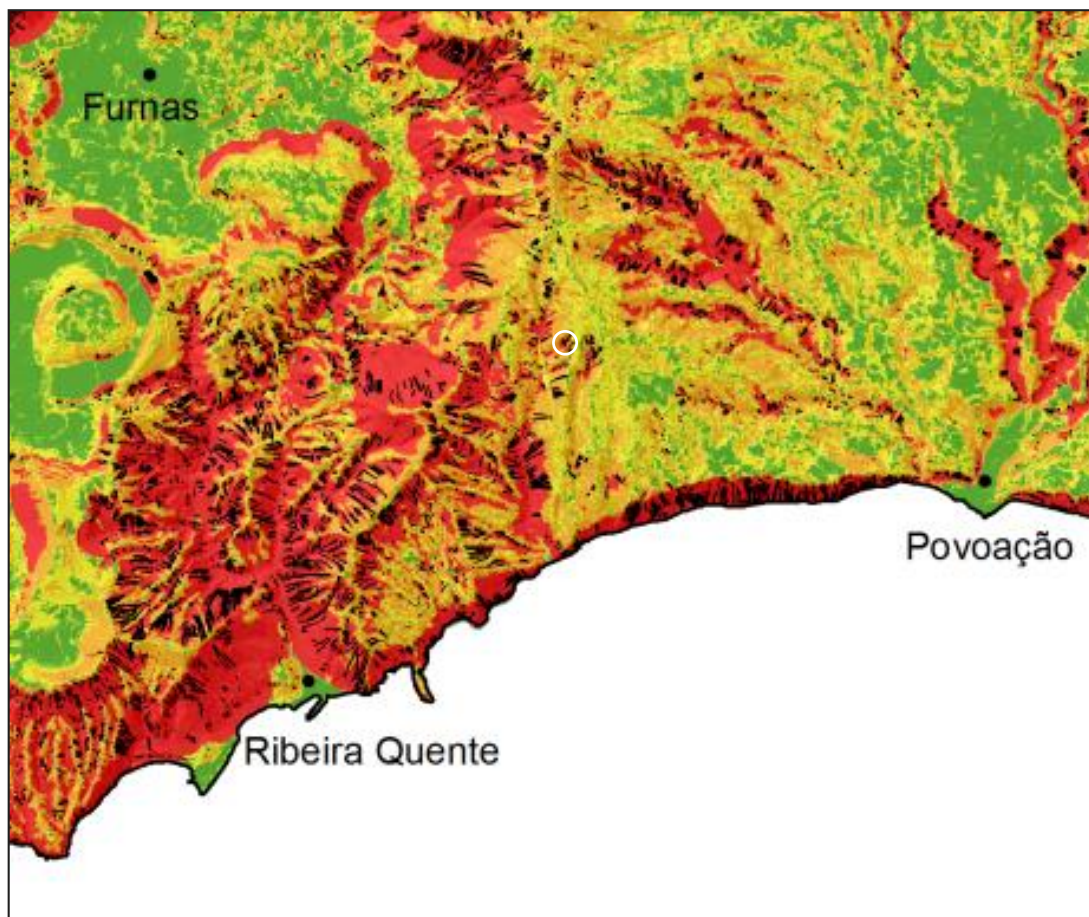


3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.4 Casos de estudo

6 de março de 2005 (Furnas-Povoação)

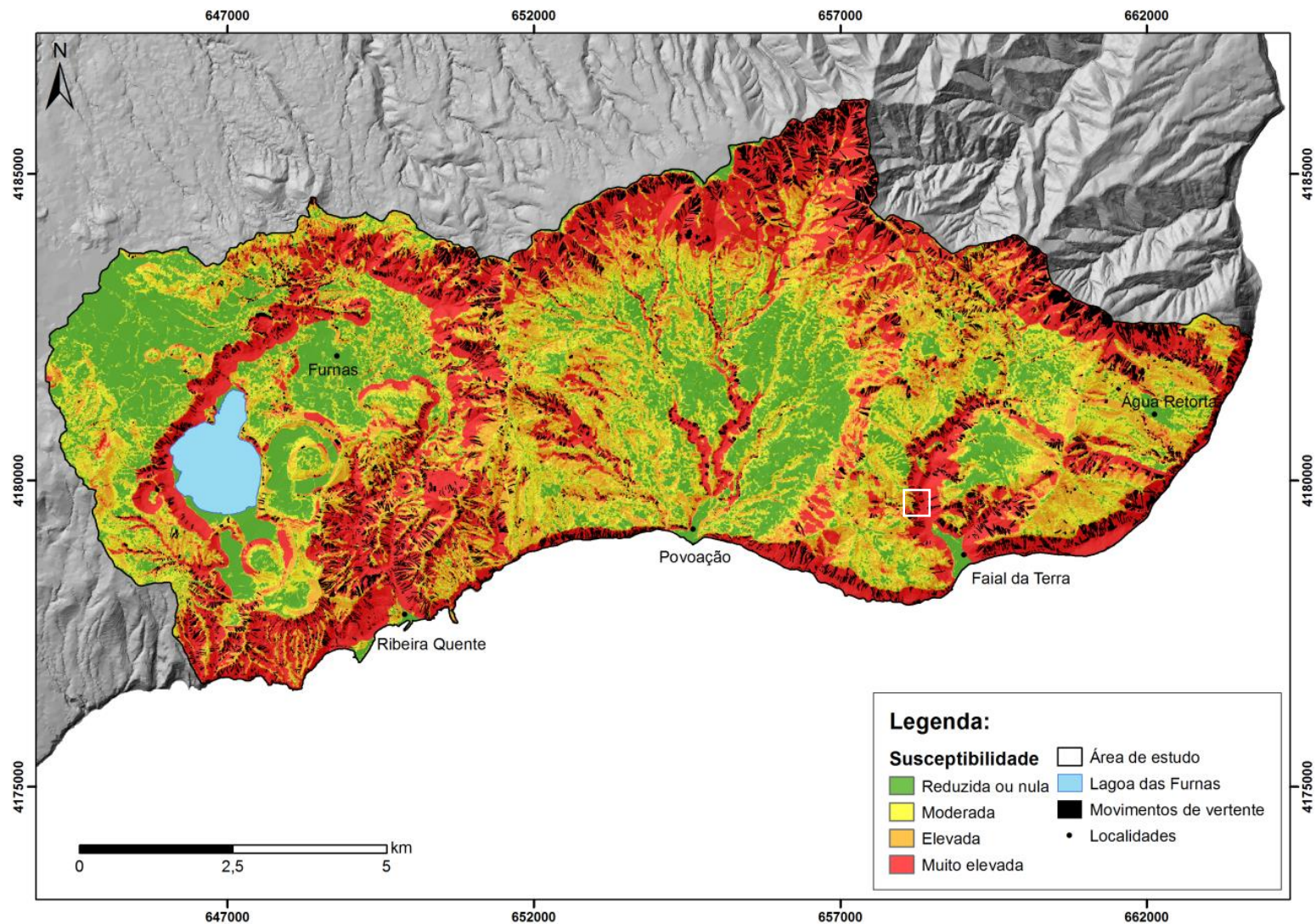
- 3 vítimas mortais.



3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.4 Casos de estudo

13 de março de 2013 (Faial da Terra)

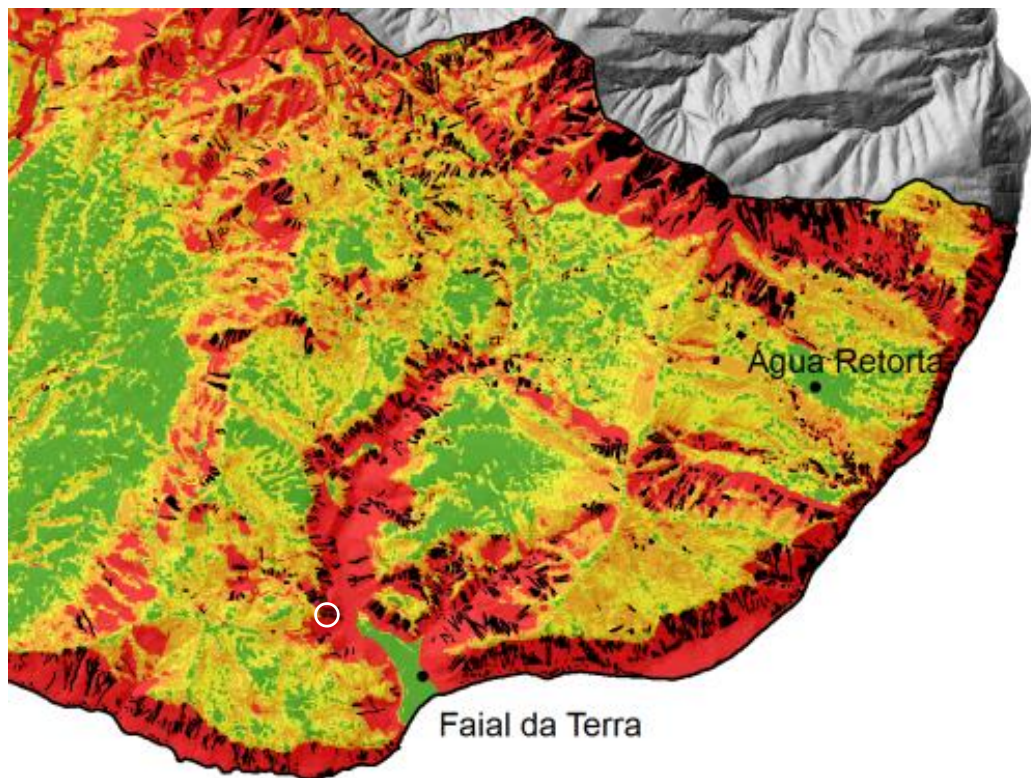


3. ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE E DO RISCO ESPECÍFICO

3.4 Casos de estudo

13 de março de 2013 (Faial da Terra)

- 3 vítimas mortais;
- 3 casas severamente danificadas.





4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA

“Não prever, é já lamentar”
Leonardo da Vinci

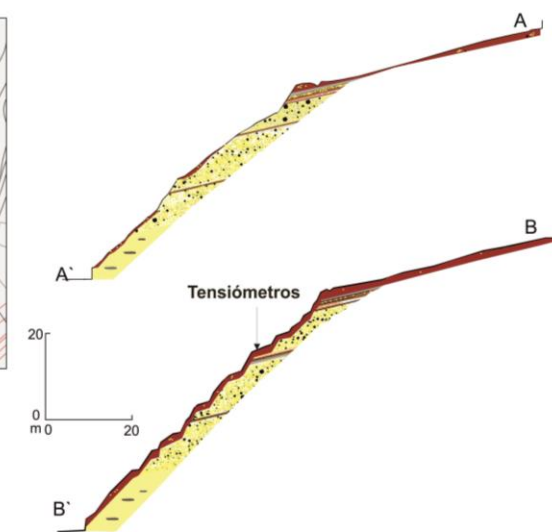


4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico



Legenda

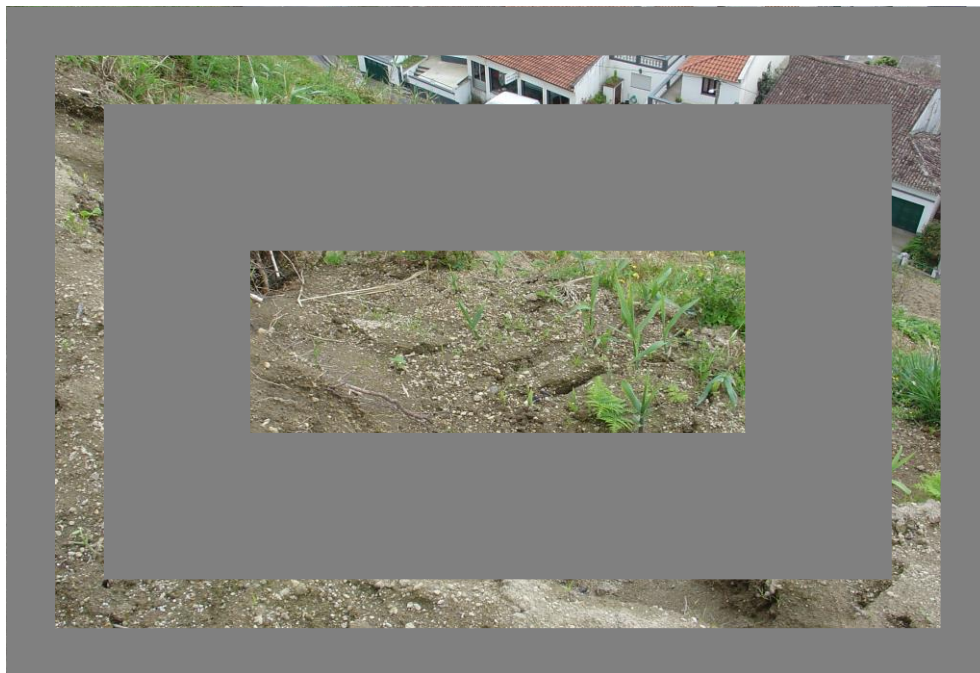


(Amaral *et al.*, 2010)

- **Localização** : Estrada Regional 1-1^o, próximo ao largo do Município da Vila da Povoação;
- **Área**: 8.050 m²;
- **Altitude ortométrica**: 65 m;
- **Declive médio**: 37^o;
- **Geologia**: Ignimbrito soldado; sequência alternada de depósitos pomíticos e paleosolos (consolidados e não consolidados). Cobertura por depósitos de vertente;
- **Caracterização física, mecânica e hidrodinâmica**: $\gamma_d' = 5-10 \text{ kN/m}^3$; $\varphi' = 30-43^\circ$; $c' = 0-4 \text{ kPa}$; $K_{sat} = 10^{-4}-10^{-6} \text{ m/s}$; $\theta_s = 0,8-0,5 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico



Deslizamento translacional na Estrada Regional 1-1º, próximo ao largo do Município da Vila da Povoação;

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico



Monitorização Geodésica

Equipamento utilizado: TRIMBLE SERIE 5503 DR

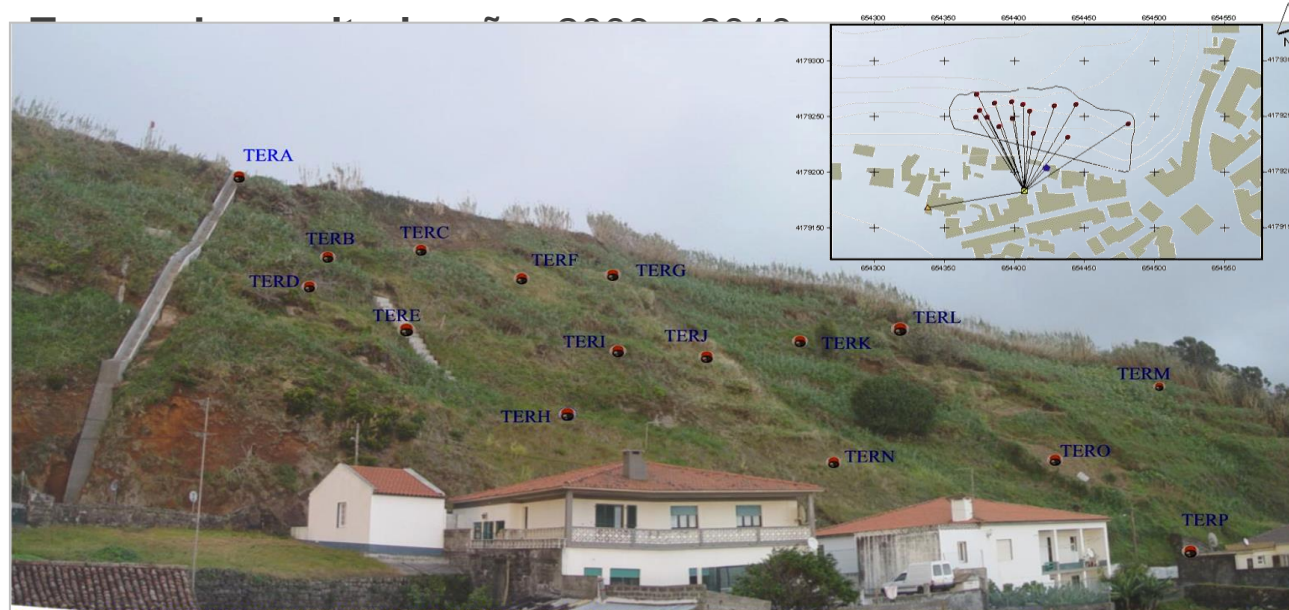
Precisão: Distância: $\pm (2\text{mm} + 2 \text{ ppm})$;

Resolução angular: $3''$;

Alcance: Até 50 m sem prisma;

Até 7.500 m com prisma;

Pontos de monitorização: 18 marcas para a medição da Estação
Total e/ou GPS;



(Amaral *et al.*, 2006)

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico

Abril de 2004



(Amaral *et al.*, 2006)

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico Junho de 2004



(Amaral *et al.*, 2006)

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico Dezembro de 2004



(Amaral *et al.*, 2006)

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico Abril de 2005



(Amaral *et al.*, 2006)

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico Maio de 2005



(Amaral *et al.*, 2006)

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico Junho de 2005



(Amaral *et al.*, 2006)

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico Novembro de 2005



(Amaral *et al.*, 2006)

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico

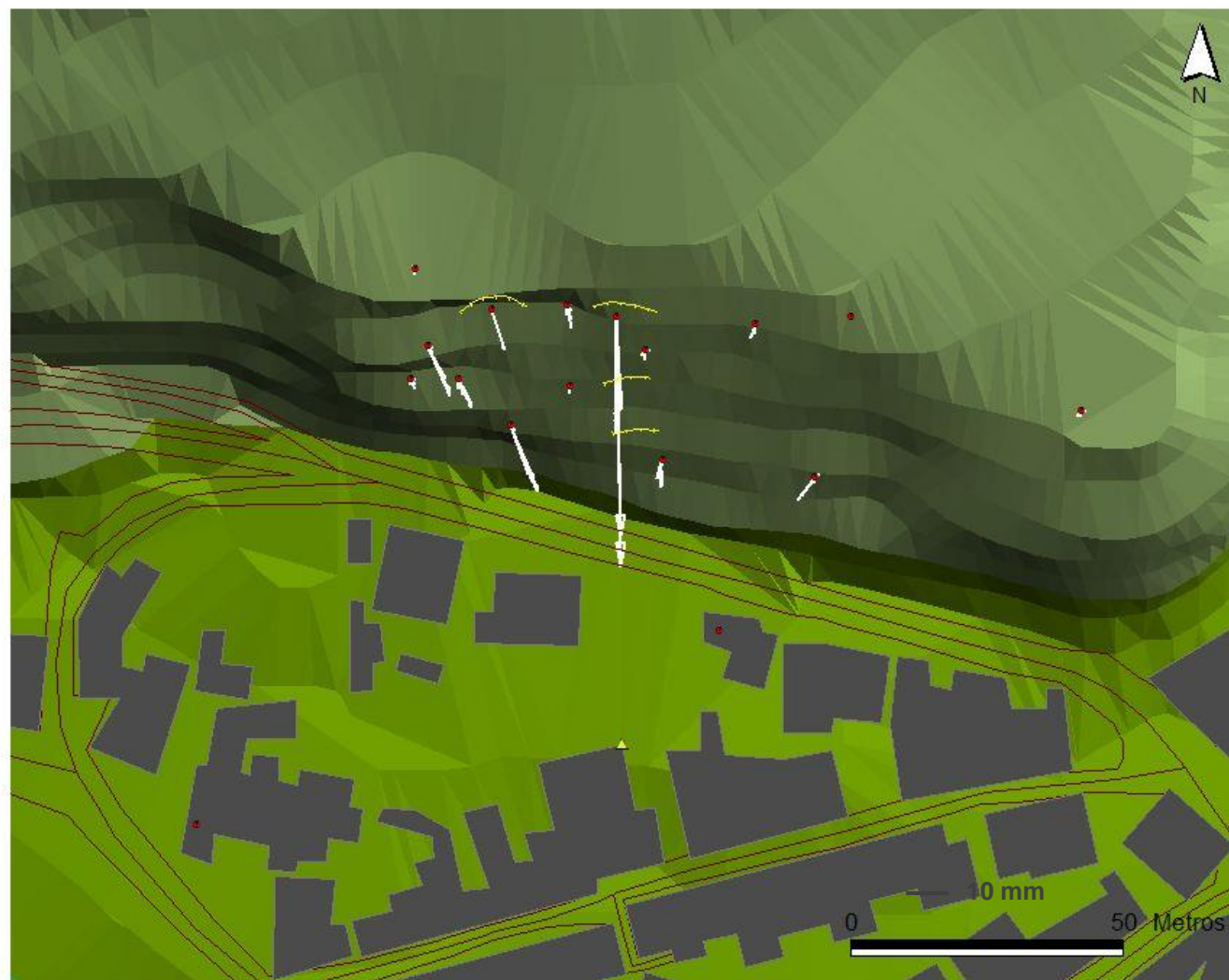
Abril de 2006



(Amaral *et al.*, 2006)

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico Junho de 2006



(Amaral *et al.*, 2006)

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico Agosto de 2006



(Amaral *et al.*, 2006)

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico

Outubro de 2006



(Amaral *et al.*, 2006)

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico



Monitorização Hidrológica (medição da sucção matricial)

Equipamento utilizado: três tensiómetros TS1 da UMS a 30, 60 e 100 cm;

Resolução: +100 kPa até -100 kPa;

Precisão: ± 0.5 kPa;

Taxa de aquisição: 1 hora e 15 min;

Unidade de controlo e armazenamento: *Data Logger Campbell Scientific CR800;*

Alimentação: bateria 12 de lítio, suportada por um painel solar de 20W;

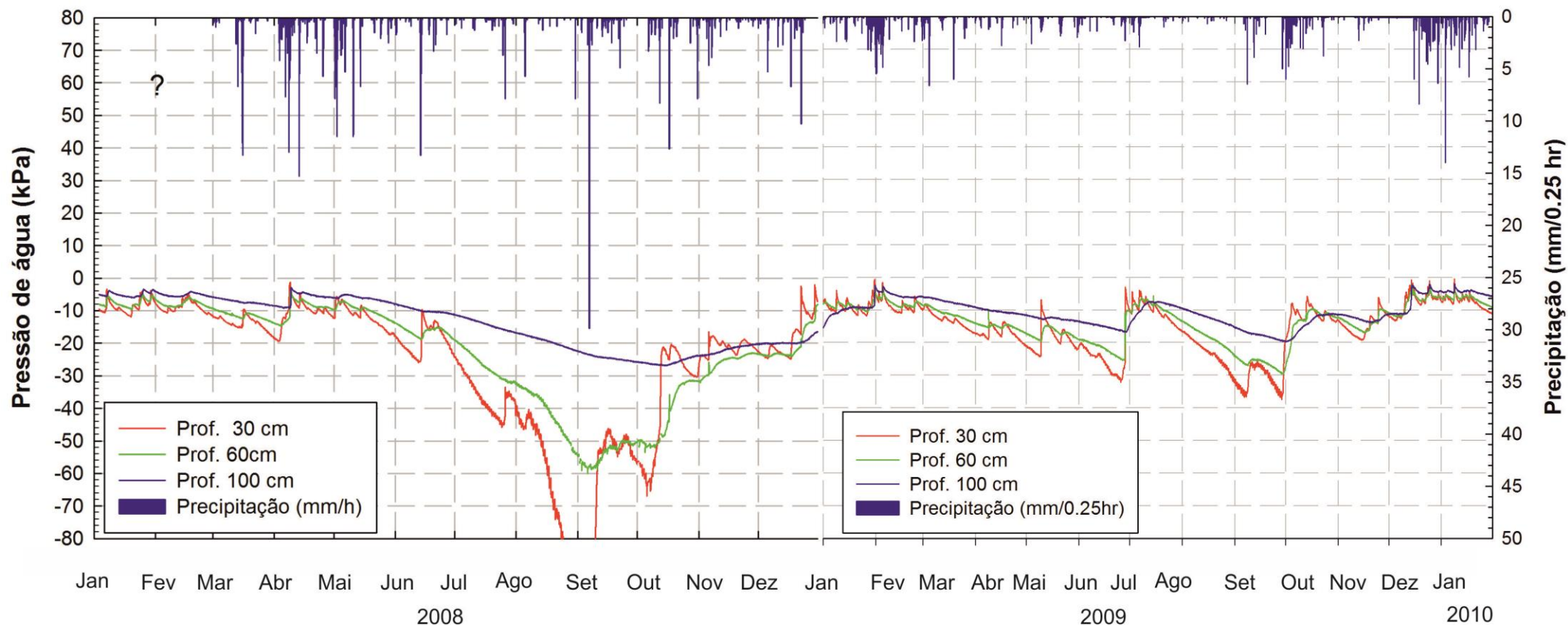
Tempo de monitorização: 2008-2011.



4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico

Corelação da sucção matricial com a precipitação



(Amaral *et al.*, 2010)

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico

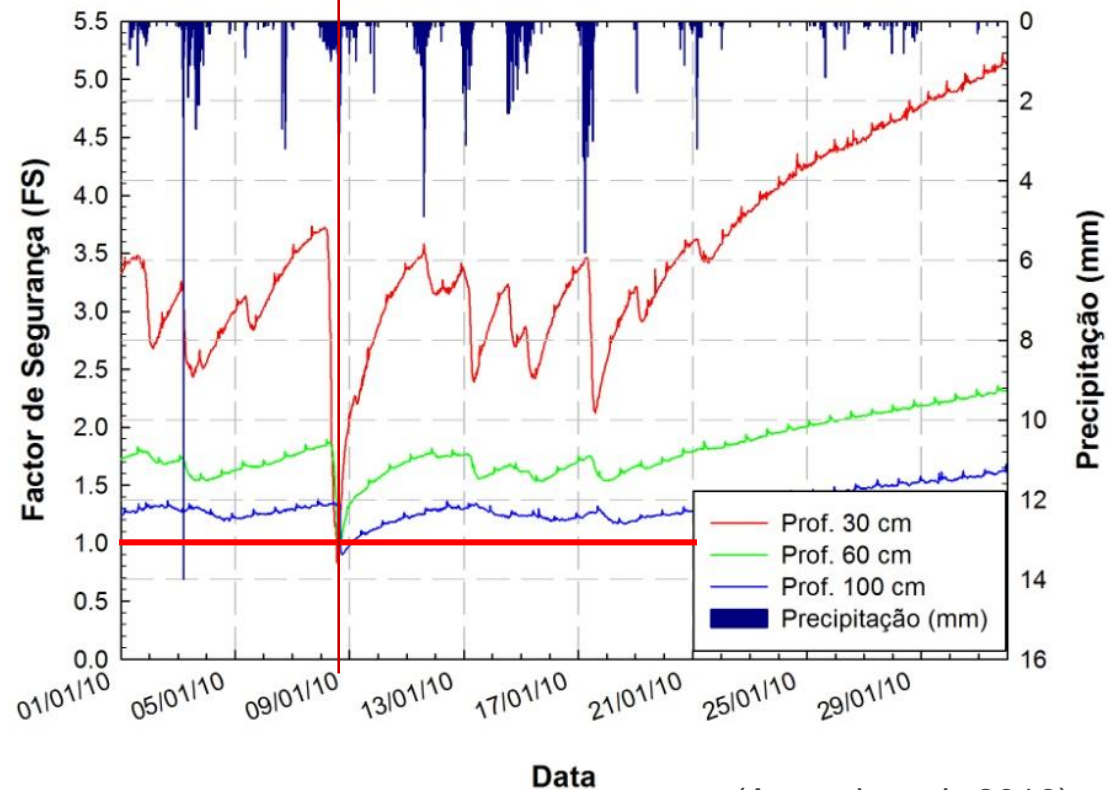
Modelo de estabilidade determinístico:

$$FS = \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} + \frac{C e^{-\mu \theta}}{(\gamma_d + \theta \gamma_w) Z \sin \beta \cos \beta} - \frac{\psi \gamma_w \tan \phi'}{(\gamma_d + \theta \gamma_w) Z \sin \beta \cos \beta}$$

Propriedade, símbolo (unidade)	Valor
Declive, b (°)	37
Ângulo de atrito, f' (°)	31,3
Valor máximo hipotético da coesão, C (kPa)	254,4
Coefficiente de redução, m (-)	-9,4
Peso específico seco, g _d (kN/m ³)	8,7
Peso específico da água, g _w (kN/m ³)	9,81
Profundidade, Z (m)	0,3; 0,6; 1
Teor de água volumétrico, q (m ³ m ⁻³)	Variável (estimados)
Sucção matricial, y (m)	Variável (dados tensiómetros)

Pressão de água: 0 – 2 kPa

FS < 1 no dia 08/01/2010; instabilidade confirmada



(Amaral *et al.*, 2010)

Condições favoráveis à instabilidade

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico



- $FS < 1$ no dia 08/01/2010; instabilidade confirmada.

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.1 Sistema de Monitorização Geodésico e Hidrológico

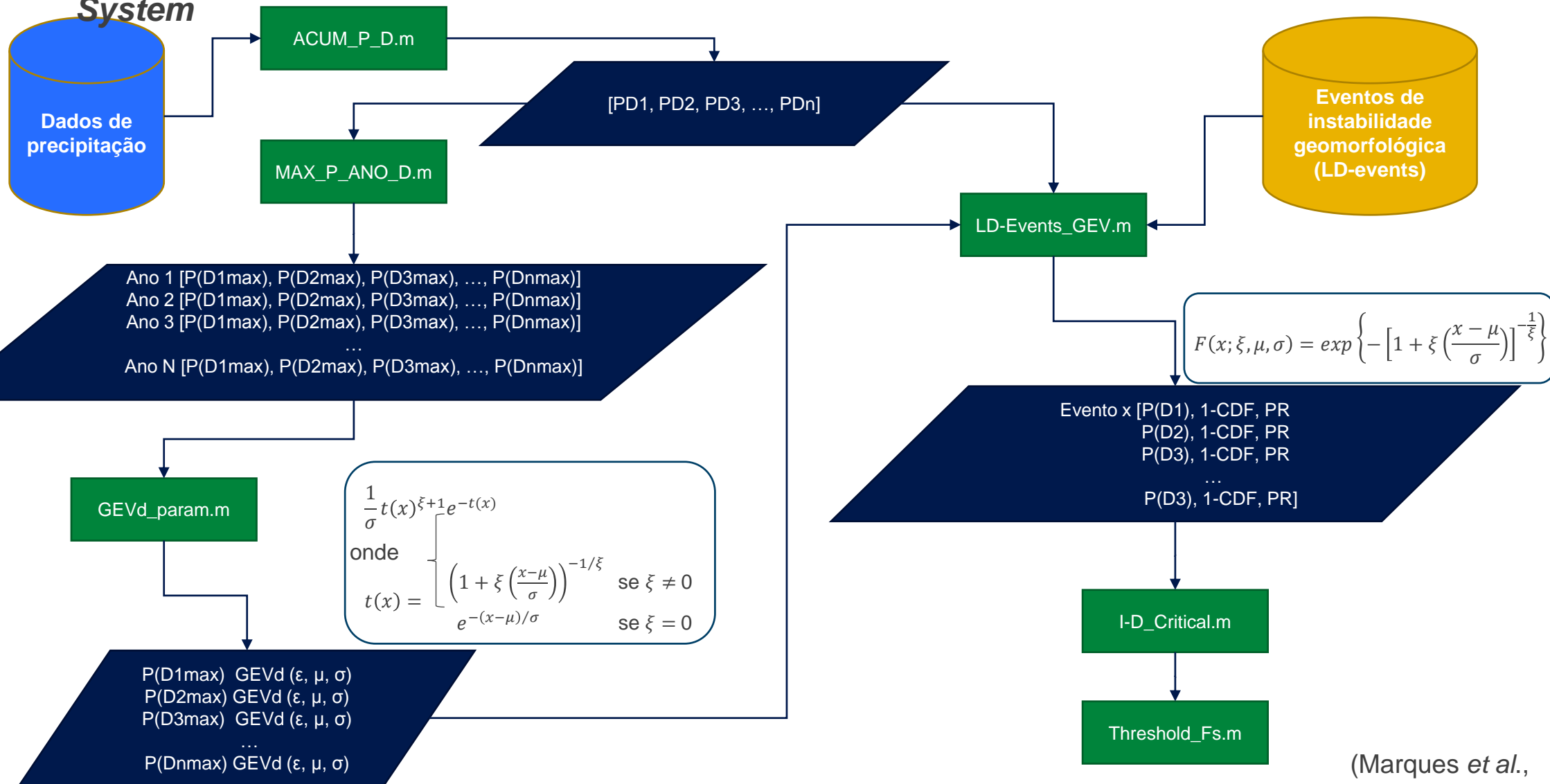
Intervenção para estabilização do talude face à instabilidade declarada: outubro 2012 a janeiro de 2013



- Reperfilamento da geometria do talude com banquetas e drenagem superficial de água de escorrência
- Utilização de betão projetado com geodrenos para estabilizar ignimbrito não soldado.

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.2 ELEWS – Empirical Landslide Early Warning System

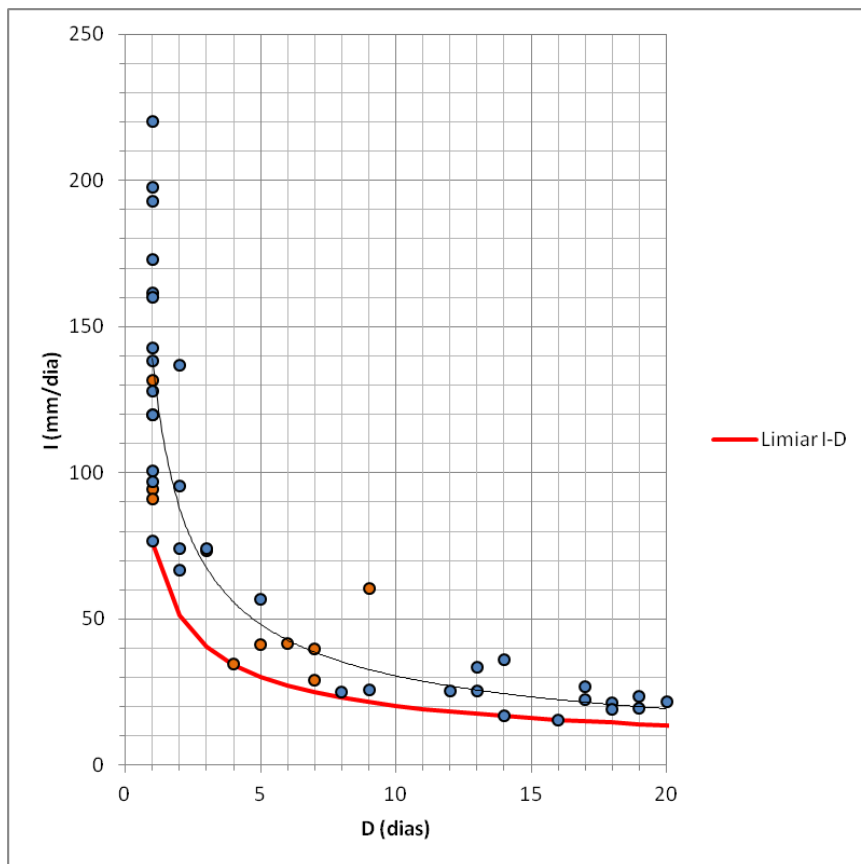


(Marques *et al.*,
2010)

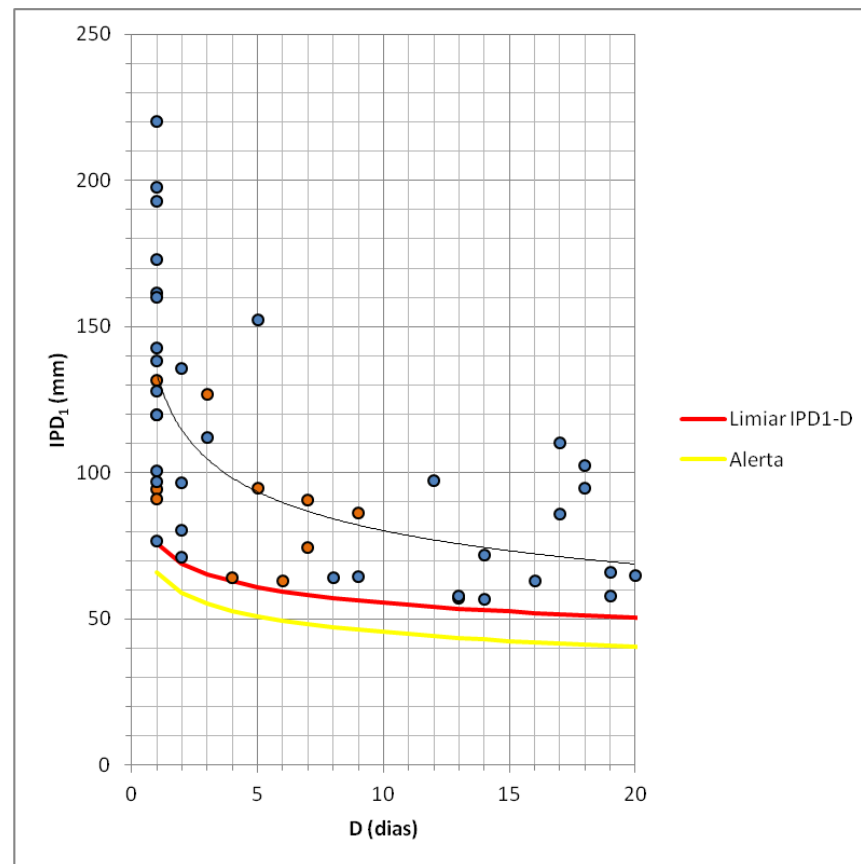
4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.2 ELEWS – Empirical Landslide Early Warning System

Função de predisposição

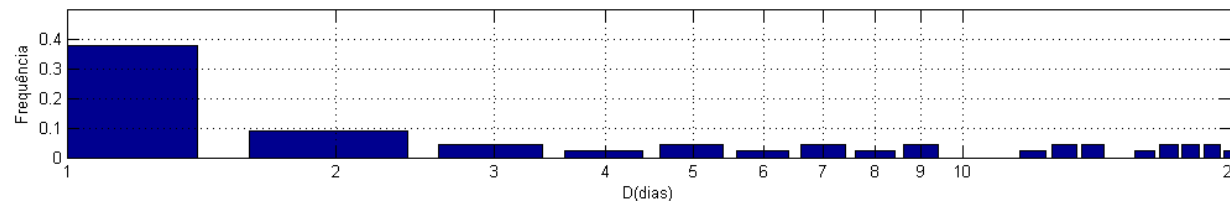
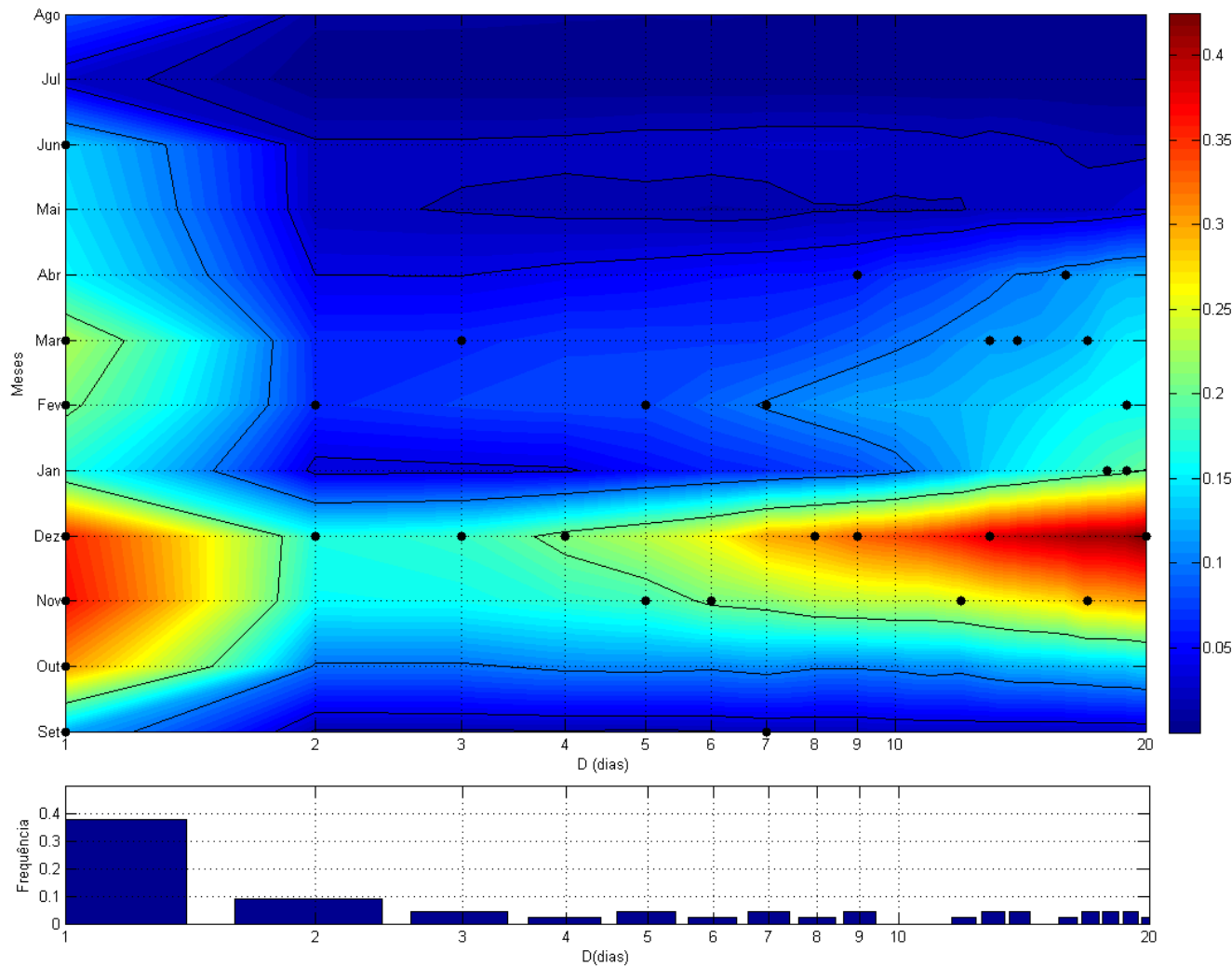
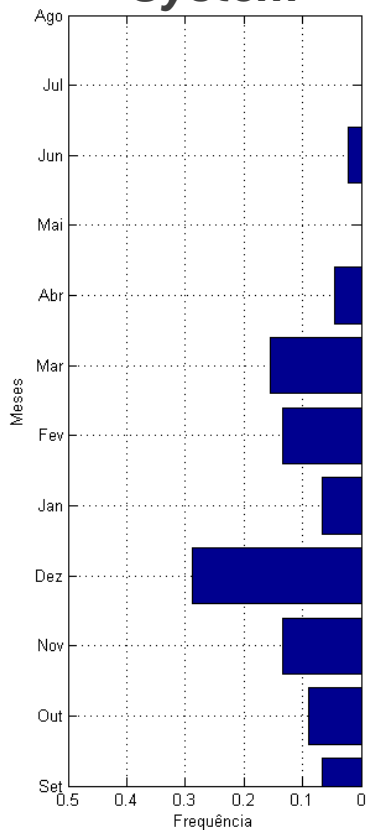


Função de desencadeamento



4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.2 ELEWS – Empirical Landslide Early Warning System



- Para $D=1$, a $Prob > 0,3$ entre os meses de outubro e dezembro e entre fevereiro e março, tendo correspondência com 39,6% do total dos eventos e com a totalidade dos eventos causadores de mortes;
- Em novembro e dezembro existe igualmente uma elevada probabilidade de desencadeamento de movimentos de vertente associados a padrões de precipitação de duração superior $D=[7, 20]$

(Marques *et al.*, 2010)

4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.2 ELEWS – Empirical Landslide Early Warning System

- **Santa Maria**
 - 3 estações meteorológicas;
- **São Miguel**
 - 28 estações meteorológicas;
- **Terceira**
 - 8 estações meteorológicas;
- **Graciosa**
 - 1 estação meteorológica;
- **São Jorge**
 - 2 estações meteorológicas;
- **Pico**
 - 8 estações meteorológicas;
- **Faial**
 - 3 estações meteorológicas;
- **Flores**
 - 6 estações meteorológicas;
- **Corvo**
 - 2 estações meteorológicas.

Total = 61 estações meteorológicas



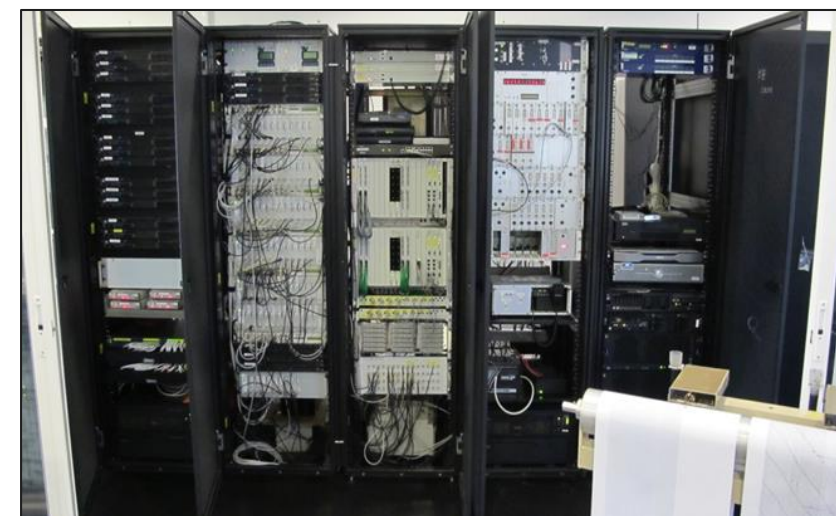
4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.2 ELEWS – Empirical Landslide Early Warning System

CENTRO DE AQUISIÇÃO DE DADOS (CAD)

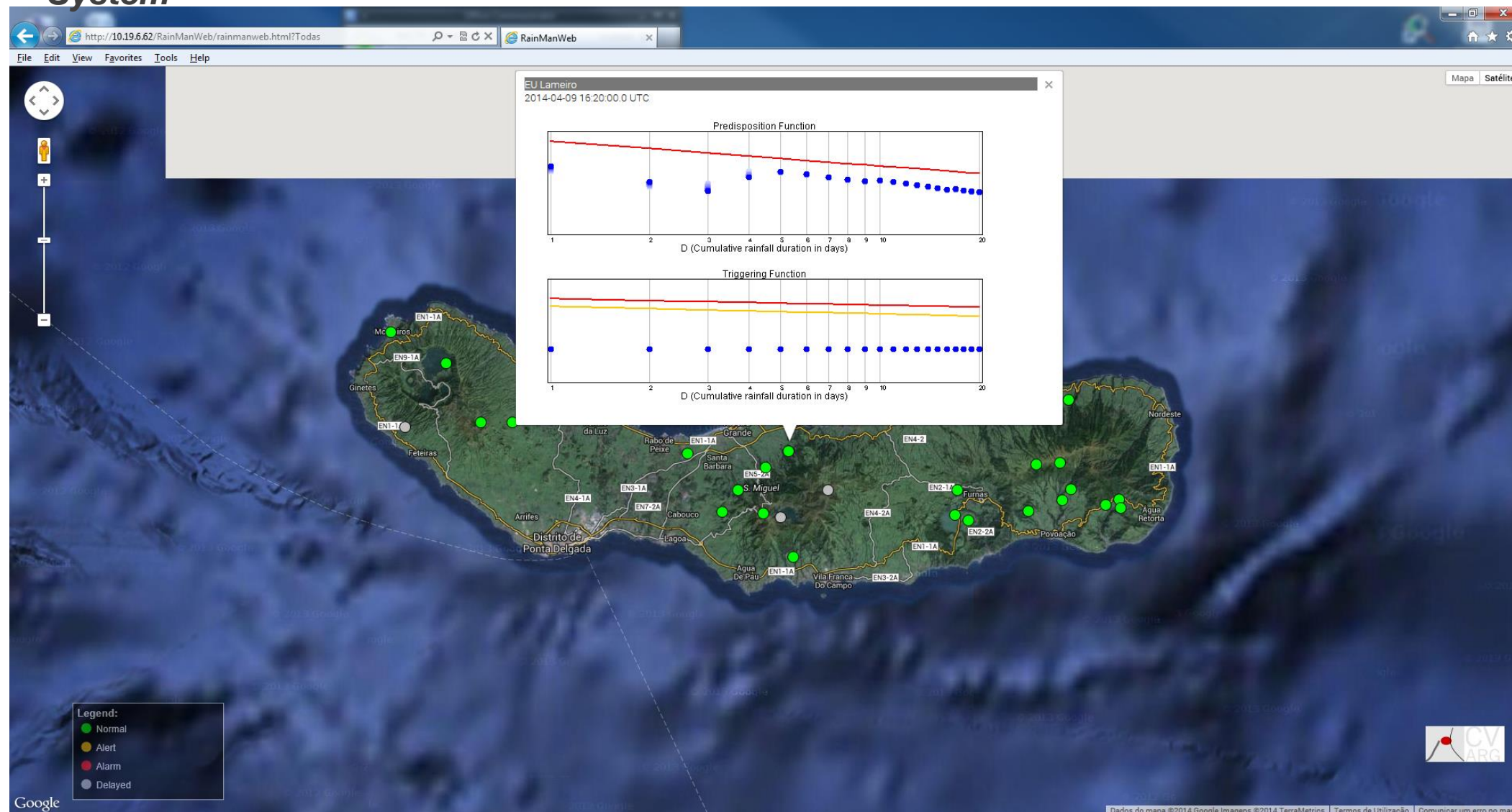
Principais objetivos:

- Operar 24 h por dia, 7 dias por semana, em regime de turnos;
- Supervisionar a operacionalidade de todas as redes de monitorização permanente do CIVISA;
- Otimizar e desenvolver interfaces gráficas para a monitorização e para os sistemas de aviso e alerta;
- Determinar os parâmetros sísmicos (localização, magnitude, etc.) da sismicidade registada no Arquipélago Complementado pelos coordenadores das UCOs do CIVISA.
dos Açores.



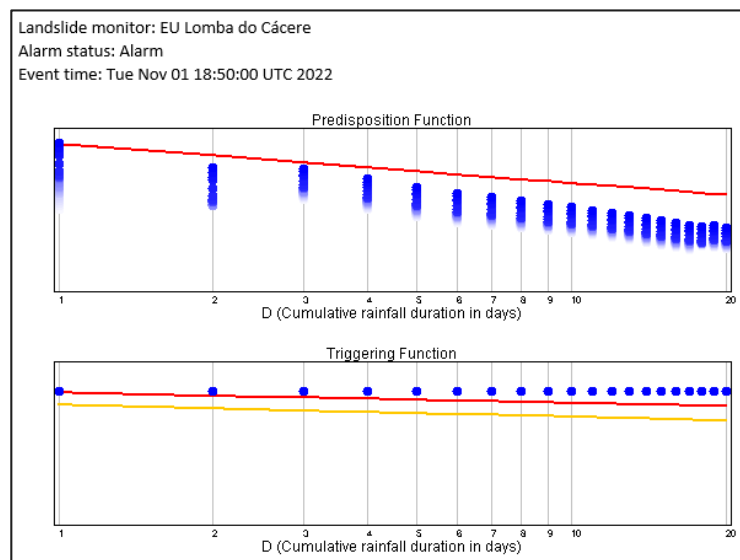
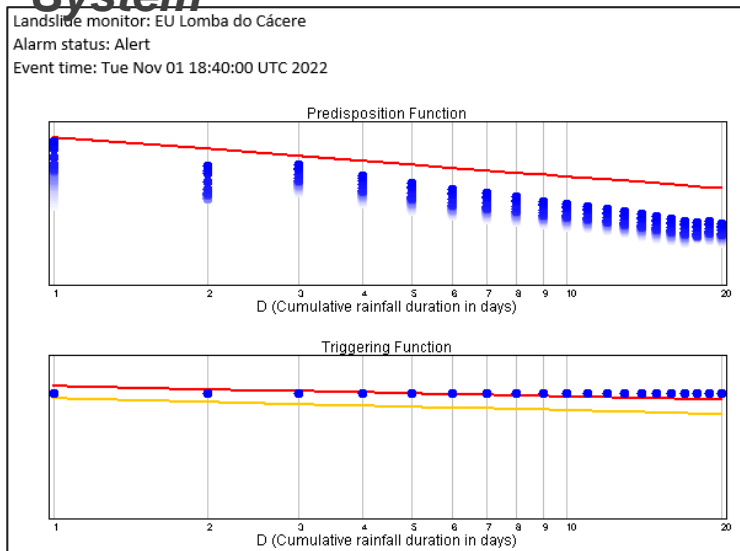
4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.2 ELEWS – Empirical Landslide Early Warning System



4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

4.2 ELEWS – Empirical Landslide Early Warning System



CIVISA

Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores

COMUNICADO Nº 1340/2022

01-11-2022 18:45

Perigo de Movimentos de Vertente (Lomba do Cákere - Pico) - mv#602v

O Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA) informa que, de acordo com os modelos preditivos utilizados e face aos valores de precipitação registados na estação meteorológica supramencionada, localizada na zona de Lomba do Cákere, ilha de Pico, estão criadas condições para a ocorrência de movimentos de vertente no(s) concelho(s) de Lajes do Pico (designadamente, nas freguesias de Ribeiras e Santo Amaro).

O CIVISA recomenda que as medidas preventivas decorrentes de tal situação permaneçam válidas para as próximas 48 horas.

O CIVISA continua a acompanhar o evoluir da situação, emitindo novos comunicados caso necessário.

Centro de Operações de Emergência
CIVISA

NOTAS

1. A informação constante no presente comunicado decorre de trabalhos do CIVISA no âmbito do projeto para a definição de um sistema de alerta para movimentos de vertente baseado em informação hidrometeorológica e não exclui a possibilidade de se registarem ocorrências noutras locais do arquipélago devido, designadamente, à falta de cobertura da rede meteorológica, a atrasos nas comunicações ou a falhas técnicas do equipamento.

2. O presente comunicado complementa a informação disponibilizada pelo CIVISA nos sítios da internet de acesso restrito ao SRPCBA e à SRAAC.

Se não conseguir visualizar correctamente o conteúdo desta página, [clique aqui](#).

Se pretender aceder ao portal do CIVISA [clique aqui](#).

© Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores
Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos



4. MONITORIZAÇÃO E SISTEMAS DE ALERTA E ALARME

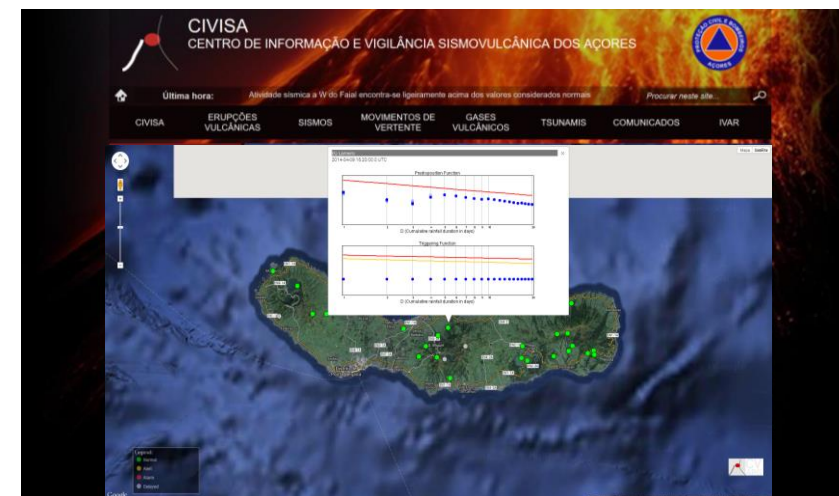
4.2 ELEWS – Empirical Landslide Early Warning System

CENTRO DE OPERAÇÕES DE EMERGÊNCIA (COE)

Principais objetivos:

- Operacionalizar as redes de comunicação de voz (rede rádio analógica UHF; RITERAA; satélite);
- Efetuar a análise macrossísmica dos sismos sentidos;
- Disseminar comunicados e notas informativas para o SRPCBA;
- Manter atualizados os conteúdos para os portais público e privado do CIVISA.

Complementado em situações de emergência pelo Gabinete de Crise – composto pelos coordenadores das UCOs e Direção do CIVISA.





5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

*“O período de maior ganho em conhecimento e experiência
é o período mais difícil da vida de alguém”
Dalai Lama (1863-1947)*



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A localização geográfica e o enquadramento geodinâmico do arquipélago dos Açores determinam a multiplicidade de perigos naturais a que as diferentes ilhas se encontram sujeitas. De entre os perigos naturais, os movimentos de vertente são aqueles que com maior frequência colocam em risco a vida de pessoas, bens materiais e infraestruturas;
- O evento de instabilidade geomorfológica de 31 de Outubro de 1997 veio sublinhar a necessidade de se aprofundar o conhecimento técnico e científico no que se refere às causas, desenvolvimento e impacto deste tipo de fenómenos;
- A manutenção de bases de dados de perigos naturais é essencial para avaliar a incidência espacial e temporal destes fenómenos, a sua recorrência e a vulnerabilidade territorial à sua ação;
- A análise da suscetibilidade e do risco específico constituem tarefas essenciais para a mitigação do risco, para a implementação de medidas eficientes ao nível do ordenamento do território e planeamento de emergência, bem como para a definição e implementação de redes de monitorização e sistemas de alerta e alarme;
- Os resultados obtidos no âmbito dos trabalhos de monitorização e desenvolvimento de sistemas de alerta e alarme demonstram a sua utilidade na identificação e vigilância de movimentos de vertente e na previsão de condições de precipitação conducentes ao desencadeamento deste tipo de fenómeno.

MUITO OBRIGADO

CIVISA
Centro de Informação e Vigilância
Sismovulcânica dos Açores



UAC
UNIVERSIDADE
DOS AÇORES



**XV ENCONTRO
NACIONAL
de RISCOS**



**Risco de Movimentos em Vertentes
Aprender com o Passado**

Auditório da Câmara Municipal da Povoação Ilha de São Miguel (Açores)
4 e 5 de novembro de 2022