

REGIÃO AUTÓNOMA DOS AÇORES SECRETARIA REGIONAL DO AMBIENTE E ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS Direção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos

Por correio eletrónico: C/C: Exmo. Senhor Presidente Câmara Municipal de Vila do Porto Largo Nossa Senhora da Conceição 9580-539 VILA DO PORTO

Na resposta mencione o nº SAI-SRAAC. Em cada ofício trate um só assunto.

Sua referência: Sua comunicação de:

Nossa referência: SAI-SRAAC/2021/2259 Proc.009.07.02/9

Data: 12/04/2021

ASSUNTO: MONITORIZAÇÃO GEODÉSICA, INCLINOMÉTRICA E PIEZOMÉTRICA E APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE PROSPEÇÃO GEOFÍSICA PARA O ACOMPANHAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE MOVIMENTOS DE VERTENTE NA MAIA, PRAIA FORMOSA E PANASCO, ILHA DE SANTA MARIA

2.º Relatório – DTC 008/IVAR/CIVISA/21 (setembro 2020 – fevereiro 2021)

Relativamente ao assunto mencionado em epígrafe, e na sequência do desenvolvimento da prestação de serviços "MONITORIZAÇÃO GEODÉSICA, INCLINOMÉTRICA E PIEZOMÉTRICA E APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE PROSPEÇÃO GEOFÍSICA PARA O ACOMPANHAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE MOVIMENTOS DE VERTENTE NA MAIA, PRAIA FORMOSA E PANASCO, ILHA DE SANTA MARIA", desenvolvida pelo Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores/ Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos, vimos por este meio remeter a V. Exa., para conhecimento, o 2.º Relatório entregue relativo ao ponto de situação e apresentação dos resultados da monitorização realizada entre 1 de setembro de 2020 a 28 de fevereiro de 2021.

Com os melhores cumprimentos,

O Diretor Regional

Assinado por : **EMANUEL BRUNO TEIXEIRA BARCELOS** Num. de Identificação: BI123793238 Data: 2021.04.12 10:46:50+00'00'

formal Buralung

Anexos: R.2 – Ponto de situação e apresentação dos resultados da monitorização geodésica, inclinométrica e piezométrica (setembro de 2020 - fevereiro de 2021) – DTC 008/IVAR/CIVISA/21

MONITORIZAÇÃO DE MOVIMENTOS DE VERTENTE NA MAIA, PRAIA FORMOSA E PANASCO (ILHA DE SANTA MARIA)

R.2 – Ponto de situação e apresentação dos resultados da monitorização geodésica, inclinométrica e piezométrica (setembro de 2020 – fevereiro de 2021)

R. F. Silva, R. Marques e N. Cabral

DTC 008/IVAR/CIVISA/21

CENTRO DE INFORMAÇÃO E VIGILÂNCIA SISMOVULCÂNICA DOS AÇORES

INSTITUTO DE INVESTIGAÇÃO EM VULCANOLOGIA E AVALIAÇÃO DE RISCOS



ÍNDICE

1 – INTRODUÇÃO1
2 – REDES DE MONITORIZAÇÃO2
3 – ANOMALIAS REGISTADAS NAS REDES DE MONITORIZAÇÃO PERMANENTES3
 3.1 – Rede de Monitorização Geodésica Permanente da Maia
4 – MELHORAMENTO DO SUPORTE INFORMÁTICO DA REDE DE MONITORIZAÇÃO
PERMANENTE DA MAIA4
5 – CAMPANHAS DE MONITORIZAÇÃO PERIÓDICAS6
5.1 – Redes de Monitorização Geodésica Periódicas da Praia Formosa e do Panasco.6 5.2 – Rede de Monitorização Inclinométrica Periódica da Maia6
6 – RESULTADOS DA MONITORIZAÇÃO7
 6.1 - Redes de Monitorização Geodésica
7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Monitorização de Movimentos de Vertente na Maia, Praia Formosa e Panasco, ilha de Santa Maria. R.2 – Ponto de situação e apresentação de resultados da monitorização geodésica, inclinométrica e piezométrica (setembro de 2020 – fevereiro de 2021) DTC 008/IVAR/CIVISA/21

1 – INTRODUÇÃO

O presente documento técnico-científico foi elaborado na sequência do contrato n.º 42/DRA/2020, assinado entre a Direção Regional do Ambiente – Secretaria Regional da Energia, Ambiente e Turismo (DRA-SREAT), atual Secretaria Regional do Ambiente e Alterações Climáticas (DRA-SRAAC), da Região Autónoma dos Açores e o Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA), no âmbito do procedimento por ajuste direto n.º 6/DRA/2020, relativo à aquisição de serviços para "Monitorização Geodésica, Inclinométrica e Piezométrica e Aplicação de Técnicas de Prospeção Geofísica para o Acompanhamento e Caracterização de Movimentos de Vertente na Maia, Praia Formosa e Panasco, ilha de Santa Maria".

Corresponde ao segundo relatório (R.2) da referida prestação de serviços e contém o ponto de situação e a apresentação dos resultados das diferentes técnicas de monitorização em funcionamento nas áreas indicadas na figura 1, para o período compreendido entre 1 de setembro de 2020 e 28 de fevereiro de 2021, conforme definido na alínea b), do ponto 4, da Cláusula Segunda do Contrato.



Figura 1 – Localização das áreas de estudo na ilha de Santa Maria.



2 – REDES DE MONITORIZAÇÃO

O CIVISA desenvolveu, em colaboração com a DRA-SRAAC, um programa de monitorização geodésica com recurso a estação total, para avaliação da deformação superficial do terreno em alguns locais da ilha de Santa Maria. A seleção dos locais teve em consideração a elevada reincidência e/ou reativação de fenómenos de instabilidade geomorfológica registados desde março de 2010 (Marques *et al.*, 2010 e Pacheco *et al.*, 2013), bem como o seu impacte em vias de comunicação e em habitações, entre outras infraestruturas.

A definição da arquitetura das redes de monitorização geodésica instaladas na Maia, Praia Formosa e Panasco teve por base os trabalhos de campo desenvolvidos nos locais afetados (Marques *et al.*, 2011 e 2013 e Pacheco *et al.*, 2013), para a qual contribuiu o conhecimento de campo dos técnicos do Serviço de Ambiente de Santa Maria (SASM) que neles participaram.

Face à cinemática do movimento de vertente da Maia, a monitorização desta massa de terreno instabilizada foi complementada com duas técnicas de monitorização adicionais. Para tal, em setembro de 2017, procedeu-se à instalação de uma rede inclinométrica, que permite o acompanhamento da deformação em profundidade da massa de terreno instabilizada, e uma rede piezométrica, que possibilita a medição da pressão intersticial através de piezómetros de corda vibrante e a medição direta da posição do nível freático através de um piezómetro de Casagrande.

A designação das redes de monitorização ao longo do presente documento tem por base a técnica de monitorização, a periodicidade da monitorização e a localização geográfica da rede, sendo denominadas por:

- i) Rede de Monitorização Geodésica Permanente da Maia;
- ii) Rede de Monitorização Geodésica Periódica da Praia Formosa;
- iii) Rede de Monitorização Geodésica Periódica do Panasco;
- iv) Rede de Monitorização Inclinométrica Periódica da Maia;
- v) Rede de Monitorização Piezométrica Permanente da Maia.



3 – ANOMALIAS REGISTADAS NAS REDES DE MONITORIZAÇÃO PERMANENTES

3.1 – Rede de Monitorização Geodésica Permanente da Maia

Durante o período de monitorização a que se refere o presente documento ocorreram apenas falhas pontuais na medição automática de alguns pontos de monitorização, fruto de condições meteorológica adversas e/ou da obstrução da linha de vista entre o instrumento de medição e os prismas em resultado do crescimento da vegetação.

Para além das falhas pontuais, entre os dias 20 e 28 de fevereiro de 2021 ocorreu uma interrupção na transmissão de dados, relatada por email à DRA-SRAAC no dia 3 de março de 2021, a qual foi solucionada por uma equipa do CIVISA que se deslocou ao local no dia 5 de março de 2021.

3.2 – Rede de Monitorização Piezométrica Permanente da Maia

Durante o período de monitorização a que se refere o presente documento não ocorreram falhas na aquisição de dados.

Monitorização de Movimentos de Vertente na Maia, Praia Formosa e Panasco, ilha de Santa Maria. R.2 – Ponto de situação e apresentação de resultados da monitorização geodésica, inclinométrica e piezométrica (setembro de 2020 – fevereiro de 2021) DTC 008/IVAR/CIVISA/21



4 – MELHORAMENTO DO SUPORTE INFORMÁTICO DA REDE DE MONITORIZAÇÃO PERMANENTE DA MAIA

Conforme definido na alínea a) do ponto 3 da cláusula segunda do contrato da presente prestação de serviços, nos dias 12 a 14 de setembro foi efetuada a substituição do computador dedicado às redes de monitorização no lugar da Maia e a atualização do software *GeoMoS* (*Leica Geosystems*®), nas suas duas componentes (*GeoMoS Monitor* e *GeoMoS Analyser*), para a versão mais recente (v.7.3.2).

O novo computador instalado no abrigo (Fig. 2), dedicado às redes de monitorização no lugar da Maia, é um computador industrial do fabricante *Neousys*, modelo *NUVO-8034*. O processador é *Intel*® *Core*™ *i5-9500*, *9M Cache*, até 4,40 GHz e a memória RAM é *DDR4 8GB 2400MHz CL17 SODIMM*. Possui dois discos *SSD A400 SATA 3 2.5 480Gb* e o sistema operativo é o *Windows 10 Pro 64bit*.



Figura 2 – Aspeto geral dos equipamentos de alimentação, controle e armazenamento de dados no abrigo da Maia.



A Rede de Monitorização Geodésica Permanente da Maia é gerida através do *software GeoMoS* (*Leica Geosystems*®). O software possui duas componentes distintas: i) a extensão *GeoMoS Monitor*, instalada no computador localizado no abrigo da Maia, que permite gerir a arquitetura da rede, parametrizar a estação total, definir a taxa de aquisição e controlar o sensor de temperatura e pressão para a correção automática das medições efetuadas pela estação total; e ii) a extensão *GeoMoS Analyser*, instalada num servidor na sede do CIVISA, em Ponta Delgada, que permite efetuar a gestão e consulta da base de dados, a visualização dos resultados e a definição de alertas e alarmes. Neste sentido, foi efetuada a atualização do *software GeoMoS* nas suas duas componentes para a versão mais recente (v.7.3.2, Fig. 3), fazendo-se a devida adequação da base de dados antiga à nova estrutura de base de dados e integração com o novo servidor localizado na sede do CIVISA.



Figura 3 – Propriedades e aspeto do ecrã inicial da extensão *GeoMoS Monitor 7.3.2 (em cima)* e da extensão *GeoMoS Analyser 7.3.2* (em baixo)



5 – CAMPANHAS DE MONITORIZAÇÃO PERIÓDICAS

5.1 – Redes de Monitorização Geodésica Periódicas da Praia Formosa e do Panasco

Para efetuar as medições referentes às redes de monitorização geodésicas periódicas da Praia Formosa e do Panasco, no período a que se refere o presente documento, foram realizadas três missões à ilha de Santa Maria, nos seguintes períodos:

- 12, 13 e 14 de setembro de 2020;
- 23 e 24 de novembro 2020;
- 22 e 23 de fevereiro de 2021.

5.2 – Rede de Monitorização Inclinométrica Periódica da Maia

Para o período a que se refere o presente documento, foram realizadas nove campanhas de monitorização na Rede de Monitorização Inclinométrica da Maia, nas seguintes datas:

- 4 e 20 de outubro de 2020;
- 2 e 17 de novembro de 2020;
- 22 de dezembro de 2020;
- 4 e 19 de janeiro de 2021;
- 2 e 16 de fevereiro de 2021.

A primeira campanha, realizada no dia 26 de outubro de 2017, é utilizada como época de referência para a determinação do deslocamento cumulativo.



6 – RESULTADOS DA MONITORIZAÇÃO

6.1 - Redes de Monitorização Geodésica

A aquisição de dados da Rede de Monitorização Permanente da Maia é feita com uma periodicidade de 3 horas com recurso a uma estação total da *Leica*, modelo TM30, enquanto que nas redes periódicas a aquisição é feita com uma periodicidade aproximada de 2 meses, por uma equipa do CIVISA, com recurso a uma estação total da *Trimble*, modelo *5500 DR*.

6.1.1 – Rede de Monitorização Geodésica Permanente da Maia

Os resultados apresentados na figura 4 para a Rede de Monitorização Permanente da Maia correspondem aos vetores da deformação planimétrica para cada ponto de monitorização com deslocamento superior a 0,002 m, à exceção do ponto de monitorização 1 que se apresenta na figura 5, considerando o período entre 16 de março de 2012 e 28 de fevereiro de 2021. Na figura 6 apresenta-se, para o mesmo período, os resultados do deslocamento altimétrico.



Figura 4 - Vetores de deslocamento em planimetria, considerando o período compreendido entre 16 de março de 2012 e 28 de fevereiro de 2021.



Figura 5 - Vetor de deslocamento em planimetria do ponto de monitorização 1, considerando o período compreendido entre 16 de março de 2012 e 28 de fevereiro de 2021.

Pela análise das figuras 4 e 5, verifica-se que o padrão de deformação espacial heterogéneo da massa de terreno instável se mantém, tal como inicialmente identificado por Marques *et al.* (2014). Este comportamento é consequência do volume de material mobilizado, bem como da topografia do terreno.

Verifica-se que a massa instabilizada de terreno tende, na globalidade, a movimentar-se no sentido NE, ou seja, em concordância com o sentido descendente do terreno. A exceção são os pontos de monitorização P6, P11 e P21, cujos sentidos de deslocamento, contrários à maioria, indicam, provavelmente, o movimento por tombamento do bastão onde o prisma de monitorização é acoplado e que coincide com a envolvente do movimento de vertente.

No setor a montante da estrada existe um deslocamento preferencial na parte central da massa de terreno instabilizada, sendo maior nos pontos P8, P17 e P13 com 0,044 m, 0,028 m e 0,027 m, respetivamente. A jusante da estrada o deslocamento aumenta com a proximidade à crista da arriba, sendo máximo no ponto P1 com 0,625 m, e de 0,038 m, 0,052 m e 0,032 m nos pontos P2,



P4 e P3, respetivamente. O ponto P1 apresentou entre o dia 8 e 25 de janeiro uma velocidade de deslocamento de 3 cm/dia.

Na tabela 1 apresentam-se os deslocamentos para todos os pontos dentro da massa instável e no seu limite, segundo as componentes N e E, bem como o deslocamento planimétrico, medidos no dia 28 de fevereiro de 2021.

Ponto de monitorização	Deslocamento N (m)	Deslocamento E (m)	Deslocamento planimétrico (m)
1	0,373	0,502	0,625
2	0,036	-0,011	0,038
3	0,032	-0,002	0,032
4	0,029	0,043	0,052
5	0,020	0,017	0,026
6	-0,002	-0,019	0,019
7	0,015	0,007	0,016
8	0,007	0,043	0,044
9	0,011	0,017	0,020
11	-0,009	-0,001	0,010
13	0,025	0,010	0,027
17	0,003	0,027	0,028
21	-0,015	-0,018	0,024

Tabela 1 – Deslocamento nas componentes N e E e a resultante do deslocamento total em planimetria para os pontos de monitorização.

Relativamente à deformação em altimetria (Fig. 6), verifica-se que na generalidade existe um abatimento da massa de terreno instável. Os pontos de monitorização que apresentam maiores variações relativamente à EP0 são os pontos que se encontram localizados ao longo do eixo central topo-pé do depósito. Este facto está em concordância com a topografia do terreno, pois coincide com a zona mais côncava do terreno, onde é promovida uma maior acumulação de água por escorrência superficial.

No setor a montante da estrada constata-se um abatimento preferencial na zona central da massa instável, apresentando os pontos P13, P8 e P7 um abatimento de -0,015 m, -0,014 m e -0,008 m, respetivamente. No setor a jusante da estrada verifica-se um aumento do abatimento com a proximidade à crista da arriba sendo máximo no ponto P1 com -0,678 m.

Monitorização de Movimentos de Vertente na Maia, Praia Formosa e Panasco, ilha de Santa Maria. R.2 – Ponto de situação e apresentação de resultados da monitorização geodésica, inclinométrica e piezométrica (setembro de 2020 – fevereiro de 2021) DTC 008/IVAR/CIVISA/21



À semelhança do descrito por Marques *et al.* (2014), verifica-se que o movimento de vertente apresenta uma deformação permanente, cuja cinemática reflete a influência do regime de precipitação, bem como o efeito de outros parâmetros atmosféricos (*e.g.* temperatura e humidade). Tal facto traduz-se em períodos de deformação mais lenta e períodos mais ativos em resultado das propriedades dos materiais e de diferentes teores em água ao longo do ano.



Figura 6 - Resultados do deslocamento altimétrico, considerando o período compreendido entre 16 de março de 2012 e 28 de fevereiro de 2021.

10

Monitorização de Movimentos de Vertente na Maia, Praia Formosa e Panasco, ilha de Santa Maria. R.2 – Ponto de situação e apresentação de resultados da monitorização geodésica, inclinométrica e piezométrica (setembro de 2020 – fevereiro de 2021) DTC 008/IVAR/CIVISA/21



6.1.2 – Rede de Monitorização Geodésica Periódica da Praia Formosa

Os resultados apresentados para a Rede de Monitorização Geodésica Periódica da Praia Formosa, correspondem ao processamento das medições efetuadas nas várias campanhas de monitorização realizadas desde 27 de julho de 2019 até 22 de fevereiro de 2021.

Nas figuras 7 a 10 apresentam-se os resultados obtidos em todos os pontos de monitorização para as componentes norte (N), este (E) e altimétrica (Z), bem como o deslocamento total em planimetria, resultante das componentes N e E, para cada ponto de monitorização com deslocamento superior a 0,002 m.

Quanto à componente altimétrica, pela análise da figura 9, destacam-se os pontos de monitorização 6 e 10 por apresentarem um abatimento de 0,082 m e 0,006 m, respetivamente, e o ponto 39 por apresentar um empolamento de 0,006 m. Pela análise da figura 10, relativa ao deslocamento planimétrico, destacam-se os pontos de monitorização 6 e 10 por apresentarem um deslocamento total em planimetria de 0,778 m e 0,038 m, respetivamente.



Figura 7 – Deslocamento na componente norte (N) para todos os pontos de monitorização com deslocamento planimétrico superior a 0,002 m.

Monitorização de Movimentos de Vertente na Maia, Praia Formosa e Panasco, ilha de Santa Maria. R.2 – Ponto de situação e apresentação de resultados da monitorização geodésica, inclinométrica e piezométrica (setembro de 2020 – fevereiro de 2021) DTC 008/IVAR/CIVISA/21



Figura 8 – Deslocamento na componente este (E) para todos os pontos de monitorização com deslocamento planimétrico superior a 0,002 m.



Figura 9 – Deslocamento na componente altimétrica (Z) para todos os pontos de monitorização com deslocamento planimétrico superior a 0,002 m.

Monitorização de Movimentos de Vertente na Maia, Praia Formosa e Panasco, ilha de Santa Maria. R.2 – Ponto de situação e apresentação de resultados da monitorização geodésica, inclinométrica e piezométrica (setembro de 2020 – fevereiro de 2021) DTC 008/IVAR/CIVISA/21



Figura 10 – Resultante do deslocamento total em planimetria para todos os pontos de monitorização com deslocamento superior a 0,002 m.



Na figura 11 são apresentados os vetores de deslocamento planimétrico para cada ponto de monitorização da Rede de Monitorização Geodésica Periódica da Praia Formosa, considerando o período compreendido entre 27 de julho de 2019 até 22 de fevereiro de 2021.



Figura 11 – Vetores de deslocamento em planimetria considerando o período compreendido entre 27 de julho de 2019 e 22 de fevereiro de 2021.

Pela análise da figura 11 é possível verificar que o conjunto de pontos de monitorização 1 a 12 deslocam-se, aproximadamente, nos sentidos SW e SSW, concordante com o sentido descendente de maior declive do terreno. Os pontos estão localizados sobre o setor instável 1 (identificado por Pacheco *et al.*, 2013) cuja movimentação provocou danos graves em habitações, na rede de distribuição de água e a destruição da estrada municipal.

Durante o último trimestre de 2017 e até maio de 2018 foram efetuadas obras de reabilitação de vários troços da estrada municipal da Malbusca, incluindo o troço sobre o setor instável 1 (Marques *et al.*, 2018). Devido ao deslocamento acumulado desde a conclusão das obras, é possível verificar a nova expressão do flanco da massa instabilizada no piso da estrada e danos em estruturas reconstruídas sobre a massa (Fig. 12).





Figura 12 – Aspeto (a) da expressão do flanco no piso da estrada e (b) dos danos numa habitação.



Na figura 13 é apresentado o vetor de deslocamento para o ponto de monitorização 6 pelo facto de verificar um valor de deslocamento planimétrico de 0,780 m e ter sido adotada uma escala distinta para sua visualização.



Figura 13 – Vetor de deslocamento em planimetria considerando o período compreendido entre 31 de julho de 2019 e 22 de fevereiro de 2021 para o ponto de monitorização 6.

O ponto de monitorização 6 localiza-se no setor instável 1 sobre uma massa que resultou do reperfilamento do terreno em frente a uma habitação (Fig. 14). No início do mês de janeiro de 2021 verificou-se a ocorrência de um deslocamento do aterro que originou uma rotura com cerca de 8 metros de largura (Fig. 15) e consequentemente o tombamento da marca instalada sobre a massa (Fig. 16).





Figura 14 – Aspeto geral do reperfilamento do terreno efetuado em 2018.



Figura 15 – Aspeto geral do movimento do aterro ocorrido em janeiro de 2021.





Figura 16 – Pormenor do tombamento do ponto de monitorização 6.

Os pontos de monitorização 20 e 21 estão implementados sobre uma massa instabilizada no setor instável 2 (identificado por Pacheco *et al.*, 2013) e deslocam-se aproximadamente para NW. O movimento de vertente onde os pontos estão localizados, proveniente do setor montante à estrada municipal, está a provocar o "embarrigamento" do muro de pedra que ladeia a estrada municipal e o tombamento de um poste de madeira que lhe é sobranceiro.

Os vetores de deslocamento dos pontos de monitorização 22 e 25, ainda pela análise da figura 11, permitem aferir o sentido ESE em concordância com o sentido descendente do talude.

Quanto ao conjunto de pontos de monitorização 31 a 41, não há registo de variações acentuadas, permanecendo o deslocamento acumulando com valores próximos dos apresentados no relatório anterior. Salienta-se o facto de se verificar um deslocamento planimétrico de 0,011 m no ponto de monitorização 39, localizado próximo do dreno de escoamento de águas superficiais a jusante da pedreira.

Monitorização de Movimentos de Vertente na Maia, Praia Formosa e Panasco, ilha de Santa Maria. R.2 – Ponto de situação e apresentação de resultados da monitorização geodésica, inclinométrica e piezométrica (setembro de 2020 – fevereiro de 2021) DTC 008/IVAR/CIVISA/21



6.1.3 – Rede de Monitorização Geodésica Periódica do Panasco

Os resultados apresentados para a Rede de Monitorização Geodésica Periódica do Panasco correspondem ao processamento das medições efetuadas nas campanhas de monitorização realizadas desde 9 de fevereiro de 2015 até 22 de fevereiro de 2021.

Na figura 17 apresentam-se os resultados obtidos em todos os pontos de monitorização para as componentes norte (N), este (E) e altimétrica (Z), bem como o deslocamento total em planimetria, resultante da integração das componentes N e E.



Figura 17 – Deslocamento nas componentes (a) norte, (b) este e (c) altimétrica (Z) e (d) resultante do deslocamento total em planimetria.

Relativamente aos resultados obtidos e apresentados na figura 17, verifica-se que todos os pontos, à exceção dos pontos de monitorização 1 e 2, apresentam um deslocamento planimétrico igual ou

Monitorização de Movimentos de Vertente na Maia, Praia Formosa e Panasco, ilha de Santa Maria. R.2 – Ponto de situação e apresentação de resultados da monitorização geodésica, inclinométrica e piezométrica (setembro de 2020 – fevereiro de 2021) DTC 008/IVAR/CIVISA/21



superior a 0,010 m, sendo máximo nos pontos 3 e 6, em que deslocamento planimétrico foi de 0,019 m (Fig. 17d). Para a componente altimétrica destacam-se os pontos de monitorização 7 e 8 por registarem um abatimento de 0,003 (Fig. 17c).

Na figura 18 são apresentados os vetores de deslocamento planimétrico para cada ponto de monitorização com deslocamento igual ou superior a 0,002 m.



Figura 18 – Vetores de deslocamento em planimetria considerando o período compreendido entre 9 de fevereiro de 2015 e 22 de fevereiro de 2021.

Pela análise da figura 18, é possível verificar que todos os pontos de monitorização apresentam uma movimentação concordante com a cinemática do movimento de vertente identificado no local, que tem recorrentemente provocado danos numa garagem e cuja superfície de rotura apresenta uma expressão superficial ao longo de aproximadamente 150 m.

A movimentação da massa instabilizada ocorre aproximadamente no sentido E, concordante com o sentido descendente do terreno. Relativamente à distribuição da atividade o movimento de vertente está em confinamento, ou seja, apresenta um desenvolvimento incipiente, evidenciando



uma cicatriz mas não um plano de rotura visível na base da massa afetada. A deslocação do material instabilizado para montante é compensada pela compressão dos materiais envolvidos e não se prolonga significativamente para jusante.

6.2 – Rede de Monitorização Inclinométrica Periódica da Maia

O processamento dos dados obtidos pela Rede de Monitorização Inclinométrica Periódica da Maia é feito através do software *Inclinalysis*, versão 2.47.5, da *RST Instruments*, cujos resultados para os furos FSM1 e FSM2 são apresentados nas figuras 19 e 20, respetivamente. Devido à quantidade de dados, que dificulta a sua visualização, são apresentadas uma leitura por mês e todas as leituras realizadas no período temporal a que se refere o presente relatório. Foram retirados da análise os dados das campanhas 11, 23, 43 e 53 (este último apenas para o furo FSM1) realizadas nos dias 23 de março de 2018, 25 de setembro de 2018, 2 de agosto de 2019 e 31 de janeiro de 2020, respetivamente, pelo facto de se ter identificado erros nos valores medidos.

Com base nos resultados apresentados na figura 19, verifica-se que o deslocamento acumulado em profundidade no furo FSM1 até à última campanha realizada, apresenta alguma heterogeneidade. No eixo A de medição, paralelo ao sentido de movimento da massa de terreno instabilizada, o deslocamento acumulado entre os 0,5 m e os 17,5 m de profundidade varia entre 6,1 mm e 7,0 mm. Destacam-se as profundidades de 7,0 m e 15,5 m por apresentarem a maior deformação, 7,0 mm e 6,8 mm, respetivamente. Pelos resultados obtidos é possível pressupor que a superfície de rotura do movimento de vertente se situa, muito possivelmente, entre os 18,0 m e os 18,5 m de profundidade.

No período a que se refere o presente relatório não se verificaram incrementos significativos nos valores de deformação medidos.

Relativamente ao furo FSM2, observando a figura 20, verifica-se que a velocidade de deformação em profundidade é praticamente igual em todos os pontos até à campanha de monitorização 21, realizada no dia 27 de agosto de 2018. A partir da campanha de monitorização 22, e até à última campanha realizada, constata-se que a deformação neste local decresce com o aumento da profundidade, sendo aproximadamente 9,8 mm junto à superfície e 6,8 mm aos 15,50 m de profundidade. A partir dos 16,0 m de profundidade não se verifica deformação significativa, pelo que é possível assumir que a superfície de rotura está localizada entre os 15,5 m e os 16,0 m de profundidade.





Figura 19 – Deslocamento acumulado para o furo FSM1 com intervalo de medição de 0,50 m: a) Eixo A – orientado paralelamente ao sentido da deslocação; b) Eixo B – orientado perpendicularmente ao sentido da deslocação.





Figura 20 – Deslocamento acumulado para o furo FSM2 com intervalo de medição de 0,50 m: a) Eixo A – orientado paralelamente ao sentido da deslocação; b) Eixo B – orientado perpendicularmente ao sentido da deslocação.

6.3 – Rede de Monitorização Piezométrica Permanente da Maia

O processamento das leituras obtidas pelos piezómetros de corda vibrante foi feito com recurso ao *Excel* com a aplicação de fórmulas de correção das leituras disponibilizadas pela *RST Instruments*.

Na figura 21 apresentam-se os resultados obtidos da pressão intersticial para os piezómetros de corda vibrante instalados nos furos FSM1 e FSM2 e os valores de precipitação diária registados na Estação Meteorológica Automática da Maia, propriedade da Direção Regional do Ambiente.



Figura 21 – Comportamento da pressão intersticial para os furos FSM1 e FSM2 para o período compreendido entre 1 de novembro de 2017 e 28 de fevereiro de 2021.

É possível verificar, pela análise da figura 21, que a variação da pressão intersticial apresenta um comportamento semelhante nos piezómetros instalados nos furos FSM1 e FSM2. Os dados da precipitação diária permitem concluir que as variações da pressão intersticial não resultam de uma variação imediata dos valores de precipitação, estando assim associadas a diferentes períodos de acumulação de precipitação.

Na figura 22 apresenta-se a posição do nível freático registada no furo FSM3, obtido com recurso ao piezómetro de Casagrande. Verifica-se que os valores mais elevados do nível piezométrico foram atingidos nos meses de março de 2018 e nos meses de março, agosto e dezembro de 2019, posicionando-se a aproximadamente 15,0 m de profundidade. Pelo contrário, o maior rebaixamento do nível piezométrico registou-se nos meses de setembro de 2018, dezembro de 2020 e janeiro de 2021, posicionando-se aos 16,40 m, 16,54 m e 16,51 m de profundidade, respetivamente.

Verifica-se que no mês de janeiro de 2021 o nível piezométrico subiu dos 16,51 m de profundidade para os 15,74 m, possivelmente derivado da precipitação ocorrida nos dias 11, 12 e 13 de janeiro.

Pela análise de toda a série de dados é possível verificar uma ciclicidade no posicionamento do nível freático. Entre os meses de outubro e março verificam-se valores mais elevados do nível piezométrico e entre os meses de abril e setembro um rebaixamento sistemático do nível freático. Não obstante, verifica-se que episódios de maior intensidade de precipitação podem alterar este comportamento.



Figura 22 – Posição do nível freático no furo FSM3 no período compreendido entre o dia 15 de dezembro de 2017 e o dia 16 de fevereiro de 2020.

25

Monitorização de Movimentos de Vertente na Maia, Praia Formosa e Panasco, ilha de Santa Maria. R.2 – Ponto de situação e apresentação de resultados da monitorização geodésica, inclinométrica e piezométrica (setembro de 2020 – fevereiro de 2021) DTC 008/IVAR/CIVISA/21

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

No lugar da Maia os resultados apresentados para a Rede Geodésica Permanente demonstram um padrão de deformação espacial heterogéneo na massa de terreno instável. Destaca-se o maior deslocamento planimétrico e altimétrico existente no setor central do movimento de vertente, ao longo do eixo topo-pé do depósito, que poderá estar associado à morfologia côncava do movimento de vertente. Tal facto, promove a acumulação de água por escorrência superficial e concomitantemente o aumento da carga efetiva e da tensão cisalhante neste setor. Importa ainda realçar que a jusante da estrada o deslocamento planimétrico e altimétrico aumenta com a proximidade à crista da arriba, sendo máximo no ponto de monitorização P1 com 0,625 m e -0,678 m, respetivamente. Tal constatação é justificada pela ação erosiva do mar no pé do movimento de vertente que potencia uma maior deformação da massa instabilizada neste setor.

Ao longo dos trabalhos de campo realizados, tem-se verificado a evolução das evidências de deformação no terreno em concordância com os resultados da monitorização cinemática.

Os resultados obtidos com base na Rede de Monitorização Periódica Inclinométrica permitiram identificar a superfície de rotura do movimento de vertente entre os 18,0 m e os 18,5 m de profundidade no furo FSM1 e entre os 15,5 m e os 16,0 m de profundidade no furo FSM2.

Desde o início da monitorização inclinométrica, em outubro de 2017, o deslocamento acumulado máximo da massa instabilizada é de 7,0 mm e 9,8 mm, aos 7,0 m e 1,0 m de profundidade, nos furos FSM1 e FSM2, respetivamente. Relativamente ao deslocamento acumulado da massa instabilizada sobre o material subjacente (estável), é de 5,2 mm e 6,3 mm nos furos FSM1 e FSM2, respetivamente. A diminuição da deformação com a aproximação ao plano de rotura é causada pelo atrito do material instabilizado sobre o material subjacente.

De forma geral, a velocidade de deformação ao longo do perfil vertical do terreno é relativamente homogénea no furo FSM1 e tendencialmente decrescente com o aumento da profundidade no furo FSM2.

Relativamente às medições efetuadas com recurso ao piezómetro de Casagrande instalado no furo FSM3, embora a série temporal de dados seja ainda estatisticamente pouco representativa, os



resultados obtidos demonstram existir uma forte correlação entre os meses mais secos do ano e o maior rebaixamento do nível piezométrico registado.

Para a Rede Geodésica Periódica da Praia Formosa, com base nos dados de monitorização e nas evidências de deformação, conclui-se que os setores instáveis 1 e 5, identificados por Pacheco *et al.* (2013), apresentam deslocamento devendo ser considerados como instáveis, bem como todos os outros locais onde os pontos de monitorização apresentam deslocamento.

Na Rede Geodésica Periódica do Panasco, verifica-se o deslocamento dos pontos de monitorização concordante com as evidências de deformação observadas no terreno, e o aumento da sua velocidade de deformação relativamente ao período a que se refere o último relatório (Marques e Silva, 2020).

No decorrer das missões à ilha de Santa Maria, para além das medições efetuadas no âmbito dos trabalhos de monitorização, têm sido realizadas ações de prevenção e correção em todas as redes de monitorização abrangidas pelo projeto. Importa salientar que o CIVISA tem contado com a colaboração dos SASM, que muito têm contribuído para a manutenção preventiva destas redes de monitorização.

27

Monitorização de Movimentos de Vertente na Maia, Praia Formosa e Panasco, ilha de Santa Maria. R.2 – Ponto de situação e apresentação de resultados da monitorização geodésica, inclinométrica e piezométrica (setembro de 2020 – fevereiro de 2021) DTC 008/IVAR/CIVISA/21



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MARQUES, R., AMARAL, P. e QUEIROZ, G. (2010) Movimentos de vertente registados nas zonas da Maia, Praia Formosa e Panasco, ilha de Santa Maria: caracterização, medidas de prevenção e sistemas de monitorização. Documento técnico-científico DTC 005/CVARG/CIVISA/2010. 22 p.
- MARQUES, R., AMARAL, P. e GASPAR, J.L (2011) Especificações para a implementação de uma rede de monitorização geodésica permanente na Maia (estação total), ilha de Santa Maria. Documento técnicocientífico DTC 002/CVARG/CIVISA/2011. 10 p.
- MARQUES, R., PACHECO, P. e GASPAR, J.L (2013) Ponto de situação relativo à rede de monitorização geodésica permanente da Maia e propostas para as redes de monitorização geodésica periódicas da Praia Formosa e Panasco (Santa Maria). Documento técnico-científico DTC 003/CVARG/CIVISA/2013. 19 p.
- MARQUES, R., PACHECO, P. e GASPAR, J.L (2014) *Relatório de síntese (2012/2014) referente às redes de monitorização geodésica implementadas na Maia, Praia Formosa e Panasco (ilha de Santa Maria).* Documento técnico-científico DTC 025/CVARG/CIVISA/2014. 16 p.
- MARQUES, R., SILVA, R.F. e PACHECO, P. (2018) Nota técnica sobre o impacte promovido pelas obras de reabilitação da Estrada Municipal da Malbusca na rede de monitorização. Documento técnicocientífico DTC 008/IVAR/CIVISA/18. 12 p.
- MARQUES, R. e SILVA, R.F. (2020) Monitorização de movimentos de vertente na Maia, Praia Formosa e Panasco (Ilha de Santa Maria). R.1 – Ponto de situação e apresentação dos resultados da monitorização geodésica, inclinométrica e piezométrica (julho de 2020 – agosto de 2020). Documento técnico-científico DTC 016/IVAR/CIVISA/20. 33 p.
- PACHECO, P., MARQUES, R., AMARAL, P., GASPAR, J.L, MALHEIRO, A. (2013) Avaliação dos processos de instabilidade geomofológica que afectaram o lugar da Praia Formosa e a estrada da Malbusca (ilha de Santa Maria). Documento técnico-científico DTC 004/CVARG/CIVISA/2013. 27 p.