

**ACOMPANHAMENTO DA MONITORIZAÇÃO A MOVIMENTOS DE
VERTENTE NA MAIA, PRAIA FORMOSA E PANASCO ATRAVÉS DE
EQUIPAMENTOS GEODÉSICO, INCLINOMÉTRICO E
PIEZOMÉTRICO, ILHA DE SANTA MARIA – PROJETO
AZMONIRISK – MONITORIZAÇÃO DE ZONAS DE RISCO DOS
AÇORES**

**R.1 – Descrição da evolução das massas instabilizadas, com base
nos dados recolhidos desde a implementação dos sistemas de
monitorização**

R. Marques e R.F. Silva

DTC 001/IVAR/CIVISA/24



ÍNDICE

1 – INTRODUÇÃO.....	1
2 – REDES DE MONITORIZAÇÃO.....	4
2.1 – Redes de Monitorização Geodésica.....	5
2.1.1 – Rede de Monitorização Geodésica Permanente da Maia.....	5
2.1.2 – Rede de Monitorização Geodésica Periódica da Praia Formosa e Panasco.....	7
2.2 – Rede de Monitorização Inclinométrica Periódica da Maia.....	7
2.3 – Rede de Monitorização Piezométrica Permanente da Maia.....	10
3 – ANOMALIAS REGISTADAS NAS REDES DE MONITORIZAÇÃO PERMANENTES.....	13
3.1 – Rede de Monitorização Geodésica Permanente da Maia.....	13
3.2 – Rede de Monitorização Piezométrica Permanente da Maia.....	13
4 – CAMPANHAS DE MONITORIZAÇÃO PERIÓDICAS.....	14
4.1 – Redes de Monitorização Geodésica Periódicas da Praia Formosa e do Panasco.....	14
4.2 – Rede de Monitorização Inclinométrica Periódica da Maia.....	14
5 – RESULTADOS DA MONITORIZAÇÃO.....	15
5.1 – Redes de Monitorização Geodésica.....	15
5.1.1 – Rede de Monitorização Geodésica Permanente da Maia.....	15
5.2 – Rede de Monitorização Inclinométrica Periódica da Maia.....	19
5.3 – Rede de Monitorização Piezométrica Permanente da Maia.....	21
6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	24
7 – RECOMENDAÇÕES.....	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27



1 – INTRODUÇÃO

O presente documento técnico-científico foi elaborado conforme estipulado pelo contrato n.º 22/SRAAC/2023, celebrado entre a Direção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos – atual Secretaria Regional do Ambiente e Ação Climática (DROTRH-SRAAC), da Região Autónoma dos Açores, e o Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA), no âmbito do procedimento por ajuste direto para a aquisição de serviços de “Acompanhamento da monitorização a movimentos de vertente na Maia, Praia Formosa e Panasco através de equipamentos geodésico, inclinométrico e piezométrico, ilha de Santa Maria - projeto AZMONIRISK - Monitorizações de Zonas de Risco dos Açores”.

1

O documento corresponde ao primeiro relatório (R.1) da prestação de serviços mencionada, contendo um ponto de situação e a apresentação dos resultados das diferentes técnicas de monitorização aplicadas sobre as massas de terreno instabilizadas da Maia, Praia Formosa e Panasco. A localização e a cartografia dessas áreas são detalhadas nas figuras 1 a 4. O relatório abrange o período entre 17 de janeiro 2024 e 16 de março de 2024, em conformidade com o definido na alínea a), do número 3, da Cláusula Segunda do Contrato. Mais se informa que, no período entre o fim do último contrato celebrado e o início do presente contrato, o CIVISA manteve operacionais as redes de monitorização da Maia.

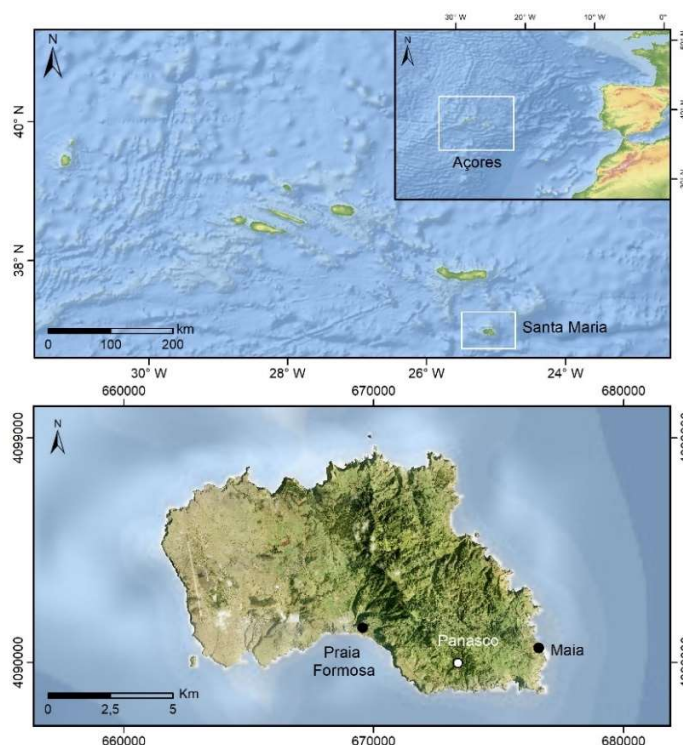
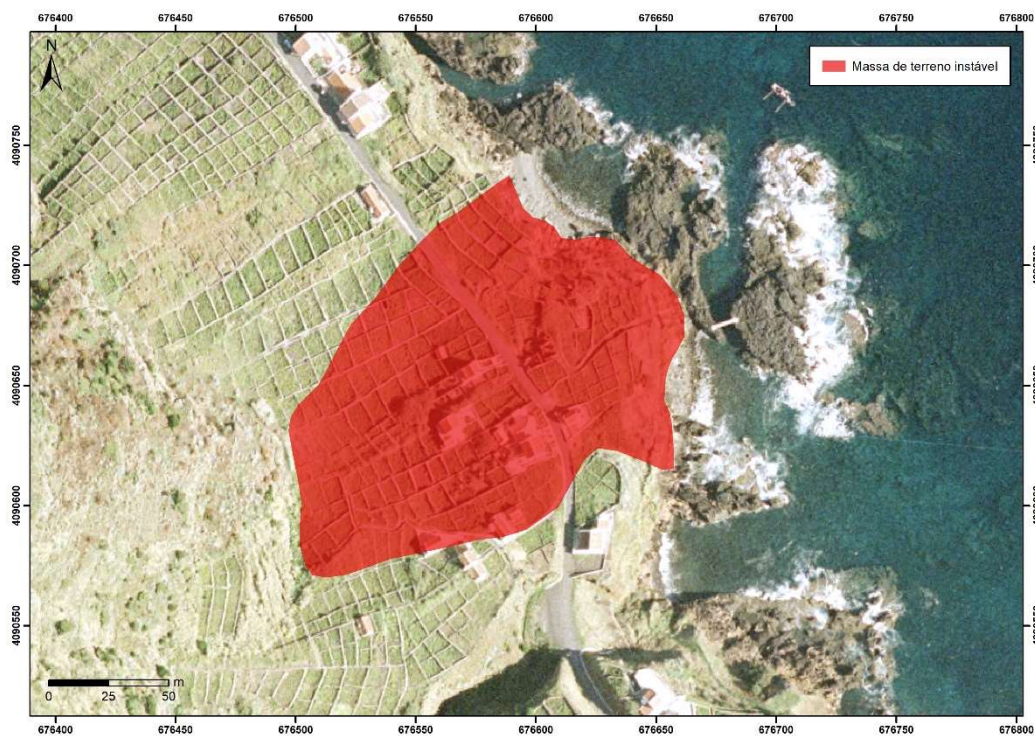


Figura 1 – Localização das áreas de estudo na ilha de Santa Maria.



2

Figura 2 – Localização da massa de terreno instabilizada na Maia, abrangida pelas redes de monitorização.



Figura 3 – Localização das massas de terreno instabilizadas na Praia Formosa, abrangidas pelas redes de monitorização.



Figura 4 – Localização da cicatriz da massa de terreno instabilizada no Panasco, abrangida pelas redes de monitorização.



2 – REDES DE MONITORIZAÇÃO

O CIVISA, em colaboração com a Direção Regional do Ordenamento do Território e Recursos Hídricos da atual Secretaria Regional do Ambiente e Ação Climática (DROTRH-SRAAC), desenvolveu um programa de monitorização geodésica com recurso a estação total, para avaliar a deformação superficial do terreno em alguns locais da ilha de Santa Maria. A seleção desses 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), assim como o impacte desses fenómenos em vias de comunicação, habitações e outras infraestruturas.

A 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; Pacheco *et al.*, 2013; Marques e Silva, 2019), para a qual contribuiu o conhecimento de campo dos técnicos do atual Serviço de Ambiente e Alterações Climáticas de Santa Maria (SAAC-SMA), que neles participaram.

Devido à cinemática do movimento de vertente na Maia, a monitorização desta massa de terreno instabilizada foi complementada com duas técnicas adicionais de monitorização. Em setembro de 2017, foi instalada uma rede inclinométrica, que permite o acompanhamento da deformação em profundidade do terreno, 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.

As redes de monitorização são designadas neste documento conforme a técnica de monitorização utilizada, 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.



2.1 – Redes de Monitorização Geodésica

2.1.1 – Rede de Monitorização Geodésica Permanente da Maia

A rede de monitorização geodésica permanente implementada no lugar da Maia (Fig. 5), descrita em pormenor por Marques *et al.* (2014), operou com uma periodicidade de aquisição de dados regular de 3 horas, durante o período a que se refere o presente documento. Os dados foram transmitidos para as instalações do CIVISA através de um ponto de acesso ADSL, dedicado exclusivamente a este fim.

5

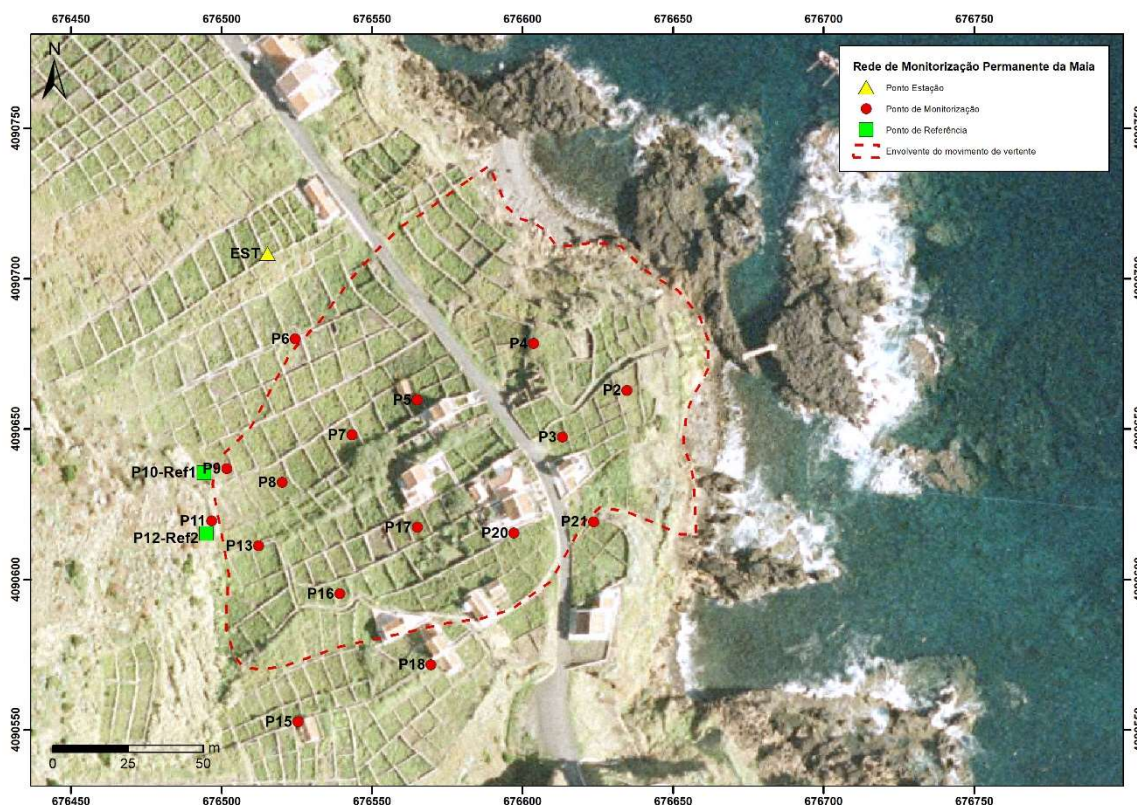


Figura 5 – Configuração da Rede de Monitorização Geodésica Permanente da Maia.

A rede de monitorização é composta por:

- Um (1) Ponto Estação, equipado com uma Estação Total de alta precisão *Leica TM30*, que inclui o sistema *ATR (Automatic Target Recognition)*, e sensores de temperatura e de pressão, para correção automática das observações. Este ponto está localizado permanentemente num abrigo especialmente construído para o efeito (Fig. 6);

- Dois (2) Pontos de Referência (pontos de monitorização/controlo), fixados em locais considerados estáveis (e.g. maciços rochosos) (Fig. 7a);
- Dezassete (17) Pontos Objeto (pontos de monitorização), implementados tanto em estruturas construídas para o efeito (pilares em betão), como em estruturas pré-existentes no terreno (e.g. casas e muros) (Fig. 7b).

Todos os pontos de referência e monitorização estão equipados com prismas *Leica GPR112* com uma pala de proteção ambiental.



Figura 6 – Aspeto geral do ponto estação da rede de monitorização geodésica instalado no abrigo da Maia e dos restantes equipamentos de alimentação, controle e armazenamento de dados.

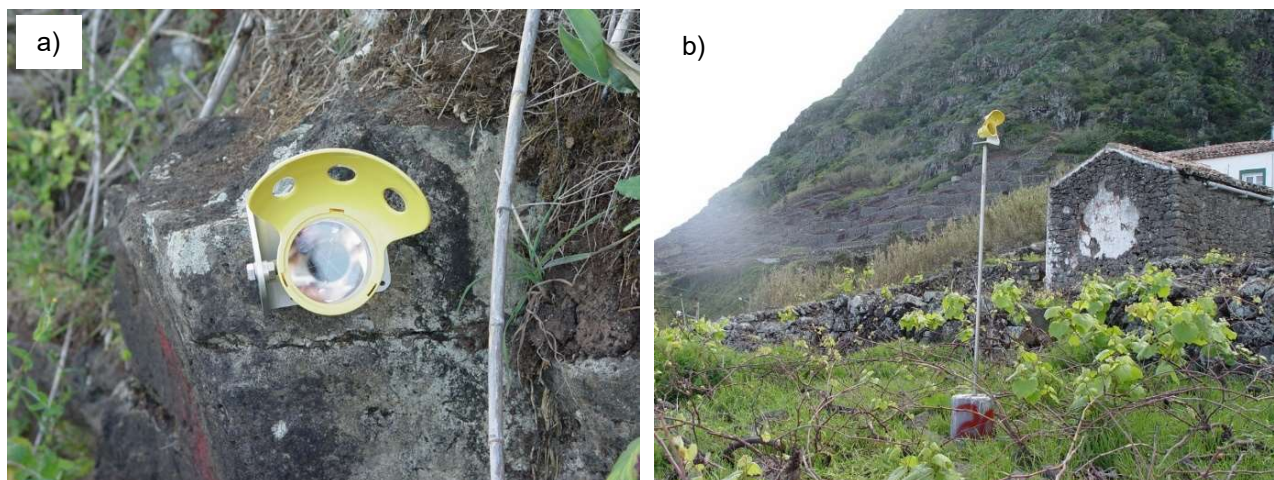


Figura 7 - a) Exemplo de um ponto de referência instalado sobre maciço rochoso *in situ*; b) exemplo de um ponto de monitorização instalado sobre maciço de betão armado.

A Rede de Monitorização Geodésica Permanente da Maia é gerida através do *software Leica GeoMoS* (versão 5.3). Este software é composto por duas extensões distintas: i) a extensão *GeoMoS Monitor*, que está 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*, que se encontra instalada num computador na sede do CIVISA, em Ponta Delgada, que possibilita efetuar a gestão e consulta da base de dados, a visualização dos resultados e a definição de alertas e alarmes.

2.1.2 – Rede de Monitorização Geodésica Periódica da Praia Formosa e Panasco

Devido às ações de requalificação em curso nas Redes de Monitorização Geodésica Periódica da Praia Formosa e do Panasco, este relatório não abordará as respetivas arquiteturas. A apresentação detalhada destas será efetuada no relatório subsequente.

2.2 – Rede de Monitorização Inclinométrica Periódica da Maia

A rede de monitorização inclinométrica, situada na área do movimento de vertente, localizada no lugar da Maia, é constituída por dois furos de sondagem, FSM1 e FSM2, com profundidades de 21,1 m e 20,05 m, respetivamente (Fig. 8). Nestes furos foi instalada calha inclinométrica da *RST Instruments*. Cada secção da calha inclinométrica tem um comprimento fixo de 1,5 m e um diâmetro de 70 mm.



As bases das calhas inclinométricas nos furos FSM1 e FSM2 alcançam os 19,10 m e os 19,40 m de profundidade, respetivamente. Ao longo da sua extensão, ambos os furos atravessam depósitos de vertente provenientes do desmonte da arriba fóssil que lhes é sobranceira, intercetando, na base, uma escoada lávica submarina de natureza basáltica (s.l.), a uma profundidade de 18,35 m no FSM1 e 17,55 m no FSM2.

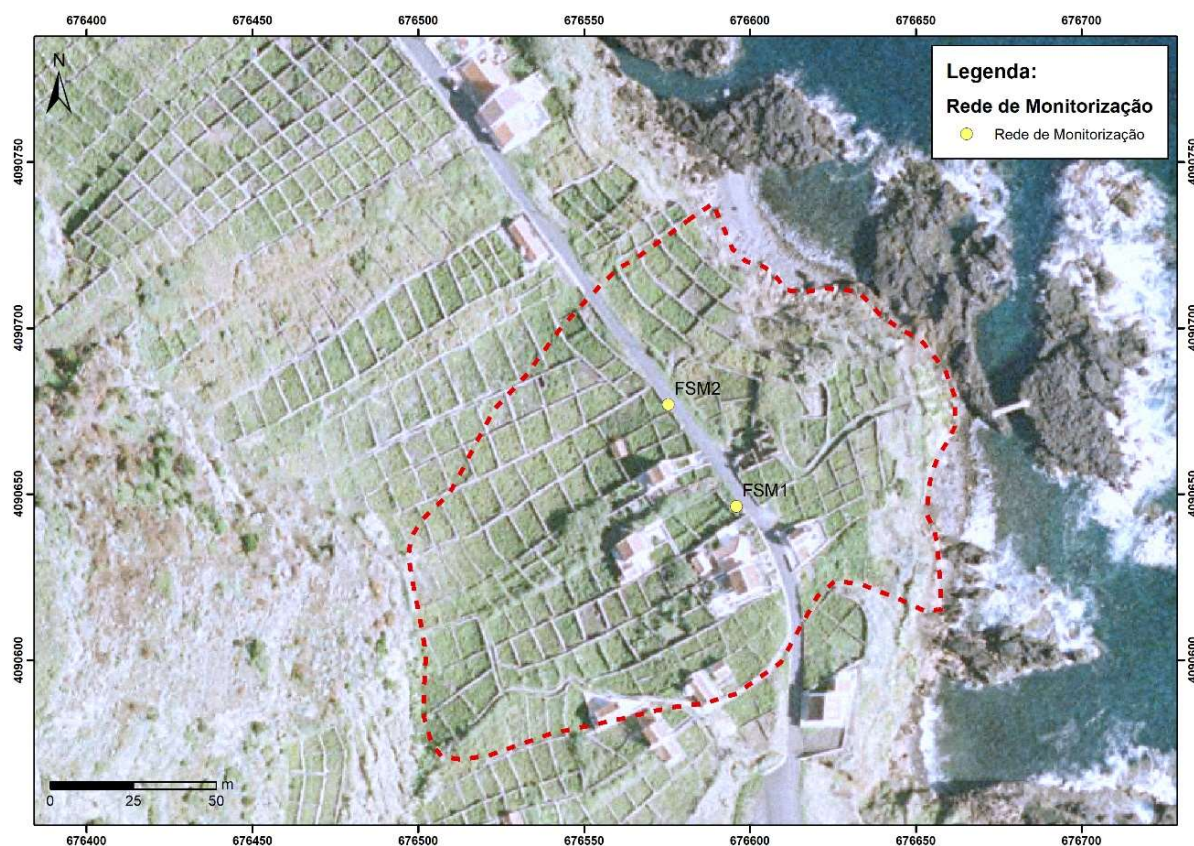


Figura 8 - Configuração da Rede de Monitorização Inclinométrica Periódica da Maia.

A base das calhas inclinométricas encontra-se selada e, no seu topo, foi colocada uma tampa de proteção, que protege o interior da calha da entrada de detritos. Para assegurar a proteção das calhas inclinométricas, foi construído um nicho em betão, coberto com uma tampa de ferro (Fig. 9).



Figura 9 – Exemplo de um nicho de proteção de furo de sondagem onde foi colocada calha inclinométrica (FSM2; Fig. 11).

A aquisição de dados nesta rede é efetuada com uma periodicidade quinzenal, estando dependente das condições meteorológicas e pela disponibilidade dos SAAC-SMA, sempre que a equipa do CIVISA não se encontre na ilha de Santa Maria. O procedimento de recolha de dados utiliza o sistema inclinométrico IC32005 da *RST Instruments* (Fig. 10), sendo os dados armazenados no computador de campo, posteriormente acedidos e transferidos pelos SAAC-SMA e, finalmente, enviados ao CIVISA via e-mail, após cada campanha de monitorização.



Figura 10 – Equipamento *DIGITAL MEMS INCLINOMETER SYSTEM*, desenvolvido pela empresa *RST Instruments*.



2.3 – Rede de Monitorização Piezométrica Permanente da Maia

A rede de monitorização piezométrica é composta por três (3) piezómetros de Corda Vibrante VW2100A-0.35 (da *RST Instruments*) e um (1) piezómetro de Casagrande, instalados em três (3) furos de sondagem, FSM1, FSM2 e FSM3, com profundidades de 21,10 m, 20,05 m e 18,00 m, respetivamente (Fig. 11).

No furo FSM1 encontra-se instalado um (1) piezómetro de Corda Vibrante a uma profundidade de 15,10 m, que está acoplado à calha inclinométrica existente neste furo. Similarmente, no furo FSM2 encontra-se instalado um (1) piezómetro de Corda Vibrante, instalado a 15,48 m de profundidade, acoplado à calha inclinométrica existente neste furo. No furo FSM3, encontram-se instalados um (1) piezómetro de Corda Vibrante e um (1) piezómetro de Casagrande a profundidades de 16,10 m e 16,40 m, respetivamente (Fig. 11).

10

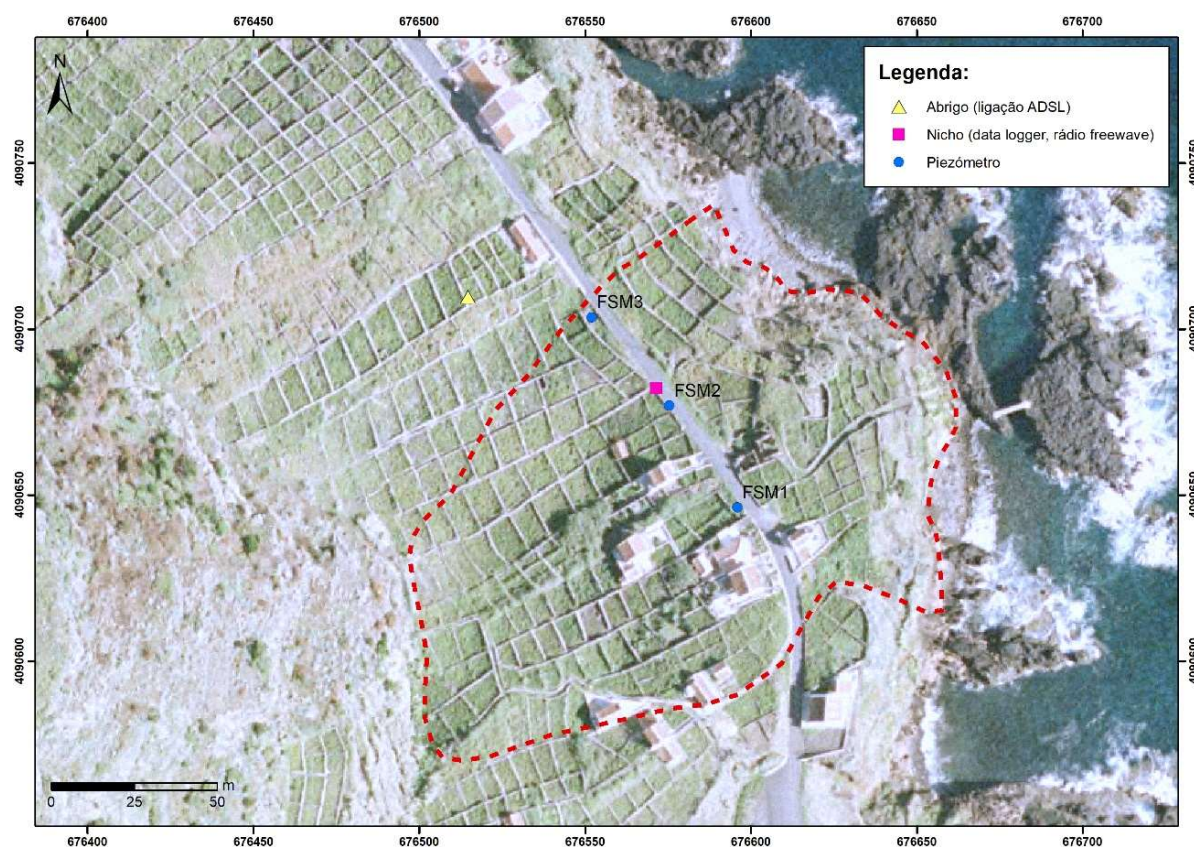


Figura 11 - Configuração da Rede de Monitorização Piezométrica Permanente da Maia.



O furo de sondagem FSM3 atravessa, ao longo da sua extensão, depósitos de vertente, provenientes do desmonte da arriba fóssil que lhes é sobranceira. No topo deste furo, foi contruído um nicho e colocada uma tampa de ferro (Fig. 12).



11

Figura 12 – Nicho de proteção do furo de sondagem FSM3, onde foram colocados um piezómetro de corda vibrante e um piezómetro de Casagrande.

Os piezómetros de Corda Vibrante estão conectados fisicamente a um *data logger* (Campbell, modelo CR6), que efetua o registo das respetivas leituras com uma periodicidade de 10 minutos. O *data logger* encontra-se num nicho de betão, construído especificamente para o efeito, e é alimentado através de energia solar (1 painel de 60 W) (Fig. 13). Os dados armazenados neste local são transmitidos via rádio, utilizando tecnologia ponto a ponto por *freewave*, até ao abrigo onde se localiza o Ponto Estação da Rede de Monitorização Geodésica Permanente da Maia. Os dados são recebidos nas instalações do CIVISA através de uma ligação ADSL, partilhada pelas duas redes de monitorização.



Figura 13 – Nicho de proteção dos sistemas de aquisição, transmissão e alimentação da Rede Piezométrica Permanente da Maia.

A gestão da aquisição, do armazenamento e da transmissão de dados é realizada com recurso ao *software Logger Net*, versão 4.1, da *Campbell Scientific*.



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 relatório, apenas se verificaram falhas pontuais na medição automática de alguns pontos de monitorização. Estas falhas foram causadas por condições meteorológicas adversas e/ou da obstrução da linha de vista entre o instrumento de medição e os prismas, em resultado do crescimento da vegetação.

13

3.2 – Rede de Monitorização Piezométrica Permanente da Maia

Ao longo do período de monitorização, a rede de monitorização piezométrica não conseguiu adquirir dados devido a uma avaria no painel solar que suporta o sistema de alimentação. Mais informa que já foi adquirido um novo painel solar e a sua instalação será efetuada aquando da próxima missão à ilha de Santa Maria.



4 – CAMPANHAS DE MONITORIZAÇÃO PERIÓDICAS

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

No período a que se refere o presente documento, não foram efetuadas missões de monitorização nas redes geodésicas periódicas da Praia Formosa e do Panasco.

4.2 – Rede de Monitorização Inclinométrica Periódica da Maia

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

- 30 de janeiro de 2024;
- 17 de fevereiro de 2024;
- 7 de março de 2024.

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



5 – RESULTADOS DA MONITORIZAÇÃO

5.1 – Redes de Monitorização Geodésica

A aquisição de dados da Rede de Monitorização Permanente da Maia é efetuada com uma periodicidade de 3 horas, utilizando uma Estação Total *Leica*, modelo TM30. Em contraste, nas redes de monitorização geodésica periódicas, a aquisição de dados é feita com uma periodicidade aproximada de 2 meses por uma equipa do CIVISA, com recurso a uma Estação Total *Trimble* S5.

15

5.1.1 – Rede de Monitorização Geodésica Permanente da Maia

Os resultados apresentados na figura 14 referem-se à Rede de Monitorização Permanente da Maia e mostram os vetores de deformação planimétrica para cada ponto de monitorização que apresentou um deslocamento superior a 0,002 m, considerando o período entre 16 de março de 2012 e 15 de março de 2024. Na figura 15 são apresentados os resultados do deslocamento altimétrico para o mesmo período.

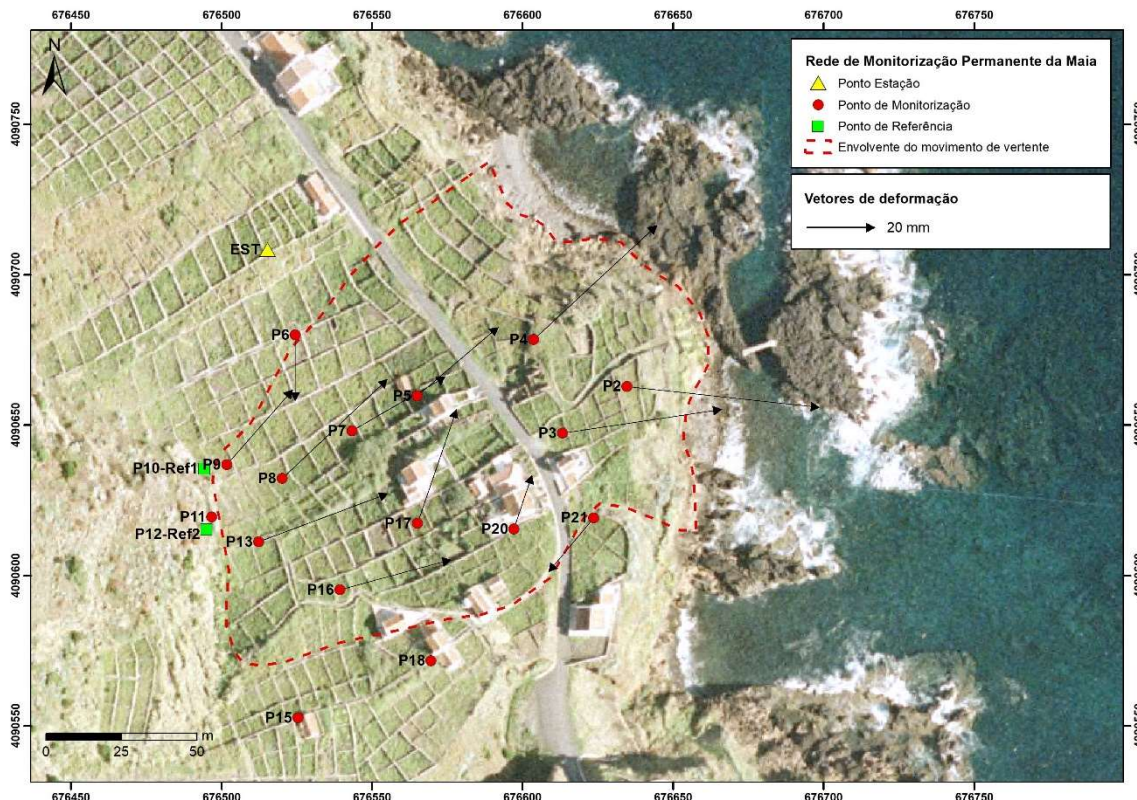


Figura 14 - Vetores de deslocamento planimétrico, considerando o período compreendido entre 16 de março de 2012 e 15 de março de 2024.



Pela análise da figura 14, constata-se a persistência de um padrão de deformação espacial heterogéneo da massa de terreno instável, corroborando as primeiras observações realizadas por Marques *et al.* (2014). Este comportamento idiossincrático deve-se tanto ao volume significativo de material mobilizado quanto à complexidade da topografia do terreno que, em conjunto, condicionam a dinâmica do movimento de vertente.

Verifica-se, de forma geral, que a massa de terreno instável tende a deslocar-se predominantemente na direção NE, ou seja, em concordância com o sentido descendente do terreno. Contudo, emerge uma peculiaridade dos pontos de monitorização P6 e P21, cujos vetores de deslocamento apresentam uma direção contrária à maioria dos restantes pontos de monitorização. Esta anomalia sugere um movimento por tombamento das estruturas nas quais os prismas de monitorização estão acoplados, refletindo uma resposta singular na envolvente do movimento de vertente.

Em particular, na área situada a montante da estrada, nota-se um deslocamento mais acentuado no setor central da massa de terreno instabilizada, com destaque para os pontos P8, P13 e P17, os quais registaram deslocamentos de 0,047 m, 0,046 m e 0,041 m, respetivamente. Esta tendência indica uma área de atividade mais significativa que merece atenção especial para futuras análises e intervenções. Por outro lado, na zona localizada a jusante da estrada, o deslocamento intensifica-se com a maior proximidade à crista da arriba, atingindo os 0,063 m, 0,054 m e 0,056 m nos pontos P2, P3 e P4, respetivamente. Este padrão sugere uma correlação direta entre a proximidade à crista da arriba e a velocidade de deformação do terreno.

Para uma compreensão mais detalhada e abrangente, na tabela 1 apresentam-se os deslocamentos para todos os pontos dentro da massa instável e na sua envolvente, nas componentes N e E, bem como o deslocamento planimétrico, medidos no dia 15 de março de 2024.



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

Ponto de monitorização	Deslocamento N (m)	Deslocamento E (m)	Deslocamento planimétrico (m)
2	-0,007	0,063	0,063
3	0,008	0,054	0,054
4	0,038	0,041	0,056
5	0,023	0,027	0,036
6	-0,022	-0,001	0,022
7	0,018	0,031	0,036
8	0,033	0,034	0,047
9	0,025	0,022	0,034
11	-0,002	0,000	0,003
13	0,016	0,043	0,046
16	0,009	0,037	0,038
17	0,038	0,014	0,041
20	0,017	0,006	0,018
21	-0,019	-0,014	0,024

A análise da deformação altimétrica (Fig. 15) revela um abatimento generalizado na massa de terreno instável, com os pontos de monitorização que apresentam maior deslocamento localizados ao longo do eixo central topo-pé do depósito. Este padrão está em concordância com a topografia do terreno, em particular, com a zona mais côncava do terreno que favorece a acumulação de água por escorrência superficial, evidenciando uma relação direta entre a morfologia do terreno e os padrões de deformação observados. No setor a montante da estrada é evidente um abatimento mais pronunciado na zona central da massa instável, destacando-se os pontos P13, P8 e P7 por registarem um abatimento de 0,023 m, 0,020 m e 0,012 m, respetivamente.

Conforme já descrito por Marques *et al.* (2014), o movimento de vertente observado na área de estudo exhibe uma natureza de deformação permanente, cuja dinâmica reflete a influência do regime de precipitação e o efeito de outros parâmetros atmosféricos (e.g. temperatura e humidade). Esta interação complexa resulta em variações na velocidade de deformação ao longo do tempo, com 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.

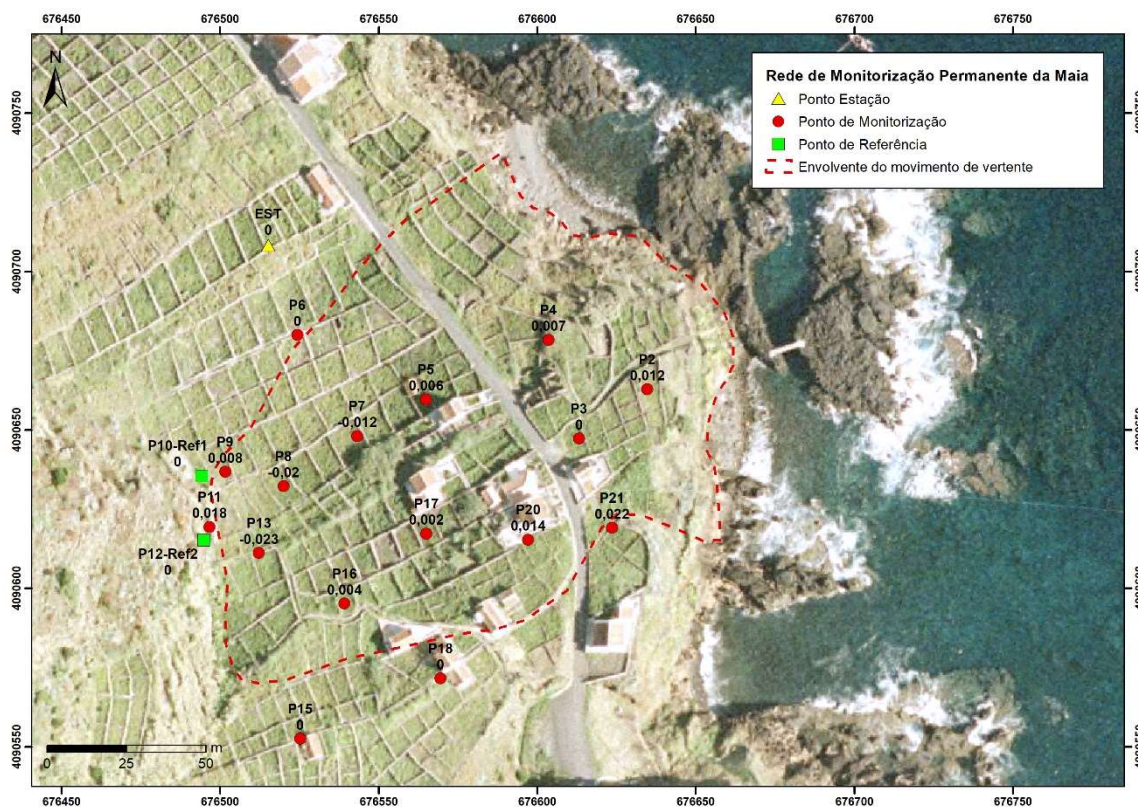


Figura 15 - Resultados do deslocamento altimétrico, considerando o período compreendido entre 16 de março de 2012 e 15 de março de 2024.



5.2 – Rede de Monitorização Inclínométrica Periódica da Maia

Os dados recolhidos pela Rede de Monitorização Inclínométrica Periódica da Maia são processados utilizando o software *Inclinalysis*, versão 2.47.5, da *RST Instruments*. Os resultados da monitorização para os furos FSM1 e FSM2, compreendendo o período entre 26 de outubro de 2017 e 7 de março de 2024, são apresentados nas figuras 16 e 17, respetivamente.

Com base nos resultados apresentados na figura 16, verifica-se que o deslocamento acumulado em profundidade no furo FSM1 denota alguma homogeneidade ao longo do período considerado. Mais especificamente, no eixo de medição alinhado com a direção de deslocamento da massa de terreno instabilizada, o deslocamento acumulado medido entre os 0,5 m e os 17,5 m de profundidade varia entre 26,0 mm e 30,5 mm. Verifica-se que entre 7,0 m e 16,0 m de profundidade o deslocamento acumulado se mantém consistente com cerca de 30,0 mm. Este perfil sugere que a superfície de rotura subjacente ao movimento de vertente possa estar situada aproximadamente entre 18,0 m e 18,5 m de profundidade.

Relativamente ao furo FSM2, conforme demonstrado na figura 17, verifica-se que a velocidade de deformação em profundidade apresenta-se relativamente uniforme em todo o perfil medido até à campanha de monitorização 21, realizada no dia 27 de agosto de 2018. No entanto, a partir da campanha de monitorização 22, e até à última campanha realizada, constata-se que a deformação neste local diminui de forma expressiva com o aumento da profundidade, sendo aproximadamente 33,0 mm junto à superfície e 25,5 mm a 15,50 m de profundidade. Abaixo dos 16,0 m de profundidade a deformação é praticamente inexistente, o que permite inferir que a superfície de rotura se encontra entre os 15,5 m e 16,0 m de profundidade.

Analisando as figuras 16 e 17, é possível identificar vários incrementos do deslocamento nos furos ao longo do programa de monitorização, que coincidem com períodos de precipitação acumulada mais elevados. Em outubro de 2023, foi observado o maior impulso de deformação em profundidade desde o início do programa de monitorização, desencadeado pela precipitação registada nos dias 1 e 14 de outubro. Neste contexto, os furos FSM1 e FSM2 registaram um deslocamento máximo de 8 mm e 9 mm, respetivamente, evidenciando a sensibilidade do terreno às condições meteorológicas e reforçando a importância de uma monitorização contínua.

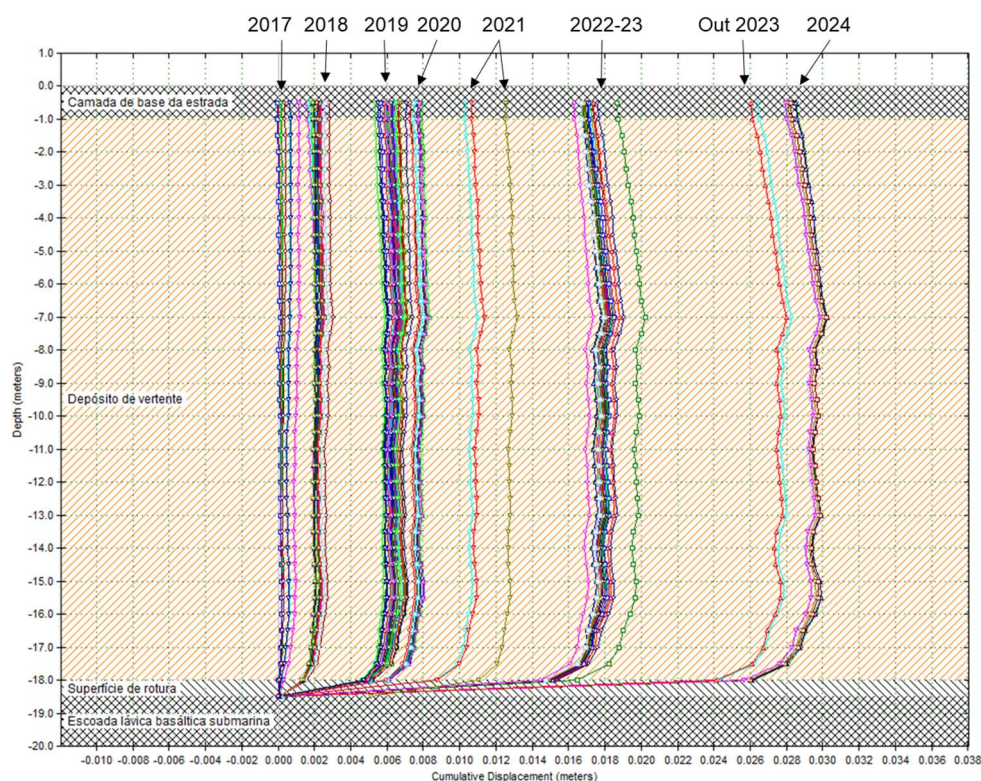


Figura 16 – Deslocamento acumulado para o furo FSM1 com intervalo de medição de 0,50 m, orientado paralelamente ao sentido da deslocação.

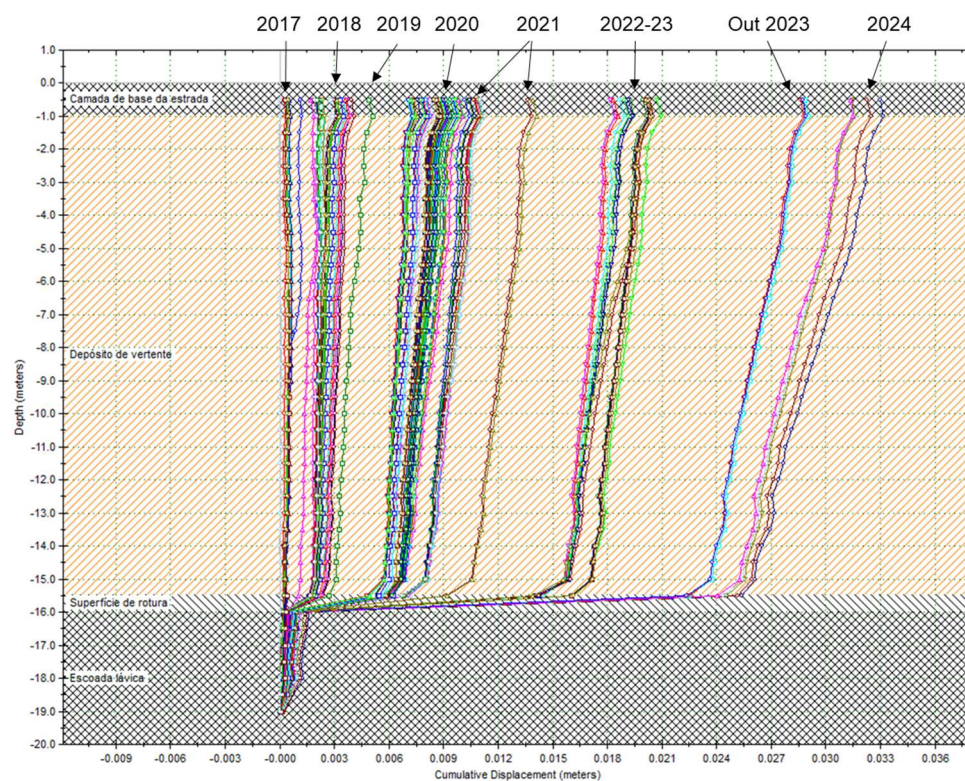


Figura 17 – Deslocamento acumulado para o furo FSM2 com intervalo de medição de 0,50 m, orientado paralelamente ao sentido da deslocação.



5.3 – Rede de Monitorização Piezométrica Permanente da Maia

Para a análise dos dados recolhidos pela Rede de Monitorização Piezométrica Permanente da Maia, foi utilizado o software Microsoft Excel, aplicando fórmulas específicas de correção desenvolvidas pela *RST Instruments*. Estas correções são essenciais para assegurar a precisão e a fiabilidade dos resultados obtidos, especialmente no que diz respeito às medições da pressão intersticial.

Os resultados desta monitorização estão ilustrados na figura 18, que compila os dados da pressão intersticial medidos pelos piezómetros de corda vibrante, situados nos furos FSM1 e FSM2. Paralelamente, são apresentados os dados de precipitação diária, obtidos através da Estação Meteorológica Automática da Maia, uma infraestrutura gerida pela DROTRH-SRAAC.

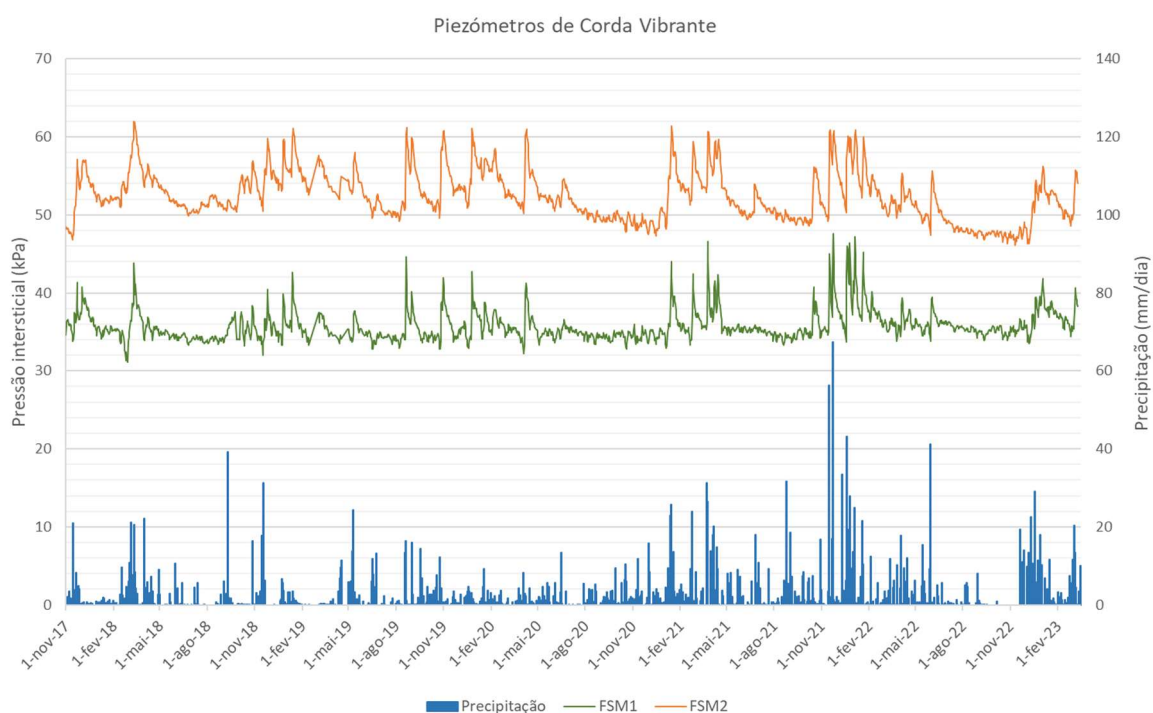


Figura 18 – Comportamento da pressão intersticial para os furos FSM1 e FSM2 para o período compreendido entre 1 de novembro de 2017 e 13 de março de 2023.

É possível observar, pela análise detalhada da figura 18, uma consistência no comportamento das variações da pressão intersticial nos piezómetros situados nos furos FSM1 e FSM2. A relação entre estas variações e os dados de precipitação diária revela que, até ao término do ano de 2020, as



alterações na pressão intersticial não pareciam ser diretamente influenciadas por variações imediatas na precipitação. Isso sugere que as variações estavam mais associadas a processos de acumulação de água no solo decorrentes de períodos de precipitação prolongados.

No entanto, a partir de 2021, observa-se um aumento significativo no volume de precipitação acumulada diariamente em comparação com períodos anteriores. Esse aumento na precipitação parece influenciar a pressão intersticial de maneira mais direta e imediata, especialmente evidente nos períodos de janeiro a março de 2021 e de novembro de 2021 a janeiro de 2022. Destaca-se ainda que as variações da pressão intersticial são também mais expressivas nos meses de maior precipitação, nomeadamente entre setembro e abril.

Adicionalmente, a figura 19 destaca as medições do nível freático no furo FSM3, realizadas com recurso ao piezómetro de Casagrande. Verifica-se que os valores do nível piezométrico mais elevados foram registados nos meses de janeiro de 2022 e janeiro de 2023, alcançando profundidades de 14,52 m e 14,45 m, respetivamente. Notavelmente, o valor mais alto do nível piezométrico desde o início da monitorização foi observado em dezembro de 2023, atingindo 14,05 m de profundidade, um indicativo do impacto da precipitação acumulada durante o outono. Por outro lado, os meses de outubro e novembro de 2022 marcaram os pontos mais baixos de rebaixamento do nível piezométrico, alcançando profundidades de 16,59 m e 16,57 m, respetivamente.

A análise de toda a série de dados indica uma ciclicidade evidente no comportamento do nível freático, com subidas entre outubro e março e rebaixamentos entre abril e setembro. 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, é crucial referir que que episódios de precipitação mais intensa podem alterar esta tendência cíclica, reforçando a importância da monitorização contínua das variações no nível freático.

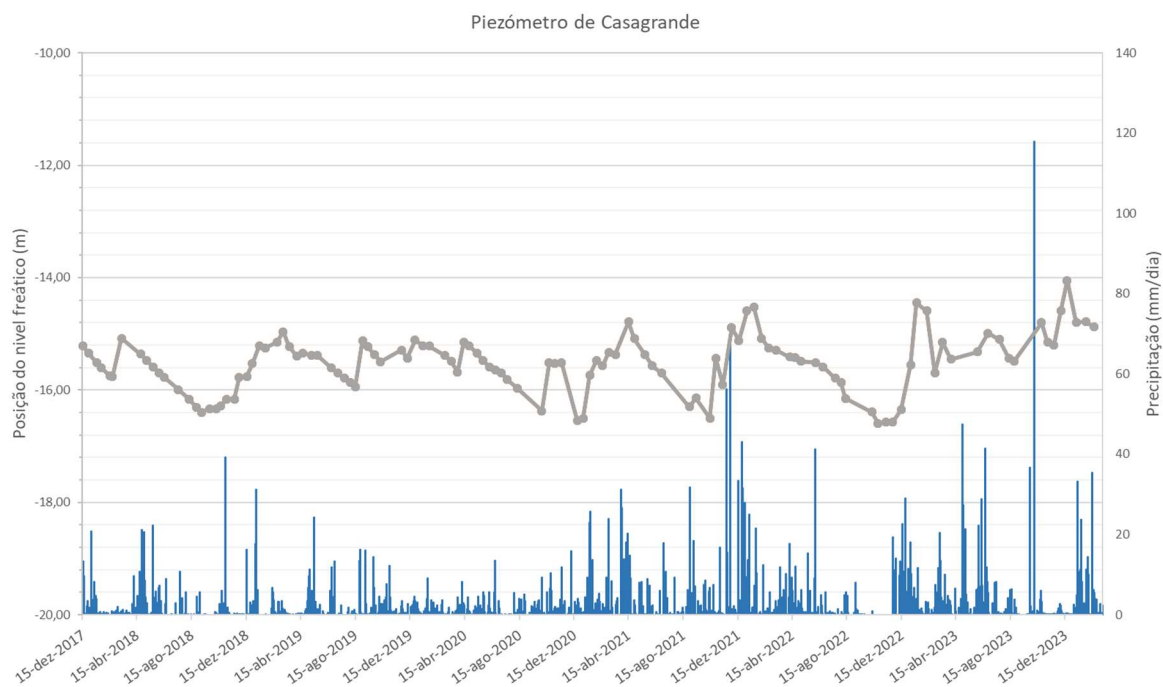


Figura 19 – Posição do nível freático no furo FSM3 no período compreendido entre o dia 15 de dezembro de 2017 e o dia 7 de março de 2024.



6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Relativamente ao lugar da Maia, os resultados apresentados para a Rede Geodésica Permanente evidenciam um padrão de deformação espacial heterogéneo na massa de terreno instável, destacando-se o maior deslocamento planimétrico e altimétrico existente no setor central do movimento de vertente, ao longo do eixo topo-pé do depósito. Esta observação sugere uma correlação com a morfologia côncava do movimento de vertente, que 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, o que se justifica pela ação erosiva do mar no pé do movimento de vertente, que promove uma maior deformação da massa instabilizada neste setor.

Desde o início da monitorização inclinométrica, em outubro de 2017, registou-se um deslocamento acumulado máximo da massa instabilizada de 30,5 mm e 33,0 mm, a 7,0 m e 1,0 m de profundidade, respetivamente nos furos FSM1 e FSM2. O deslocamento acumulado sobre o material subjacente (estável) foi de 26,0 mm e 25,0 mm, respetivamente, para FSM1 e FSM2, indicando uma redução da deformação próxima ao plano de rutura devido ao atrito entre o material instabilizado e o subjacente. A Rede de Monitorização Periódica Inclinométrica possibilitou a identificação da superfície de rutura do movimento de vertente, situando-se 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 no furo FSM2. Em termos gerais, a velocidade de deformação ao longo do perfil vertical mostrou-se relativamente uniforme para o furo FSM1 e decrescente com a profundidade para o furo FSM2. Não se notaram alterações significativas de deslocamento para o período em análise nos furos FSM1 e FSM2.

Relativamente às medições efetuadas com recurso ao piezómetro de Casagrande no furo FSM3, os resultados obtidos indicam uma correlação direta entre os períodos mais secos do ano e o maior rebaixamento do nível piezométrico observado.

Os dados recolhidos pelas redes de monitorização na região da Maia demonstram que a precipitação do outono de 2023 desencadeou uma aceleração na massa de terreno instável, com a rede inclinométrica a registar um deslocamento máximo de aproximadamente 9 mm. Adicionalmente, os indicadores piezométricos sinalizam um aumento súbito no nível freático em



outubro de 2023. A rede geodésica também capturou deslocamentos rápidos em alguns pontos de monitorização, reflexo da precipitação ocorrida nos dias 1 e 14 de outubro.

Relativamente à Rede Geodésica Periódica da Praia Formosa e do Panasco, não foi possível detalhar a arquitetura das redes e os dados da monitorização devido às ações de requalificação em curso, que incluem a implementação de novos pontos de monitorização. No entanto, pelas observações de campo na Praia Formosa, verifica-se que os movimentos de vertente no setor instável 1 apresentam deslocamentos consideráveis ao longo dos anos de 2023 e 2024, causando novos danos em habitações e na estrada regional, à semelhança do ocorrido em anos anteriores (2010, 2013 e 2022).

No decorrer das missões à ilha de Santa Maria, para além das medições efetuadas no âmbito dos trabalhos de monitorização, têm sido realizadas ações preventivas e corretivas em todas as redes de monitorização abrangidas pelo projeto. Importa ainda salientar o papel fundamental dos SAAC, cujo apoio tem sido essencial para a manutenção preventiva destas redes de monitorização.



7 – RECOMENDAÇÕES

Face aos resultados obtidos, o CIVISA recomenda:

- i) Para as áreas abrangidas pela presente prestação de serviços com instabilidade geomorfológica declarada, suportada por evidências de campo ou dados de monitorização, ter em consideração as seguintes orientações em Planos Especiais de Ordenamento do Território (PEOT), Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT) e/ou outros instrumentos de planeamento:
 - a. No lugar da Maia (freguesia de Santo Espírito) impedir nova construção e ampliação de edifícios sobre a massa de terreno instabilizada (Fig. 2) que aumentem a exposição e/ou o risco a movimentos de vertente;
 - b. No lugar da Maia (freguesia de Santo Espírito) para a execução de qualquer obra de reconstrução de edifícios deve ser apresentado um estudo da natureza e condições do terreno, nomeadamente a caracterização geológica e geotécnica do local, adequada a cada caso, que deve ser tida em consideração no projeto, o qual deverá demonstrar inequivocamente as medidas preconizadas para a mitigação do risco e dos impactes dos movimentos de vertente;
 - c. Nos lugares da Praia Formosa (freguesia de Almagreira) e Panasco (freguesia de Santo Espírito) ponderar a interdição de nova construção e ampliação de edifícios sobre as massas de terreno instabilizadas (Fig. 3) que aumentem a exposição e/ou o risco a movimentos de vertente;
 - d. Nos lugares da Praia Formosa (freguesia de Almagreira) e Panasco (freguesia de Santo Espírito) para a execução de qualquer obra de construção (caso seja de admitir), reconstrução e ampliação de edifícios deve ser apresentado um estudo da natureza e condições do terreno, nomeadamente a caracterização geológica e geotécnica do local, adequada a cada caso, que deve ser tida em consideração no projeto, o qual deverá demonstrar inequivocamente as medidas preconizadas para a mitigação do risco e dos impactes dos movimentos de vertente.



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. 22p.
- 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 técnico-científico DTC 002/CVARG/CIVISA/2011. 10p.
- 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. 19p.
- 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. 16p.
- 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 técnico-científico DTC 008/IVAR/CIVISA/18. 12p.
- MARQUES, R. e SILVA, R.F. (2019) – *Acompanhamento dos sistemas de monitorização das instabilidades geomorfológicas identificadas na Maia, Praia Formosa e Panasco (ilha de Santa Maria); R.5 – Ponto de situação da monitorização geodésica, inclinométrica e piezométrica (maio de 2019 - outubro de 2019)*. Documento técnico-científico DTC 013/IVAR/CIVISA/19. 30p.
- 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. 33p.
- SILVA, R.F. e MARQUES, R. (2021) – *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)*. Documento técnico-científico DTC 008/IVAR/CIVISA/21. 30p.
- SILVA, R.F., MARQUES, R. e CABRAL, N. (2021) – *Monitorização de Movimentos de Vertente na Maia, Praia Formosa e Panasco, ilha de Santa Maria. R.3 – Ponto de situação e apresentação de resultados da monitorização geodésica, inclinométrica e piezométrica (março de 2021 – agosto de 2021)*. Documento técnico-científico DTC 024/IVAR/CIVISA/21. 31p.
- SILVA, R.F. e MARQUES, R. (2022) – *Considerações sobre os movimentos de vertente com impacte na Estrada Municipal da Malbusca, edifícios e outras infraestruturas localizadas na Praia Formosa (concelho de Vila do Porto, ilha de Santa Maria)*. Documento técnico-científico DTC 001/IVAR/CIVISA/22. 16p.
- PACHECO, P., MARQUES, R., AMARAL, P., GASPAR, J.L, MALHEIRO, A. (2013) – *Avaliação dos processos de instabilidade geomorfológica 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.