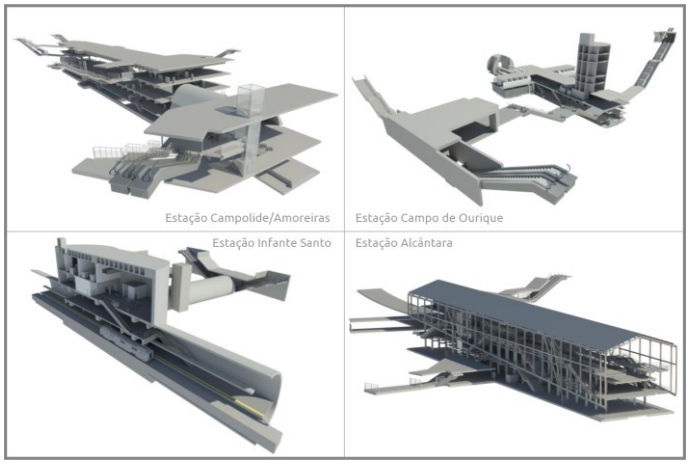
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

PROJETO DE EXECUÇÃO



TOMO I: GERAL

VOLUME 40 – PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO VIADUTO DE ALCÂNTARA MEMÓRIA DESCRITIVA

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS VDT VDA MD 089005 0

	Nome	**Assinatura**	**Data**
Elaborado	Pedro Marques/ Carlos Martins		2024-10-04
Revisto	Rui Tomásio		2024-10-04
Verificado	Sandra Ferreira/ Gonçalo Mateus		2024-10-04
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-04
Aprovado	Raúl Pistone		2024-10-04

Índice

1 OBJETIVO E ÂMBITO 5

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 6

3 GRANDEZAS A MEDIR 8

3.1 Escavações a céu aberto 8
3.2 Edificações 8

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 9

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 10

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 10
5.2 Inclinómetros 10
5.3 Fissurómetros 11
5.4 Células de carga 12
5.5 Sismógrafo 13
5.6 Clinómetro 13
5.7 Estação total robotizada 14

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 15

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 18

7.1 Critérios de alerta e alarme 18

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 19

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 21

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 22

11 ANEXOS 23

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 23
11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência 27

Índice de Figuras

Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação 6
Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções 10
Figura 3 – Inclinómetro 11
Figura 5 – Fissurómetro 12
Figura 6 – Célula de carga em ancoragens 12
Figura 7 – Sismógrafo 13
Figura 8 – Clinómetro 14
Figura 4 – Estação total robotizada 14
Figura 5 – Interface de acesso aos dados de monitorização 19
Figura 6 – Processamento de dados de monitorização 20
Figura 7 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme 20

Índice de Tabelas

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto 16
Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas 17

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Projeto de Execução**, da **Memória Descritiva do Plano de Observação,** desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do **Tomo I – Geral** do **Volume 40 – Plano de Instrumentação e Observação.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça "dinâmica" e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

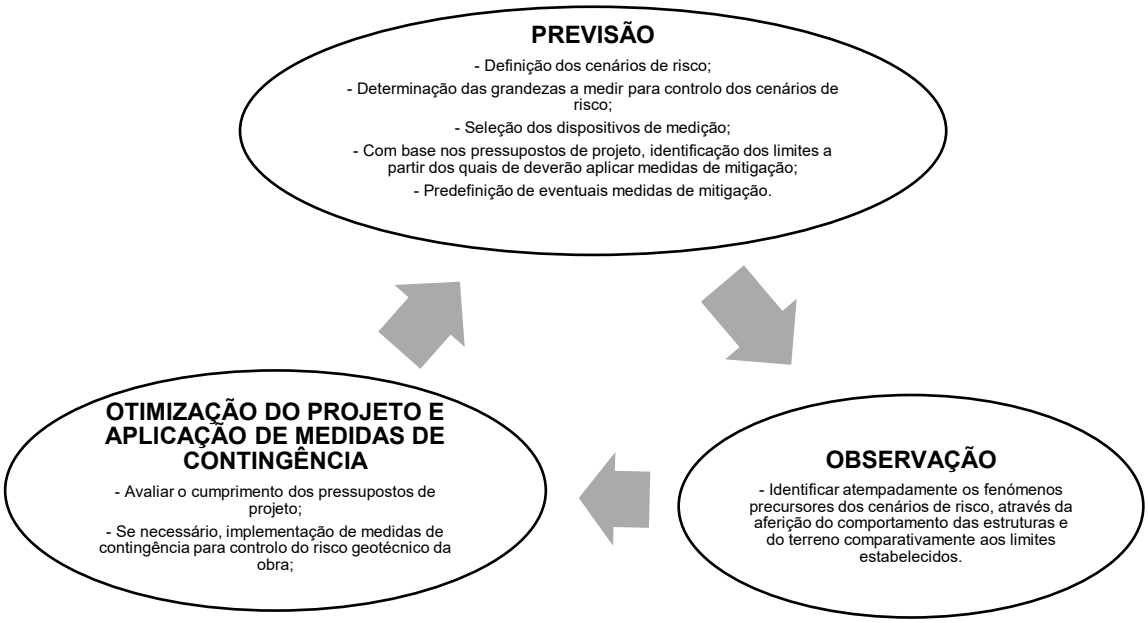


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência. Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada à Obra Especial 5, nomeadamente ao Túnel Zona do Baluarte.

Para cada um destes locais, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
Viaduto de Alcântara (VDT)	X			X						X	X		X	X		X

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros.
- Medição da abertura de fendas em edifícios, utilizando fissurómetros.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições de deslocamentos verticais e horizontais nos pavimentos e carris utilizando prismas de pavimento e de carris.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.

3.1 Escavações a céu aberto

O plano de observação proposto contempla a medição dos deslocamentos, em particular, durante a execução dos trabalhos, à superfície e em profundidade, nomeadamente assentamentos e deslocamentos horizontais. Para este efeito será necessário recorrer à colocação de prismas topográficos e inclinómetros.

3.2 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

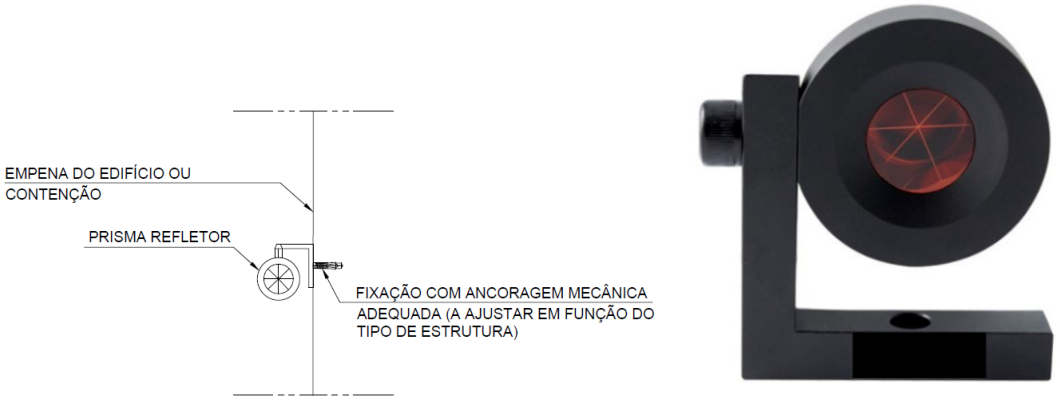


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90°. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

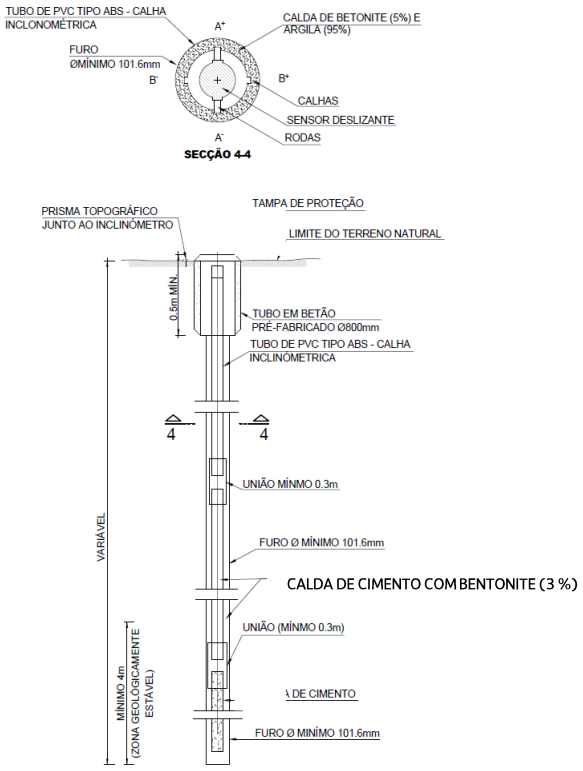


Figura 3 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.3 Fissurómetros

Este tipo de diapositivos permitirá acompanhar a evolução da abertura de uma determinada fissura.

Os fissurómetros a utilizar deverão ser planos e deverão permitir a realização de leituras de deslocamentos na horizontal e na vertical. Será ainda necessário que possuam capacidade resistente adequada às intempéries, devendo ser fixos de forma adequada (mecanicamente).

O seu alcance máximo será, no mínimo de 25 mm, na horizontal e 10 mm na vertical, devendo a sua resolução ser, no mínimo, de 0,1 mm (Figura 4). Para garantir esta resolução será necessário recorrer no ato da medição a uma craveira digital que se acopla ao fissurómetro.

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

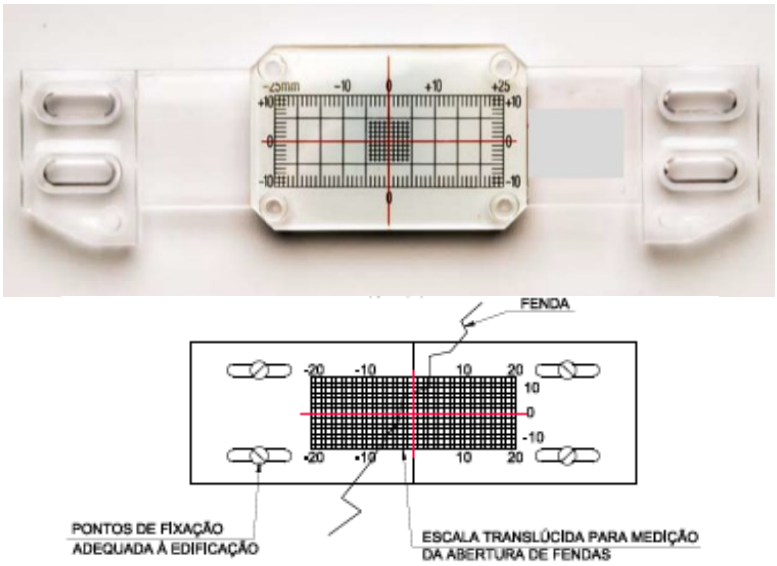


Figura 4 – Fissurómetro

5.4 Células de carga

O recurso a células de carga em ancoragens permitirá o acompanhamento da evolução e magnitude da tração instalada nestes elementos em fase de obra.

As células de carga a adotar nas ancoragens provisórias serão do tipo elétrico.

Em condições normais de leitura, o erro associado a estes dispositivos não deverá ultrapassar os ± 0,1% da capacidade máxima de leitura. A sua capacidade máxima de leitura deverá ser superior aos 1500 kN.

A instalação das células de carga será efetuada antes da realização do ensaio de receção detalhado da ancoragem. As células serão posicionadas sobre a chapa de apoio da ancoragem, sendo posteriormente colocada uma chapa metálica rígida adicional e posteriormente a placa de distribuição das cunhas.

A superfície de contacto com a célula deve estar plana e limpa. A colocação da célula deve ser criteriosa, de forma a que a mesma fique centrada com o eixo da aplicação da carga, evitando-se assim excentricidades, com consequência no rigor das leituras (Figura 5). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

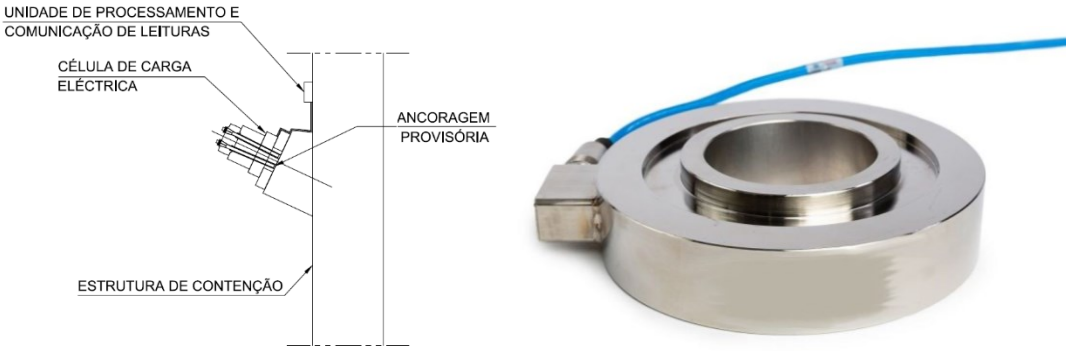


Figura 5 – Célula de carga em ancoragens

5.5 Sismógrafo

Preconiza-se durante a fase de construção o posicionamento de sismógrafos junto às edificações mais vulneráveis. Pretende-se o registo das velocidades e frequências de vibrações eventualmente provocadas pela execução dos trabalhos de construção (Figura 6).

As medições de vibrações serão feitas através de um geofone triaxial com uma capacidade de leitura de 2-250 Hz (janela de calibração mínima 1-160 Hz). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

No caso dos sismógrafos utilizados simultaneamente para a monitorização dos limites de integridade estrutural e de vibrações de incomodidade humana, serão adotados dispositivos com a sensibilidade necessária à monitorização dos respetivos limites (conforme Plano de Monitorização Ambiental).

Figura 6 – Sismógrafo

5.6 Clinómetro

Os clinómetros permitiram a medição da variação de inclinação das paredes dos edifícios. Quando possível, estes fornecerão leituras remotamente, sendo constituídos por bases de leitura em bronze, concebidas para garantir o posicionamento preciso e repetitivo do equipamento de leitura (Figura 7).

As bases de leitura serão fixas de forma mecânica e permanente à estrutura, sendo instaladas diretamente, normalmente na vertical, ou soldadas numa chapa em T, de dimensões adequadas para permitir a sua instalação na horizontal em elementos verticais.

O equipamento de leitura será constituído por sensor instalado num elemento em aço inoxidável, permitindo a realização de leituras nas bases instaladas em superfície verticais ou horizontais, através de uma unidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -30°C e +70°C).

O equipamento de leitura possuirá no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura: ± 15° a partir da vertical
- Resolução: 0,0013°
- Precisão: < 0,06% da capacidade máxima de leitura

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

Figura 7 – Clinómetro

5.7 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5" e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 8).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

Figura 8 – Estação total robotizada

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 11.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 9).

Figura 9 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 10).

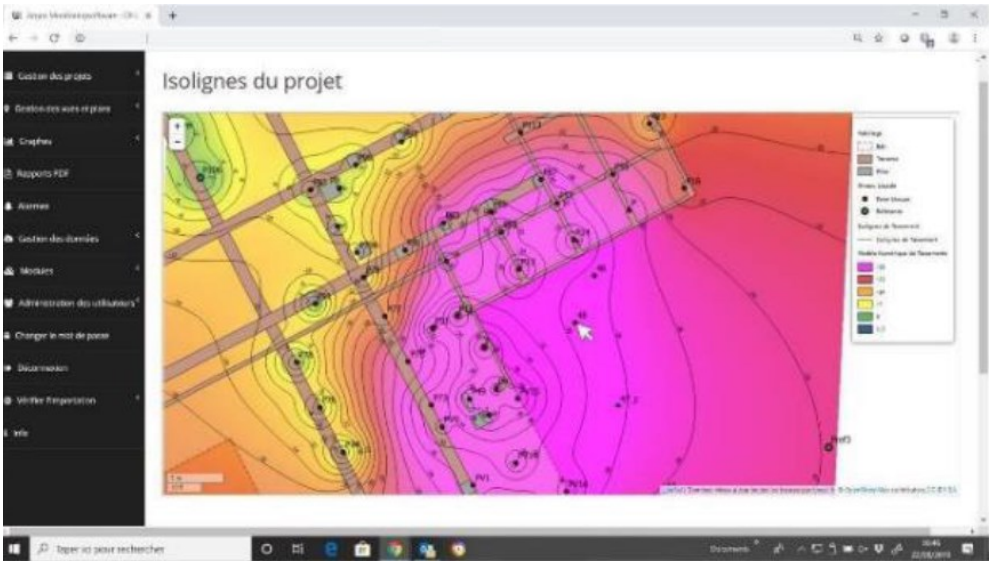


Figura 10 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 11).

Figura 11 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

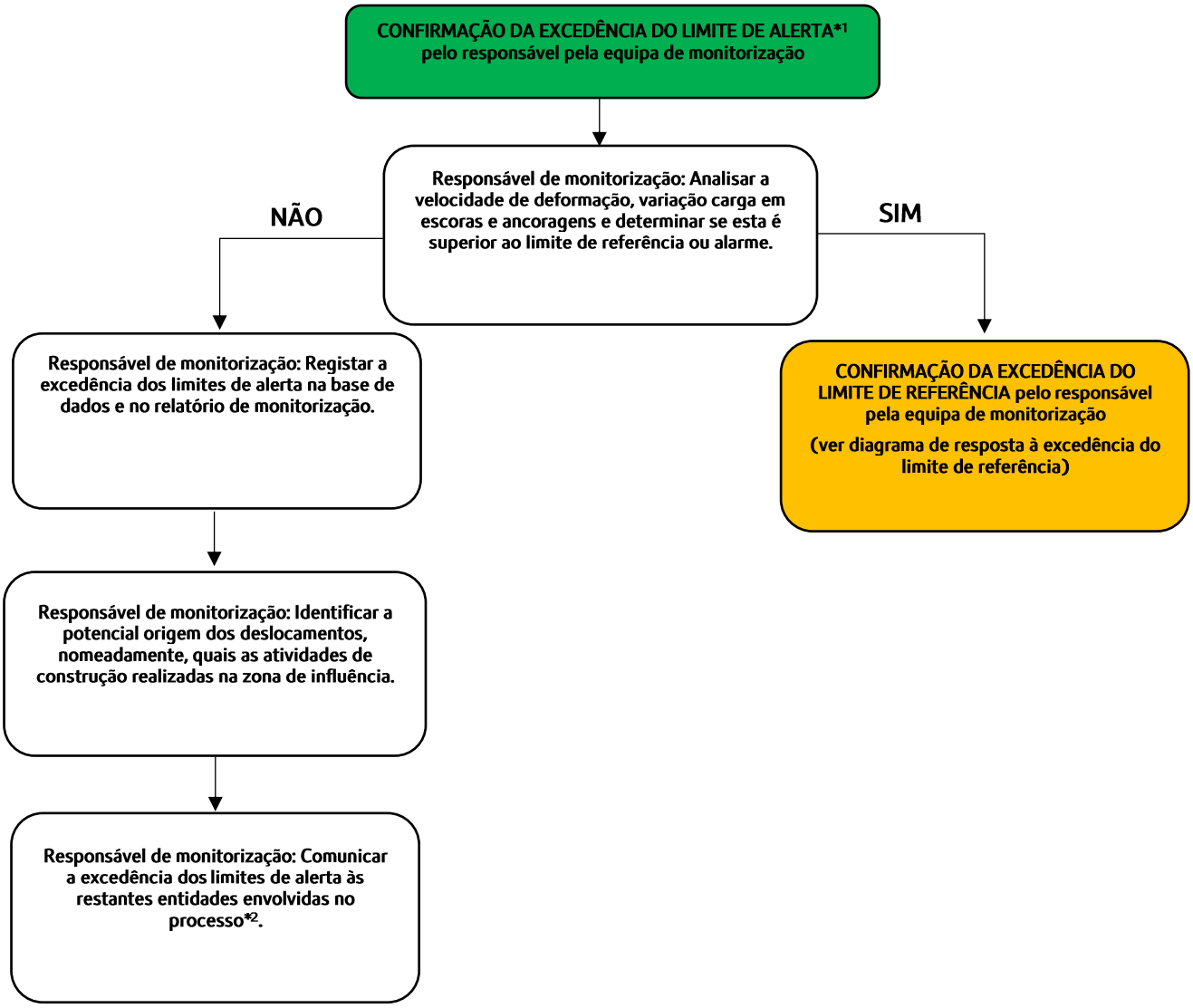
Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 11.2.

11 ANEXOS

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE REFERÊNCIA*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Analisar a velocidade de deformação, variação carga em escoras e ancoragens e determinar se esta é superior ao limite de alarme.

NÃO

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

SIM

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- **Analisar a informação de monitorização;**
- **Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);**
- **Identificar os potenciais cenários de risco;**
- **Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;**
- **Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.**

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de excedência dos limites de alarme*2.

NÃO

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de referência na base de dados e no relatório de monitorização.

SIM

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de referência às restantes entidades envolvidas no processo*2.

NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- Analisar a informação de monitorização;
- Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);
- Identificar os potenciais cenários de risco;
- Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;
- Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- Quadro I – VDT – Escavação a céu aberto

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*3.

No máximo em 24 horas

NOTAS
1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.
2 – As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro I – VDT – Escavação a céu aberto

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Limitação da afluência de água por recalçamento da ficha das cortinas;
- Furos de drenagem/alívio de pressão adicionais no fundo da escavação;
- Instalação de escoras metálicas adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Realização de tratamentos do terreno para redução da percolação de água para o interior da escavação;
- Aterro da escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-04	Emissão Inicial

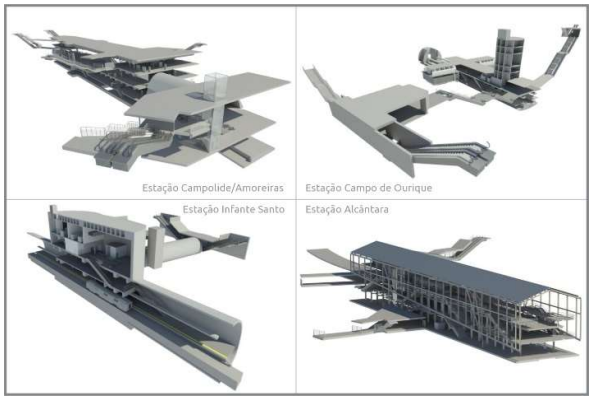
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO

PROJETO DE EXECUÇÃO



TOMO I

VOLUME 40 - PLANO DE OBSERVAÇÃO – T85

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS TUN T85 MD 087001 0

	Nome	**Assinatura**	**Data**
Elaborado	Francisco Bernardo Pedro Nogueira		2024-10-10
Revisto	Sandra Ferreira		2024-10-10
Verificado	Rui Rodrigues		2024-10-10
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-10
Aprovado			

	Nome	**Assinatura**	**Data**
Gestor Projeto	Raúl Pistone		2024-10-10

Índice

1 OBJETIVO E ÂMBITO 4

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 5

3 GRANDEZAS A MEDIR 8

3.1 Escavações subterrâneas 8
3.2 Edificações 9
4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 10

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 10

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 10
5.2 Prisma topográfico para pavimento 11
5.3 Extensómetro multiponto 11
5.4 Inclinómetros 13
5.5 Sensor de nível líquido 15
5.6 Piezómetro elétrico 15
5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC 16
5.8 Piezómetro do tipo Casagrande - câmara simples, dupla ou tripla 17
5.9 Prisma topográfico para carril 18
5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* 19
5.11 Fissurómetros 20
5.12 Células de carga 20
5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas 21
5.14 Sismógrafo 22
5.15 Clinómetro 24
5.16 Prisma topográfico de referência 24
5.17 Estação total robotizada 25
6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 26

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 29

7.1 Critérios de alerta e alarme 29
8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 30

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 32

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 32

11 REQUISITOS PARTICULARES DO SISTEMA DE OBSERVAÇÃO EM INTERFERÊNCIAS 33

11.1 Monitorização de captações de água 33

12 ANEXOS 34

12.1 Anexo A - Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 34

12.2 Anexo B - Medidas de atuação/ plano de contingência 38

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Anteprojeto**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação,** desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo **II** do **Volume 1 – T85.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça ”dinâmica” e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

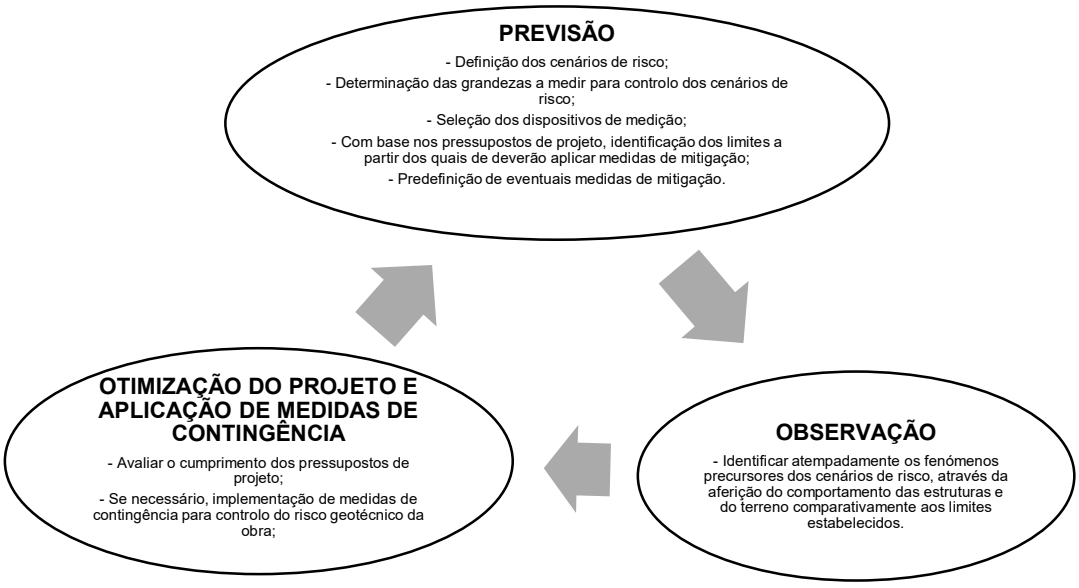


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência. Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada aos túneis NATM, nomeadamente:

- Troço 81, 82, 83, 84 e 85;
- Tímpano de São Sebastião (OE1);
- Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3);
- Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4);
- Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7).

Para cada um destes locais, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
Túnel Troço 81, 82, 83, 84 e 85	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X
Tímpano de São Sebastião (OE1)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7)	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais e convergências no interior de galerias subterrâneas recorrendo a prismas topográficos.
- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros.
- Medição da abertura de fendas em edifícios, utilizando fissurómetros.
- Medições de deslocamentos verticais internos do maciço e à superfície, com extensómetros multiponto.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições de deslocamentos verticais e horizontais nos pavimentos e carris utilizando prismas de pavimento e de carris.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.
- Medições de deslocamentos axiais de elementos estruturais recorrendo a extensómetros (tipo *strain gauges*).
- Medição de deslocamentos de precisão na estrutura interior de edifícios, utilizando sensores de nível liquido.

3.1 Escavações subterrâneas

A avaliação da evolução do comportamento das obras subterrâneas será realizada através do registo dos deslocamentos do terreno e observação de eventuais fissurações no revestimento primário. Para tal serão criadas secções de medição de convergências e deslocamentos, onde serão instalados, em geral, 3 prismas para secções cuja maior dimensão seja menor ou igual a 10 m e 5 prismas para secções com a maior dimensão superior a 10 m. Para a secções com 3 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 1 em cada hasteal, que permitirão para além dos deslocamentos nesses pontos, o controlo de 3 cordas diferentes. Para a secções com 5 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 2 em cada hasteal, acima e abaixo do eixo da galeria, que permitirão o controlo de 6 cordas diferentes.

No terreno e à superfície serão executados extensómetros multiponto, inclinómetros e prismas topográficos no pavimento, em carris e em edifícios.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, para além dos deslocamentos será também avaliada a variação/presença de água através da instalação de piezómetros.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes. Quando necessário, assumem particular destaque aos drenos longitudinais realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

3.2 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

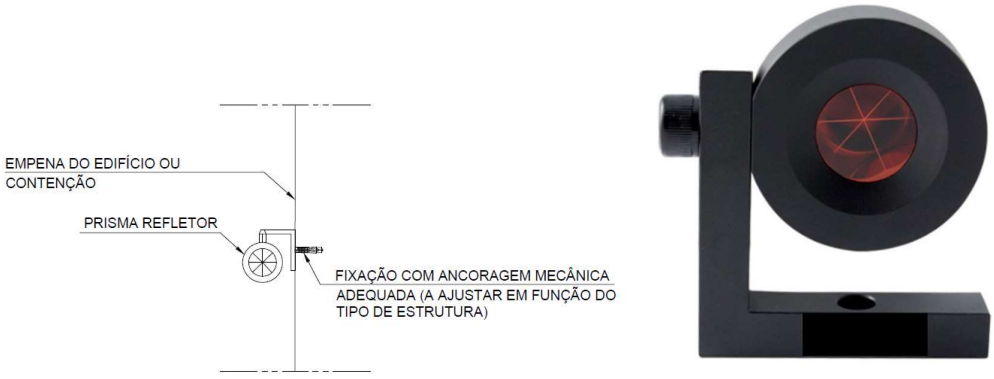


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Prisma topográfico para pavimento

Os prismas topográficos para pavimento consistem num elemento adequadamente fixo ao pavimento com elevada resistência ao tráfego pedonal e rodoviário, materializado por meio de uma placa metálica que permite a realização leituras dos deslocamentos verticais.

As leituras serão efetuadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

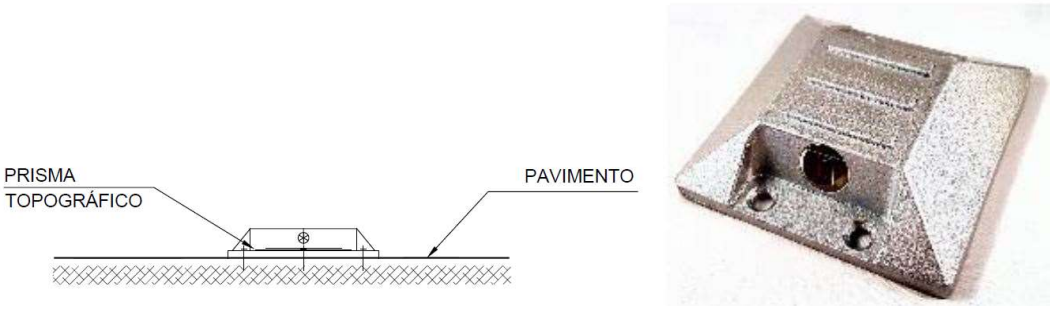


Figura 3 - Prisma topográfico para pavimento

5.3 Extensómetro multiponto

Os extensómetros permitem o controlo dos deslocamentos verticais em profundidade e encontram-se definidos nas seções de monitorização onde também estão previstas medições de deslocamentos e convergências no interior das galerias subterrâneas (Figura 4).

Os extensómetros terão 1 ou 2 ancoragens fixadas a diferentes profundidades. O sensor de deslocamento deverá ser do tipo corda vibrante dotado com sensor de temperatura.

Do conjunto deste dispositivo deverá fazer parte integrante:

- Barras/varas em aço inoxidável ou fibra de vidro

- Ancoragem (injetável com calda de cimento ou tipo *packer*)
- Bainha de encamisamento das barras/varas
- Cabeça de referência do elétrico

O extensómetro será instalado em furo previamente executado de diâmetro, no mínimo, de Ø76 mm (furação destrutiva), que terá um comprimento superior à profundidade de instalação de cerca de 1,00 m.

As cabeças dos extensómetros deverão ser equipadas com um prisma topográfico que permita obter as leituras à superfície. Aos valores das leituras das ancoragens deverão ser adicionados os assentamentos de superfície obtidos através dos prismas.

Os componentes serão montados de acordo às indicações do fabricante e instalados no furo nas cotas previstas função do seu comprimento total. Existirá uma ancoragem na extremidade correspondente à base do furo e uma segunda a 1/3 do seu comprimento total.

Uma vez finalizado o posicionamento do dispositivo, proceder-se-á a sua selagem por meio de calda de cimento.

As cabeças dos extensómetros serão protegidas por caixas com tampas metálicas adequadas.

O dispositivo será de leitura elétrica, o sensor de deslocamento ou transdutor, será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20ºC e +80ºC), possuindo no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura ≥ 100mm
- Precisão < 0,30% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,0066% da capacidade de leitura

O dispositivo será calibrado antes de ser utilizado e as leituras serão realizadas a partir da superfície. Após a realização da medição, os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

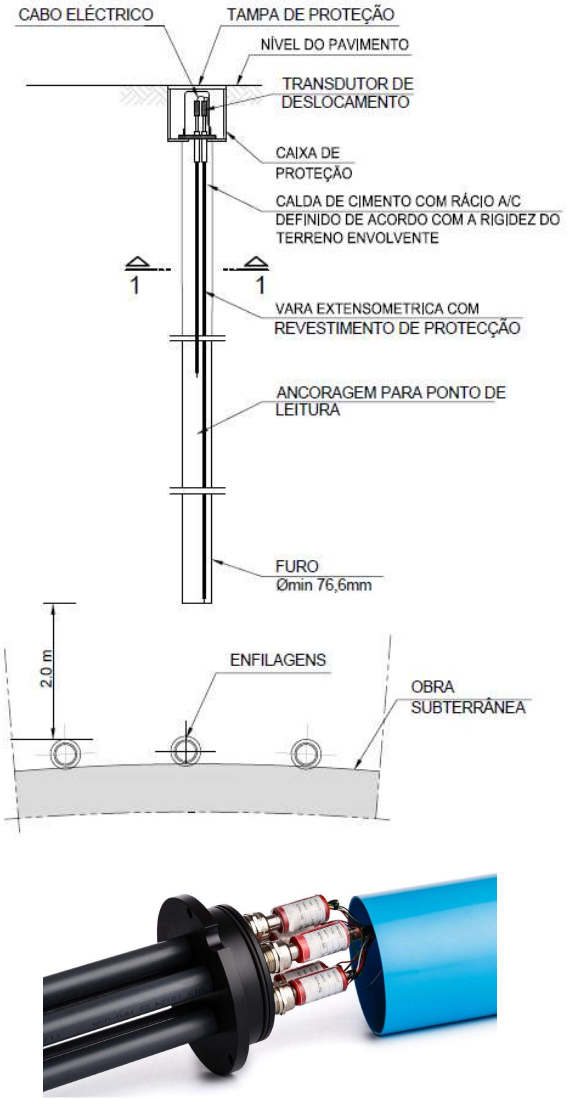


Figura 4 – Extensómetro multiponto

5.4 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90º. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma

escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

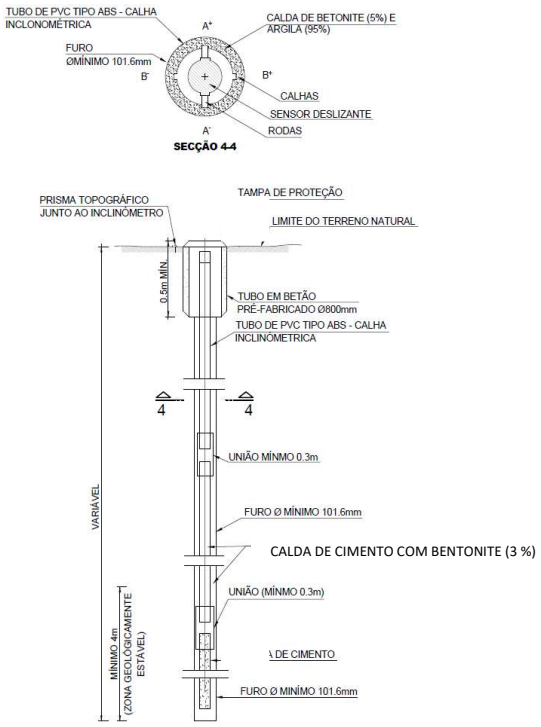


Figura 5 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.5 Sensor de nível líquido

O sensor de nível líquido permite medir deslocamentos diferenciais e totais entre diversos pontos de uma estrutura. É constituído por um conjunto de sensores de elevada precisão que medem continuamente a variação de nível de um líquido num circuito fechado. O conjunto de sensores encontra-se ligado a um depósito que constitui o nível de referência do sistema (Figura 6). Os deslocamentos totais podem ser obtidos através da soma dos deslocamentos diferenciais com os deslocamentos totais do nível de referência, no caso de este último estar sujeito a movimentos.

As leituras serão realizadas automaticamente e enviadas para a base de dados de monitorização.

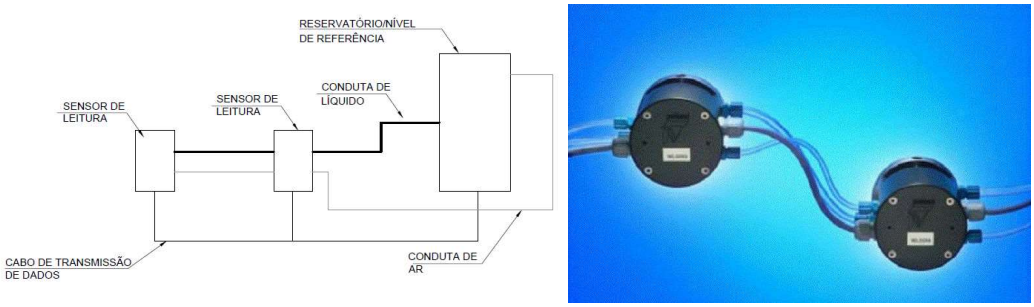


Figura 6 – Sensor de nível líquido

5.6 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 7).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa
- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

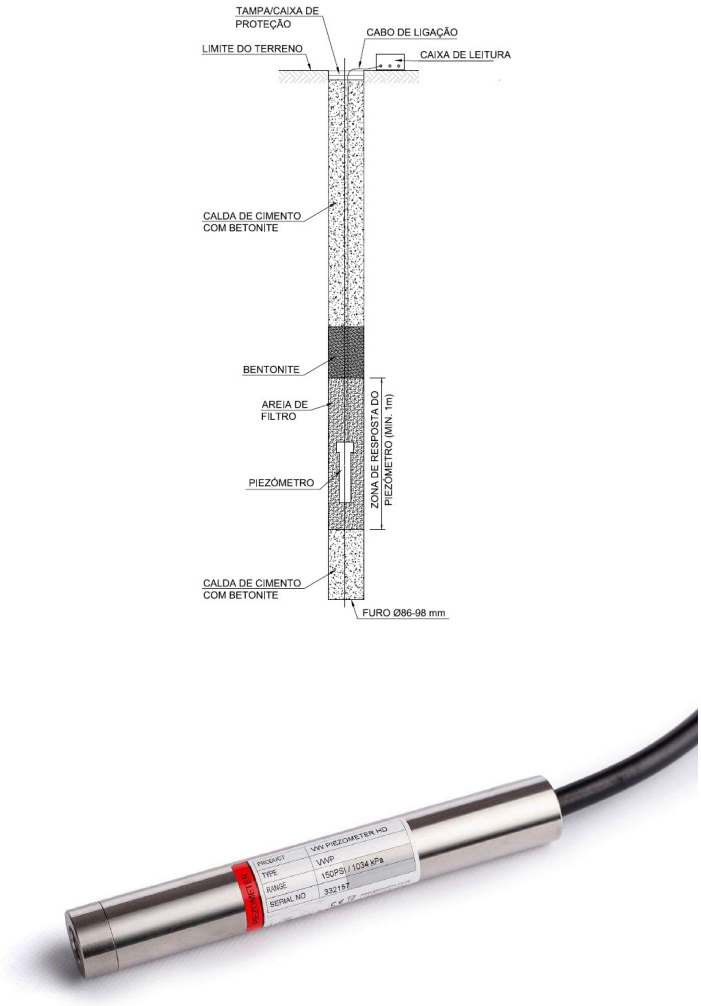


Figura 7 - Piezómetro elétrico com uma câmara

5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC

Os piezómetros com ponteira do tipo LNEC são um tipo de piezómetro recomendado para medição do nível de água em formações de muito baixa permeabilidade, cuja zona de resposta se localiza na extremidade inferior do piezómetro (ponteira) (Figura 8). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

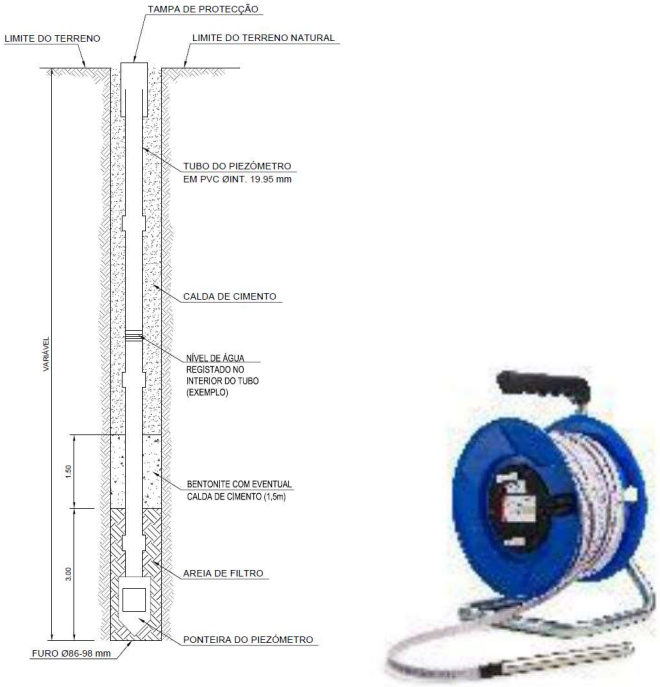


Figura 8 - Piezómetro com ponteira do tipo LNEC

5.8 Piezómetro do tipo Casagrande - câmara simples, dupla ou tripla

Os piezómetros do tipo Casagrande permitem a aferição de aquíferos a diferentes profundidades. São constituídos por troços tubos com 75 mm de diâmetro, solidarizados entre si através de uniões exteriores. Na zona onde se pretende efetuar a leitura do nível piezométrico esses tubos apresentam ranhuras com 4,5mm de espessura sendo a sua zona envolvente preenchida com areia (Figura 9 – piezómetro duplo). O número de tubos ou zonas de resposta dita a sua designação, ou seja de câmara simples – 1 tubo, câmara dupla – 2 tubos ou de câmara tripla – 3 tubos.

Na sua extremidade esses tubos são envoltos com geotêxtil (Figura 9). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

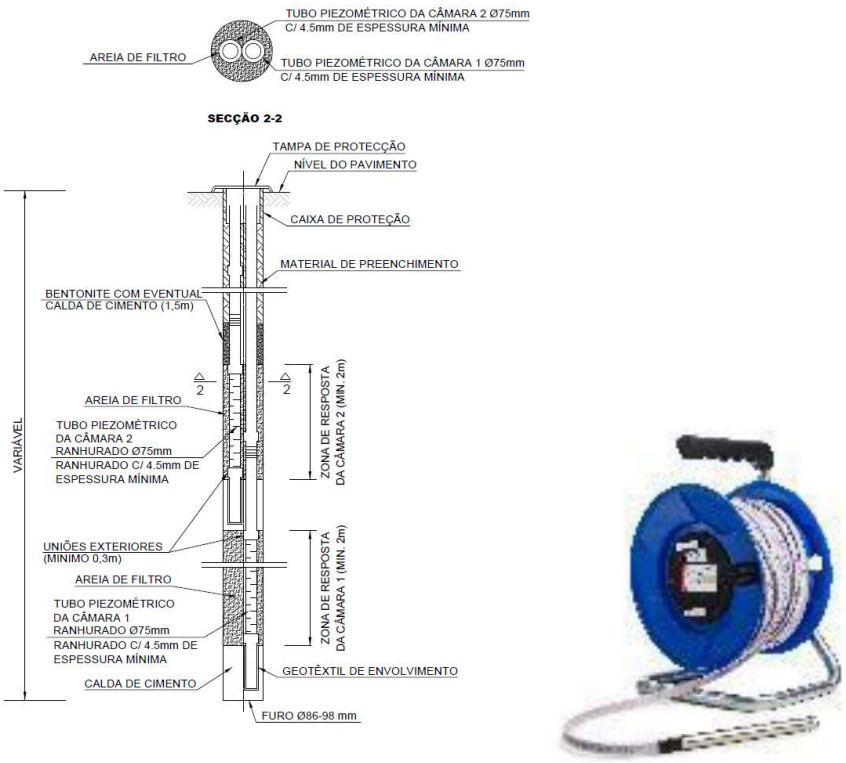


Figura 9 - Piezómetro do tipo Casagrande – Câmara dupla

5.9 Prisma topográfico para carril

Os prismas topográficos para carril, consistem num prisma instalado nas travessas das linhas do comboio da IP (Figura 10) ou num prisma para pavimento fixo entre os carris para as linhas da Carris (Figura 11). Este elementos permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X,Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada.

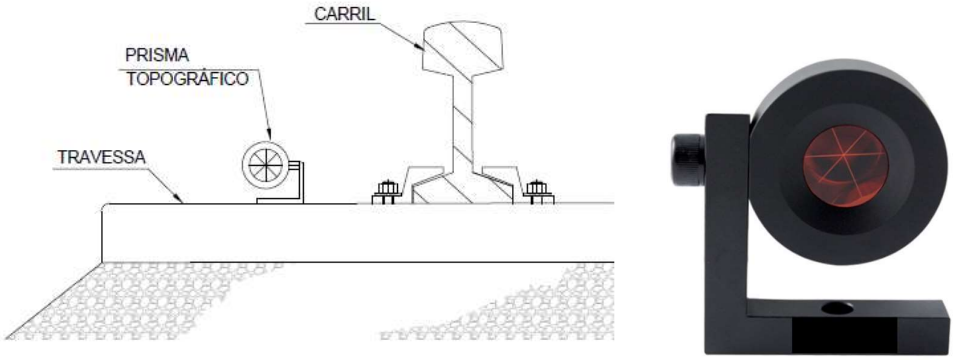


Figura 10 – Prisma topográfico para carril – Linhas IP

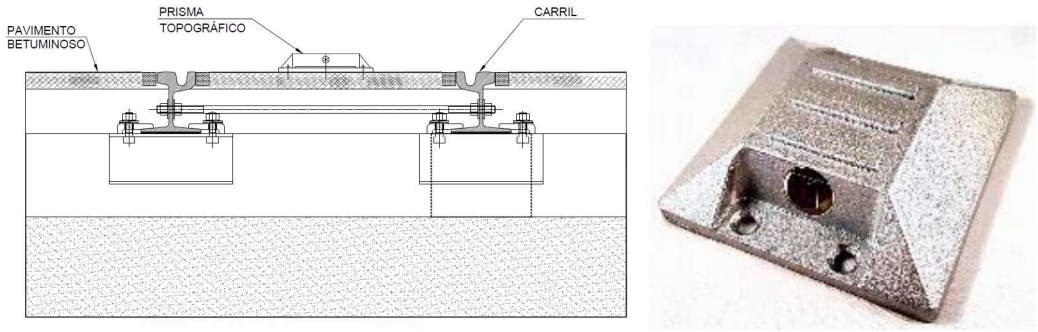


Figura 11 – Prisma topográfico para carril – Linhas Carris

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge*

Os extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* permitem a medição indireta de deslocamentos muito pequenos por intermédio de sensores de corda vibrante que medem a extensão dos elementos estruturais aos quais se encontram ligados através de soldadura (Figura 12). Estes dispositivos serão instalados nas escoras metálicas que constituem a solução de travamento da contenção, permitindo medir a extensão acomodada pelas mesmas e consequentemente a força instalada aquando da execução dos trabalhos de escavação.

Deverão ser utilizados *strain-gauges* de corda vibrante, com campo de leitura não inferior a 3000με, resolução < 1,0με e precisão de ordem inferior a ± 0,5% da capacidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20ºC e +80ºC). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

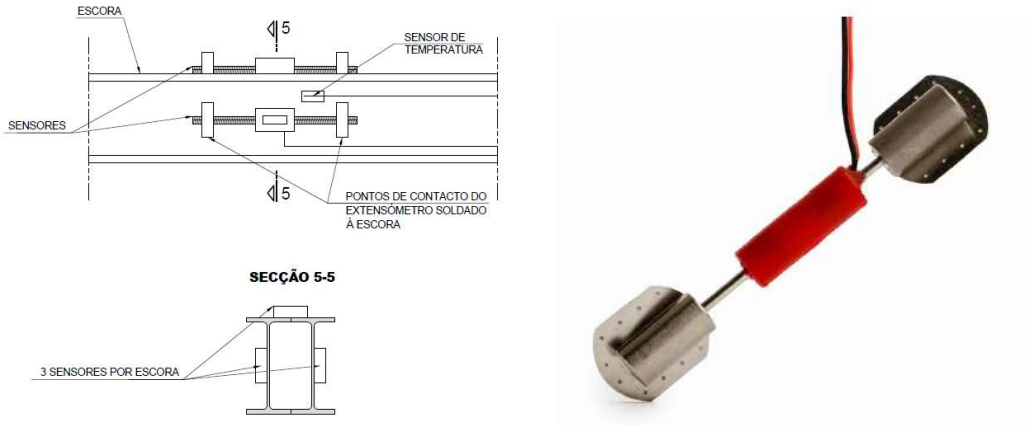


Figura 12 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge*

5.11 Fissurómetros

Este tipo de diapositivos permitirá acompanhar a evolução da abertura de uma determinada fissura.

Os fissurómetros a utilizar deverão ser planos e deverão permitir a realização de leituras de deslocamentos na horizontal e na vertical. Será ainda necessário que possuam capacidade resistente adequada às intempéries, devendo ser fixos de forma adequada (mecanicamente).

O seu alcance máximo será, no mínimo de 25 mm, na horizontal e 10 mm na vertical, devendo a sua resolução ser, no mínimo, de 0,1 mm (Figura 13). Para garantir esta resolução será necessário recorrer no ato da medição a uma craveira digital que se acopla ao fissurómetro.

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

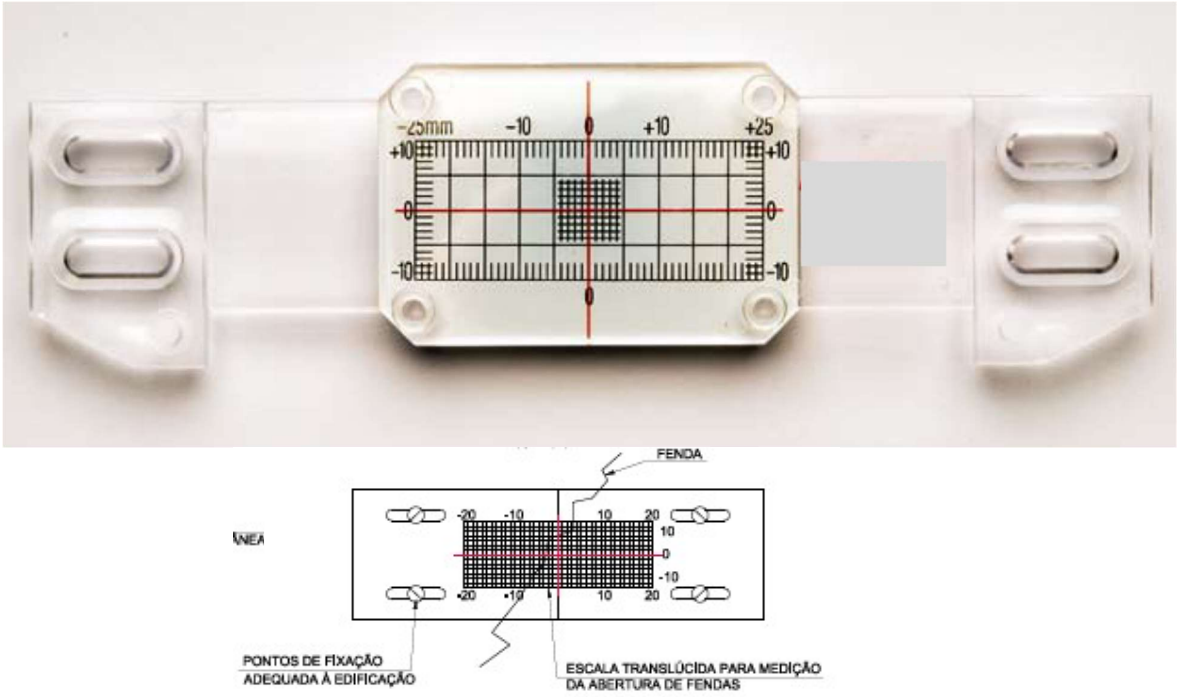


Figura 13 – Fissurómetro

5.12 Células de carga

O recurso a células de carga em ancoragens permitirá o acompanhamento da evolução e magnitude da tração instalada nestes elementos em fase de obra.

As células de carga a adotar nas ancoragens provisórias serão do tipo elétrico.

Em condições normais de leitura, o erro associado a estes dispositivos não deverá ultrapassar os ± 0,1% da capacidade máxima de leitura. A sua capacidade máxima de leitura deverá ser superior aos 1500 kN.

A instalação das células de carga será efetuada antes da realização do ensaio de receção detalhado da ancoragem. As células serão posicionadas sobre a chapa de apoio da ancoragem, sendo posteriormente colocada uma chapa metálica rígida adicional e posteriormente a placa de distribuição das cunhas.

A superfície de contacto com a célula deve estar plana e limpa. A colocação da célula deve ser criteriosa, de forma a que a mesma fique centrada com o eixo da aplicação da carga, evitando-se assim excentricidades, com consequência no rigor das leituras (Figura 14). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

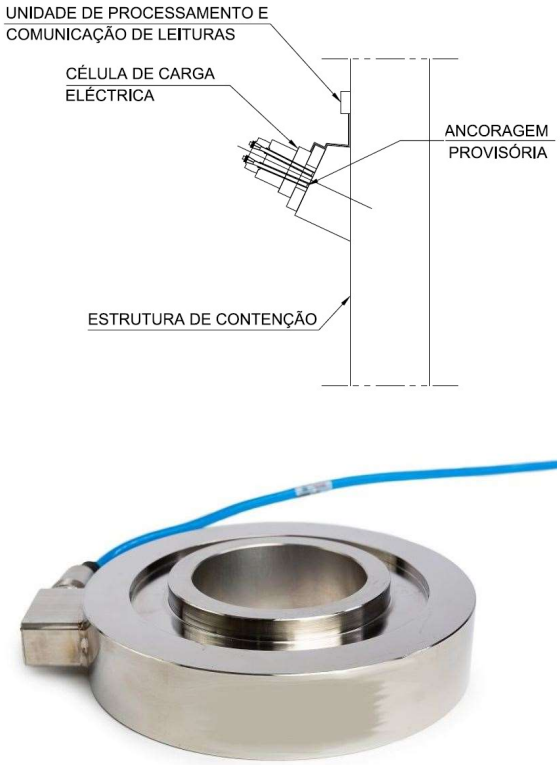


Figura 14 – Célula de carga em ancoragens

5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas

Face aos condicionamentos associados à necessidade de monitorizar as galerias subterrâneas durante a sua execução, a medição das convergências será materializada recorrendo a elemento ótico que permitirá, em condições mais adversas obter com maior precisão leituras de deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A instalação destes dispositivos de forma sistemática e em vários pontos de leitura em seção transversal de cada galeria a executar, permitirá ler não só os deslocamentos do ponto monitorizado, mas também criar secções de medição de convergências, através do controlo de diferentes cordas.

O sistema de fixação destes dispositivos é mecânico e deverá ser realizado ao betão projetado do suporte primário (através de resina epóxi ou de calda de cimento de presa rápida). Na sua extremidade visível a barra é roscada, de forma a permitir acoplar o prisma (Figura 15).

A sua colocação não deverá ultrapassar o primeiro dia após a realização total do suporte primário. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

De modo a permitir a instalação dos prismas o mais rápido possível, antes que a espessura total do suporte primário esteja aplicada, serão utilizados dispositivos de proteção da fixação que permitirão proteger o elemento de fixação do prisma durante a aplicação das sucessivas camadas de betão projetado (Figura 15).

Figura 15 – Prisma de convergência

5.14 Sismógrafo

Preconiza-se durante a fase de construção o posicionamento de sismógrafos junto às edificações mais vulneráveis. Pretende-se o registo das velocidades e frequências de vibrações eventualmente provocadas pela execução dos trabalhos de construção (Figura 16).

As medições de vibrações serão feitas através de um geofone triaxial com uma capacidade de leitura de 2-250 Hz (janela de calibração mínima 1-160 Hz). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

No caso dos sismógrafos utilizados simultaneamente para a monitorização dos limites de integridade estrutural e de vibrações de incomodidade humana, serão adotados dispositivos com a sensibilidade necessária à monitorização dos respetivos limites (conforme Plano de Monitorização Ambiental).

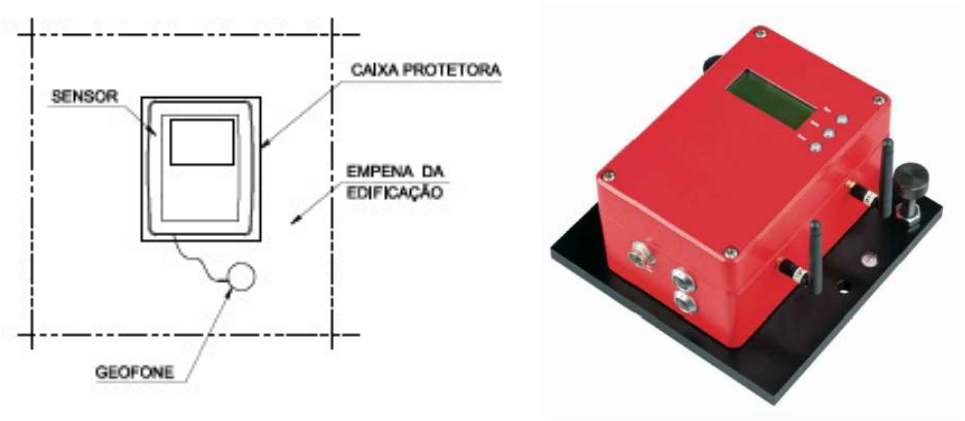


Figura 16 – Sismógrafo

5.15 Clinómetro

Os clinómetros permitiram a medição da variação de inclinação das paredes dos edifícios. Quando possível, estes fornecerão leituras remotamente, sendo constituídos por bases de leitura em bronze, concebidas para garantir o posicionamento preciso e repetitivo do equipamento de leitura (Figura 17).

As bases de leitura serão fixas de forma mecânica e permanente à estrutura, sendo instaladas diretamente, normalmente na vertical, ou soldadas numa chapa em T, de dimensões adequadas para permitir a sua instalação na horizontal em elementos verticais.

O equipamento de leitura será constituído por sensor instalado num elemento em aço inoxidável, permitindo a realização de leituras nas bases instaladas em superfície verticais ou horizontais, através de uma unidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -30ºC e +70ºC).

O equipamento de leitura possuirá no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura: ± 15º a partir da vertical
- Resolução: 0,0013º
- Precisão: < 0,06% da capacidade máxima de leitura

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

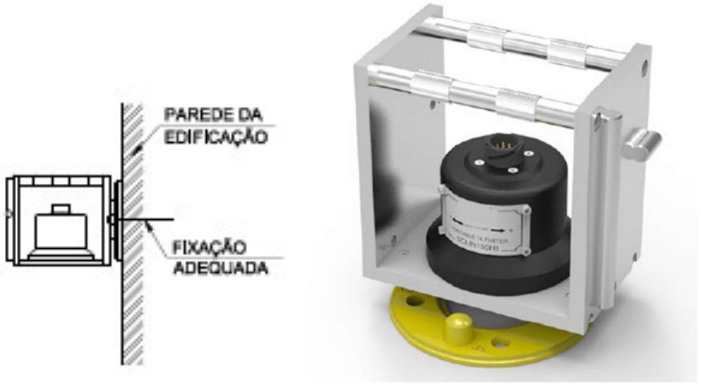


Figura 17 – Clinómetro

5.16 Prisma topográfico de referência

Para garantir a adequada leitura dos vários dispositivos topográficos instalados será necessário posicionar elementos adicionais que constituirão a sua referência. Constituem dispositivos de precisão de leitura ótica, sendo utlizados para a realização de leituras nos eixos X, Y e Z (Figura 18). À semelhança dos anteriores também estes dispositivos têm uma importância crítica na criação de uma rede de instrumentação, pois permitem ter um conjunto de coordenadas de referência invariáveis e não-suscetíveis a deslocamentos. Nesse sentido, a escolha da sua localização deve ser realizada de forma criteriosa.

Procurou-se distribuir este tipo de dispositivos de forma a garantir que possuem alcance até cerca de 200 metros, sendo necessário garantir visibilidade direta entre este elemento e aquele que se pretende ler. Cada dispositivo a ler (prisma topográfico) deverá estar referenciado, no mínimo, a 3 unidades de referência, de forma a permitir a existência de redundância e consequentemente, o controlo cruzado entre os vários dispositivos.

O prisma ótico encontra-se acoplado a uma haste metálica robusta que será adequadamente fixa à parede do elemento que será considerado como fixo.

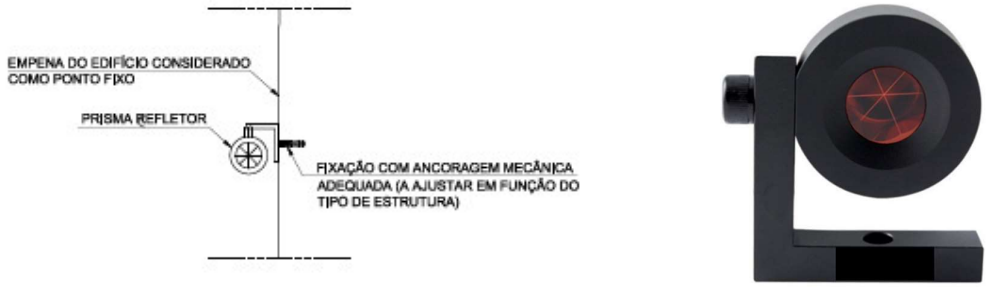


Figura 18 – Prisma topográfico de referência

5.17 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5” e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 19).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

Figura 19 – Estação total robotizada

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 12.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 20).

Figura 20 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 21).

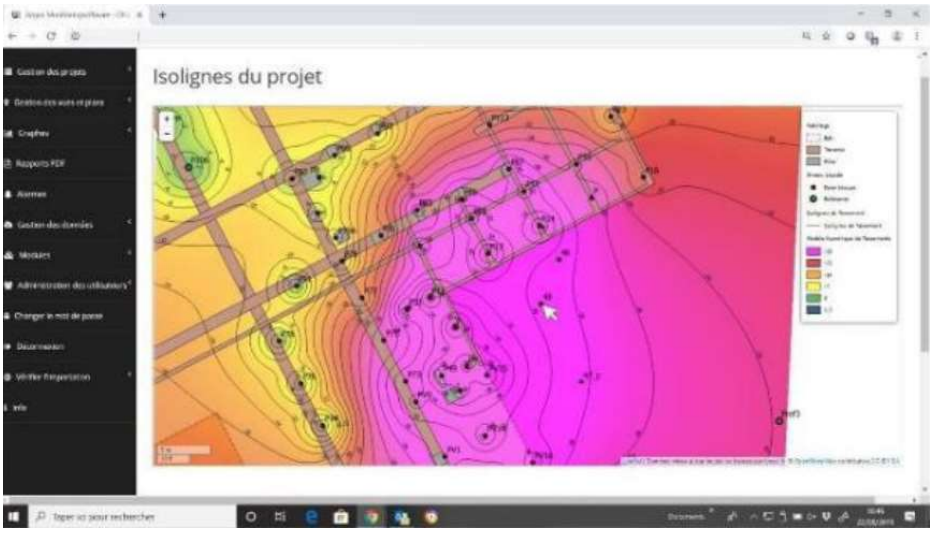


Figura 21 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 22).

Figura 22 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 12.2.

11 REQUISITOS PARTICULARES DO SISTEMA DE OBSERVAÇÃO EM INTERFERÊNCIAS

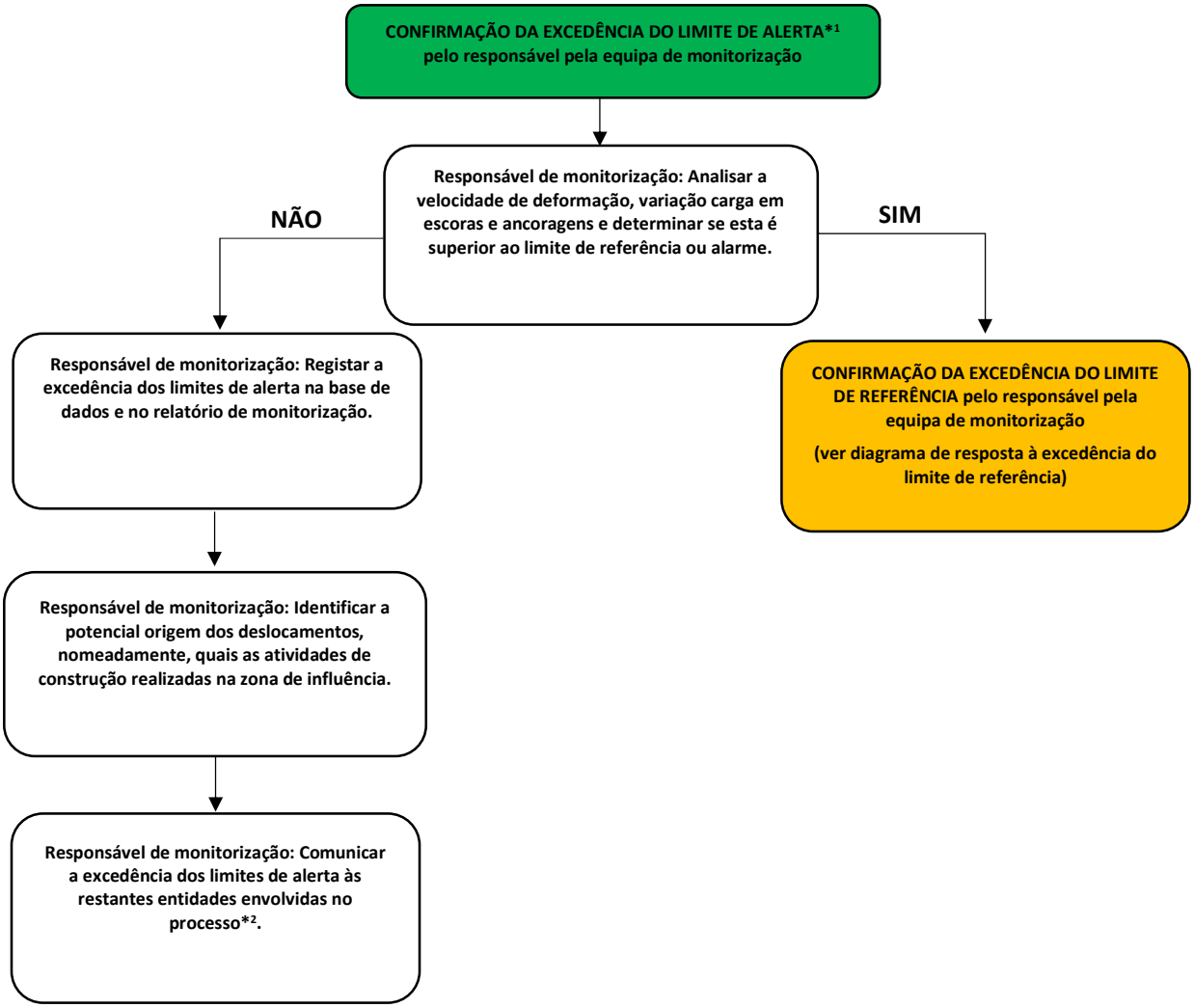
11.1 Monitorização de captações de água

No que se refere ao impacto das obras de escavação nos níveis de água de captações existentes na zona de influência dos trabalhos, todos os piezómetros a instalar em redor da obra terão níveis de alerta, referência e alarme indicados. Serão também definidas medidas de mitigação, de referência, a implementar caso o nível de alerta seja excedido.

12 ANEXOS

12.1 Anexo A - Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE REFERÊNCIA*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Analisar a velocidade de deformação, variação carga em escoras e ancoragens e determinar se esta é superior ao limite de alarme.

NÃO

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

SIM

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- **Analisar a informação de monitorização;**
- **Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);**
- **Identificar os potenciais cenários de risco;**
- **Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;**
- **Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.**

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de excedência dos limites de alarme*2.

NÃO

SIM

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de referência na base de dados e no relatório de monitorização.

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de referência às restantes entidades envolvidas no processo*2.

NOTAS:

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- **Analisar a informação de monitorização;**
- **Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);**
- **Identificar os potenciais cenários de risco;**
- **Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;**
- **Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.**

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- **Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;**
- **Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;**
- **Realização de inspeções visuais à estrutura;**
- **Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;**
- **Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;**

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- **Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;**
- **Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;**
- **Realização de inspeções visuais à estrutura;**
- **Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;**
- **Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.**

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

- **Quadro A – Túnel NATM**

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*[3].

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 - As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

12.2 Anexo B - Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – Túnel NATM

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Redução da distância de avanço de escavação;
- Aumento da densidade de pregagens de fibra de vidro na frente de escavação;
- Realização de chapéu de enfilagens nos avanços intermédios;
- Realização de furos de drenagem adicionais na frente e/ou nos hasteais;
- Aplicação de betão projetado na frente de escavação;
- Aumento da parcialização da escavação da frente;
- Inclusão de rede electrossoldada entre cambotas;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da frente de escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-10	Emissão inicial

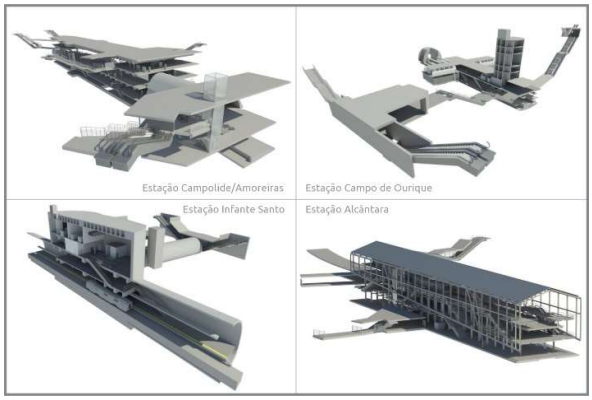
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO

PROJETO DE EXECUÇÃO



TOMO I

VOLUME 40 - PLANO DE OBSERVAÇÃO – T84

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS TUN T84 MD 087001 0

	Nome	**Assinatura**	**Data**
Elaborado	Francisco Bernardo Pedro Nogueira		2024-10-10
Revisto	Sandra Ferreira		2024-10-10
Verificado	Rui Rodrigues		2024-10-10
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-10
Aprovado			

	Nome	**Assinatura**	**Data**
Gestor Projeto	Raúl Pistone		2024-10-10

Índice

1 OBJETIVO E ÂMBITO 4

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 5

3 GRANDEZAS A MEDIR 8

3.1 Escavações subterrâneas 8
3.2 Edificações 9
4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 10

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 10

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 10
5.2 Prisma topográfico para pavimento 11
5.3 Extensómetro multiponto 11
5.4 Inclinómetros 13
5.5 Sensor de nível líquido 15
5.6 Piezómetro elétrico 15
5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC 16
5.8 Piezómetro do tipo Casagrande - câmara simples, dupla ou tripla 17
5.9 Prisma topográfico para carril 18
5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* 19
5.11 Fissurómetros 20
5.12 Células de carga 20
5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas 21
5.14 Sismógrafo 22
5.15 Clinómetro 24
5.16 Prisma topográfico de referência 24
5.17 Estação total robotizada 25
6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 26

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 29

7.1 Critérios de alerta e alarme 29
8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 30

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 32

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 32

11 REQUISITOS PARTICULARES DO SISTEMA DE OBSERVAÇÃO EM INTERFERÊNCIAS 33

11.1 Monitorização de captações de água 33

12 ANEXOS 34

12.1 Anexo A - Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 34

12.2 Anexo B - Medidas de atuação/ plano de contingência 38

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Anteprojeto**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação,** desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo **II** do **Volume 2 – T84.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça ”dinâmica” e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

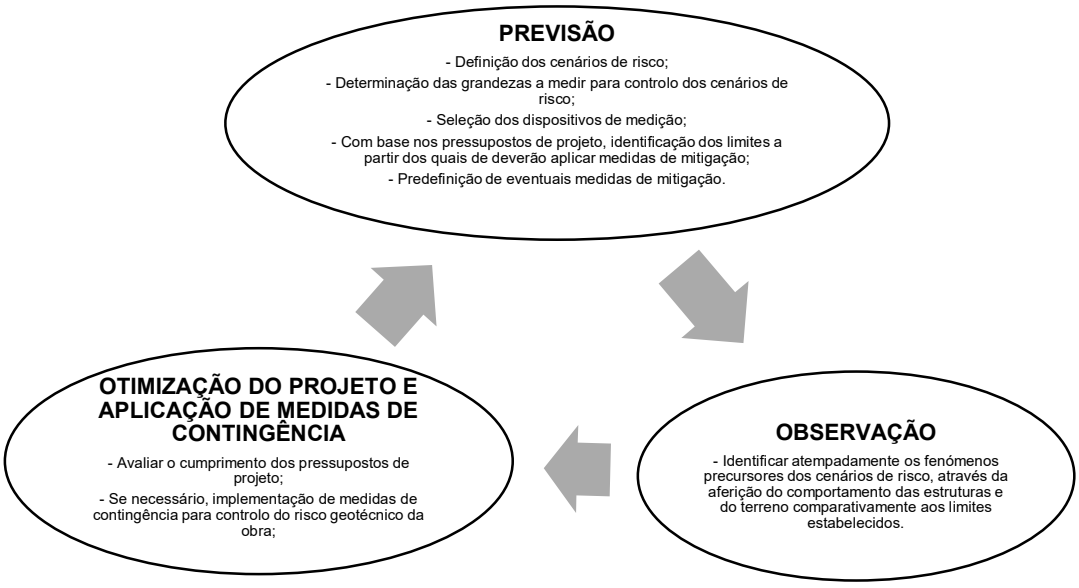


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência. Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada aos túneis NATM, nomeadamente:

- Troço 81, 82, 83, 84 e 85;
- Tímpano de São Sebastião (OE1);
- Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3);
- Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4);
- Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7).

Para cada um destes locais, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
Túnel Troço 81, 82, 83, 84 e 85	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X
Tímpano de São Sebastião (OE1)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7)	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais e convergências no interior de galerias subterrâneas recorrendo a prismas topográficos.
- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros.
- Medição da abertura de fendas em edifícios, utilizando fissurómetros.
- Medições de deslocamentos verticais internos do maciço e à superfície, com extensómetros multiponto.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições de deslocamentos verticais e horizontais nos pavimentos e carris utilizando prismas de pavimento e de carris.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.
- Medições de deslocamentos axiais de elementos estruturais recorrendo a extensómetros (tipo *strain gauges*).
- Medição de deslocamentos de precisão na estrutura interior de edifícios, utilizando sensores de nível liquido.

3.1 Escavações subterrâneas

A avaliação da evolução do comportamento das obras subterrâneas será realizada através do registo dos deslocamentos do terreno e observação de eventuais fissurações no revestimento primário. Para tal serão criadas secções de medição de convergências e deslocamentos, onde serão instalados, em geral, 3 prismas para secções cuja maior dimensão seja menor ou igual a 10 m e 5 prismas para secções com a maior dimensão superior a 10 m. Para a secções com 3 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 1 em cada hasteal, que permitirão para além dos deslocamentos nesses pontos, o controlo de 3 cordas diferentes. Para a secções com 5 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 2 em cada hasteal, acima e abaixo do eixo da galeria, que permitirão o controlo de 6 cordas diferentes.

No terreno e à superfície serão executados extensómetros multiponto, inclinómetros e prismas topográficos no pavimento, em carris e em edifícios.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, para além dos deslocamentos será também avaliada a variação/presença de água através da instalação de piezómetros.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes. Quando necessário, assumem particular destaque aos drenos longitudinais realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

3.2 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

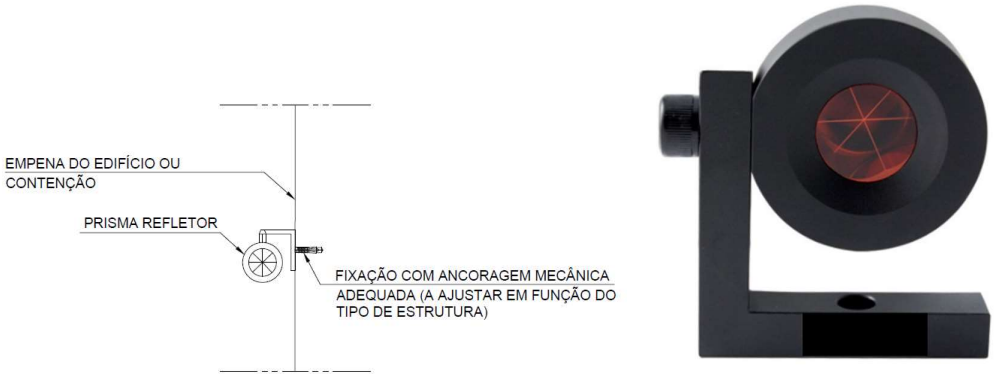


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Prisma topográfico para pavimento

Os prismas topográficos para pavimento consistem num elemento adequadamente fixo ao pavimento com elevada resistência ao tráfego pedonal e rodoviário, materializado por meio de uma placa metálica que permite a realização leituras dos deslocamentos verticais.

As leituras serão efetuadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

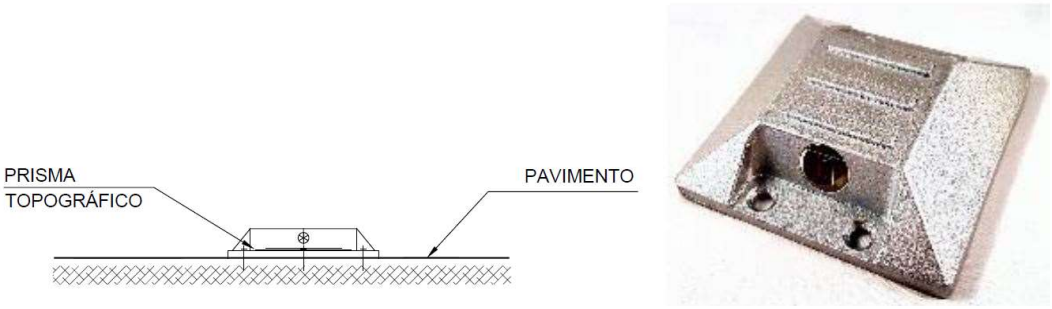


Figura 3 - Prisma topográfico para pavimento

5.3 Extensómetro multiponto

Os extensómetros permitem o controlo dos deslocamentos verticais em profundidade e encontram-se definidos nas seções de monitorização onde também estão previstas medições de deslocamentos e convergências no interior das galerias subterrâneas (Figura 4).

Os extensómetros terão 1 ou 2 ancoragens fixadas a diferentes profundidades. O sensor de deslocamento deverá ser do tipo corda vibrante dotado com sensor de temperatura.

Do conjunto deste dispositivo deverá fazer parte integrante:

- Barras/varas em aço inoxidável ou fibra de vidro

- Ancoragem (injetável com calda de cimento ou tipo *packer*)
- Bainha de encamisamento das barras/varas
- Cabeça de referência do elétrico

O extensómetro será instalado em furo previamente executado de diâmetro, no mínimo, de Ø76 mm (furação destrutiva), que terá um comprimento superior à profundidade de instalação de cerca de 1,00 m.

As cabeças dos extensómetros deverão ser equipadas com um prisma topográfico que permita obter as leituras à superfície. Aos valores das leituras das ancoragens deverão ser adicionados os assentamentos de superfície obtidos através dos prismas.

Os componentes serão montados de acordo às indicações do fabricante e instalados no furo nas cotas previstas função do seu comprimento total. Existirá uma ancoragem na extremidade correspondente à base do furo e uma segunda a 1/3 do seu comprimento total.

Uma vez finalizado o posicionamento do dispositivo, proceder-se-á a sua selagem por meio de calda de cimento.

As cabeças dos extensómetros serão protegidas por caixas com tampas metálicas adequadas.

O dispositivo será de leitura elétrica, o sensor de deslocamento ou transdutor, será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20ºC e +80ºC), possuindo no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura ≥ 100mm
- Precisão < 0,30% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,0066% da capacidade de leitura

O dispositivo será calibrado antes de ser utilizado e as leituras serão realizadas a partir da superfície. Após a realização da medição, os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

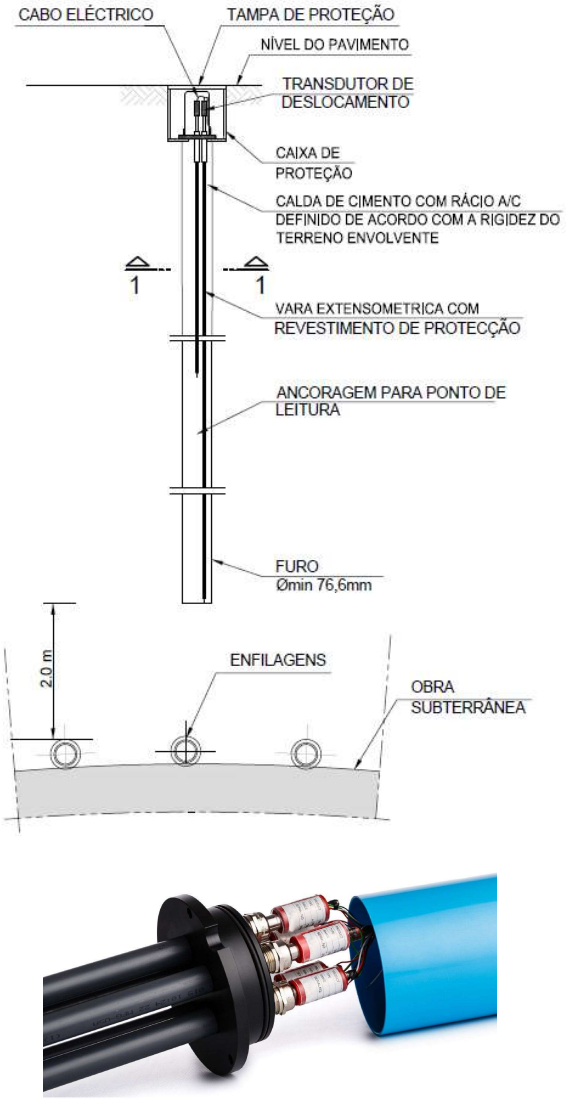


Figura 4 – Extensómetro multiponto

5.4 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90º. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma

escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

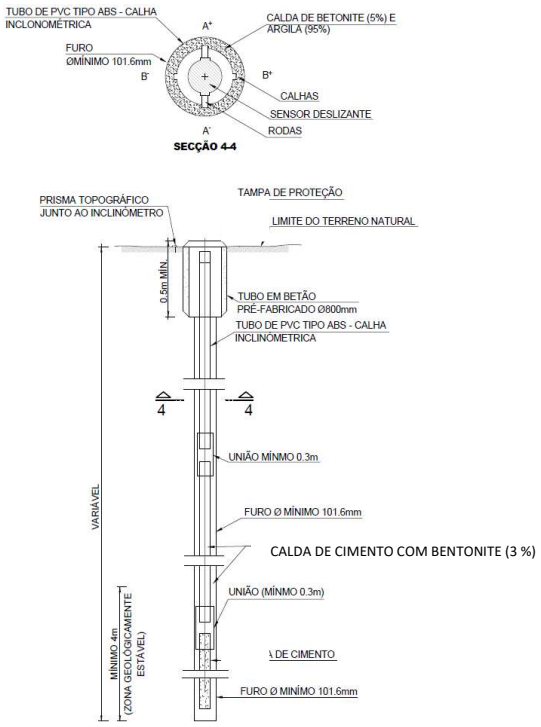


Figura 5 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.5 Sensor de nível líquido

O sensor de nível líquido permite medir deslocamentos diferenciais e totais entre diversos pontos de uma estrutura. É constituído por um conjunto de sensores de elevada precisão que medem continuamente a variação de nível de um líquido num circuito fechado. O conjunto de sensores encontra-se ligado a um depósito que constitui o nível de referência do sistema (Figura 6). Os deslocamentos totais podem ser obtidos através da soma dos deslocamentos diferenciais com os deslocamentos totais do nível de referência, no caso de este último estar sujeito a movimentos.

As leituras serão realizadas automaticamente e enviadas para a base de dados de monitorização.

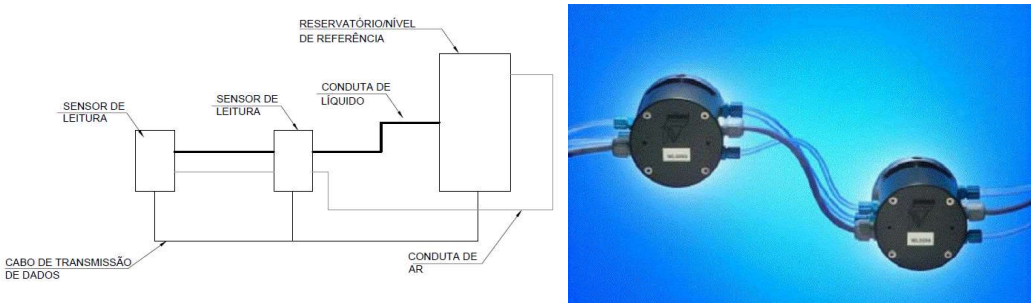


Figura 6 – Sensor de nível líquido

5.6 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 7).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa
- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

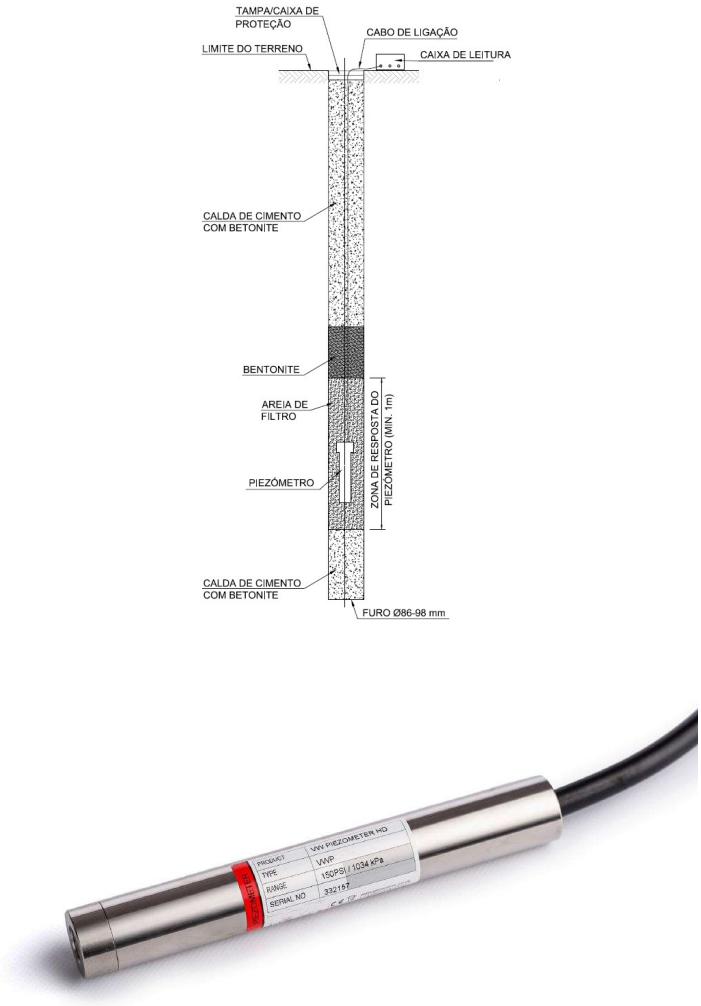


Figura 7 - Piezómetro elétrico com uma câmara

5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC

Os piezómetros com ponteira do tipo LNEC são um tipo de piezómetro recomendado para medição do nível de água em formações de muito baixa permeabilidade, cuja zona de resposta se localiza na extremidade inferior do piezómetro (ponteira) (Figura 8). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

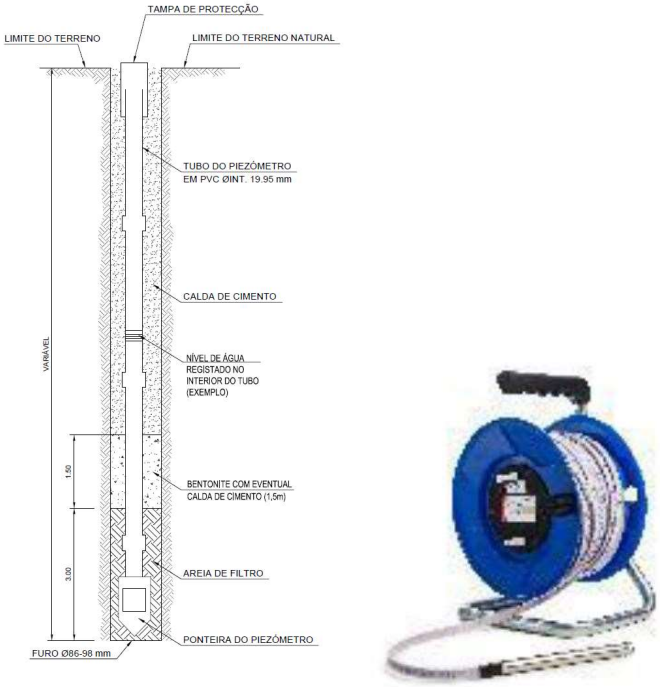


Figura 8 - Piezómetro com ponteira do tipo LNEC

5.8 Piezómetro do tipo Casagrande - câmara simples, dupla ou tripla

Os piezómetros do tipo Casagrande permitem a aferição de aquíferos a diferentes profundidades. São constituídos por troços tubos com 75 mm de diâmetro, solidarizados entre si através de uniões exteriores. Na zona onde se pretende efetuar a leitura do nível piezométrico esses tubos apresentam ranhuras com 4,5mm de espessura sendo a sua zona envolvente preenchida com areia (Figura 9 – piezómetro duplo). O número de tubos ou zonas de resposta dita a sua designação, ou seja de câmara simples – 1 tubo, câmara dupla – 2 tubos ou de câmara tripla – 3 tubos.

Na sua extremidade esses tubos são envoltos com geotêxtil (Figura 9). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

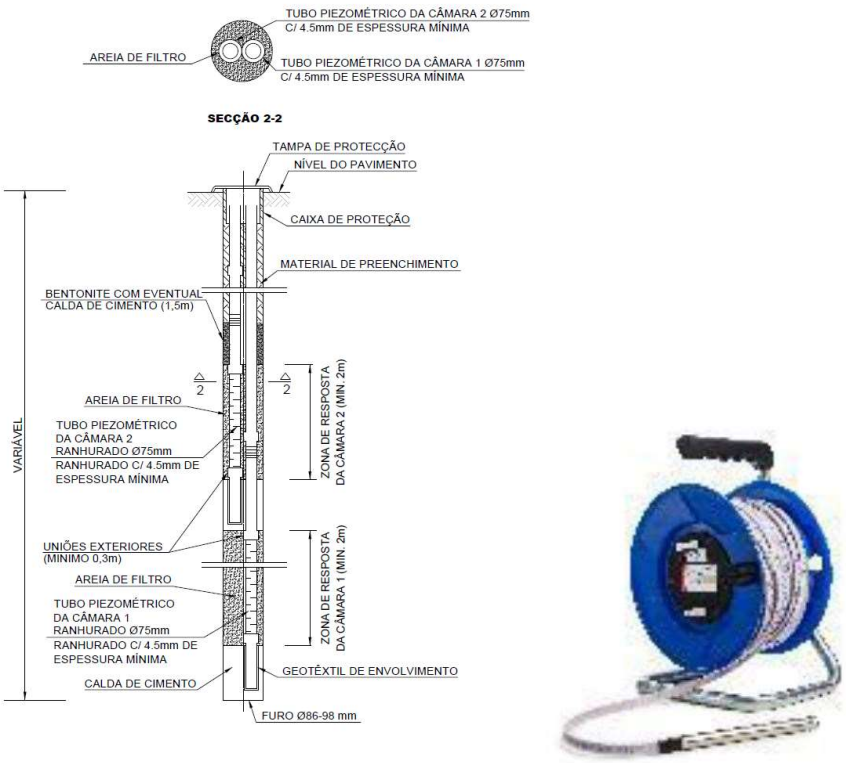


Figura 9 - Piezómetro do tipo Casagrande – Câmara dupla

5.9 Prisma topográfico para carril

Os prismas topográficos para carril, consistem num prisma instalado nas travessas das linhas do comboio da IP (Figura 10) ou num prisma para pavimento fixo entre os carris para as linhas da Carris (Figura 11). Este elementos permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X,Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada.

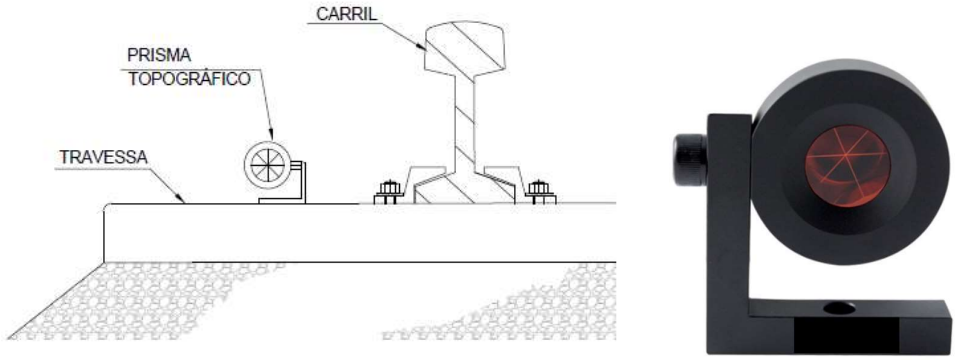


Figura 10 – Prisma topográfico para carril – Linhas IP

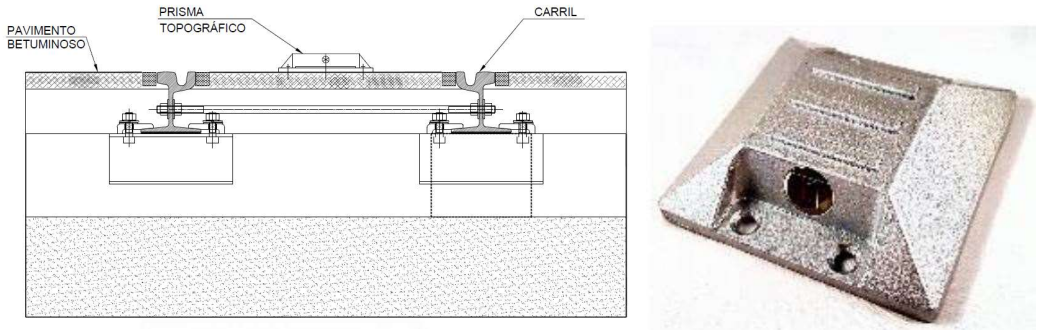


Figura 11 – Prisma topográfico para carril – Linhas Carris

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge*

Os extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* permitem a medição indireta de deslocamentos muito pequenos por intermédio de sensores de corda vibrante que medem a extensão dos elementos estruturais aos quais se encontram ligados através de soldadura (Figura 12). Estes dispositivos serão instalados nas escoras metálicas que constituem a solução de travamento da contenção, permitindo medir a extensão acomodada pelas mesmas e consequentemente a força instalada aquando da execução dos trabalhos de escavação.

Deverão ser utilizados *strain-gauges* de corda vibrante, com campo de leitura não inferior a 3000με, resolução < 1,0με e precisão de ordem inferior a ± 0,5% da capacidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20ºC e +80ºC). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

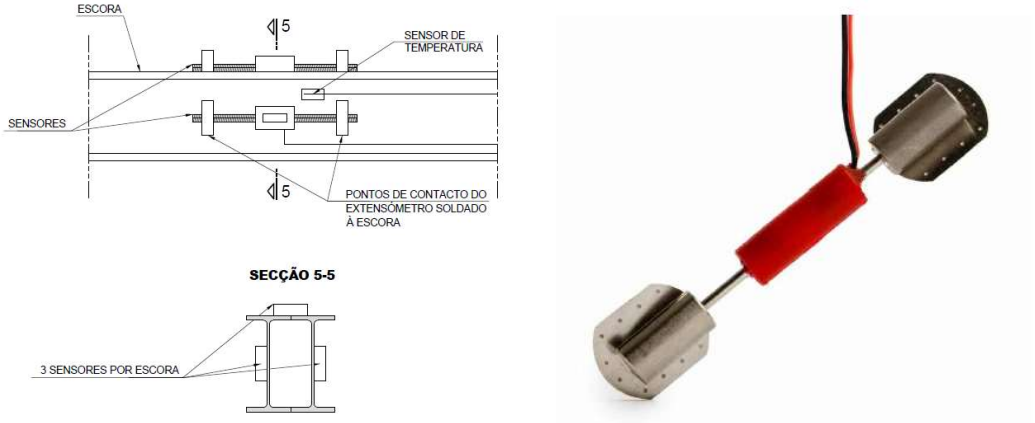


Figura 12 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge*

5.11 Fissurómetros

Este tipo de diapositivos permitirá acompanhar a evolução da abertura de uma determinada fissura.

Os fissurómetros a utilizar deverão ser planos e deverão permitir a realização de leituras de deslocamentos na horizontal e na vertical. Será ainda necessário que possuam capacidade resistente adequada às intempéries, devendo ser fixos de forma adequada (mecanicamente).

O seu alcance máximo será, no mínimo de 25 mm, na horizontal e 10 mm na vertical, devendo a sua resolução ser, no mínimo, de 0,1 mm (Figura 13). Para garantir esta resolução será necessário recorrer no ato da medição a uma craveira digital que se acopla ao fissurómetro.

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

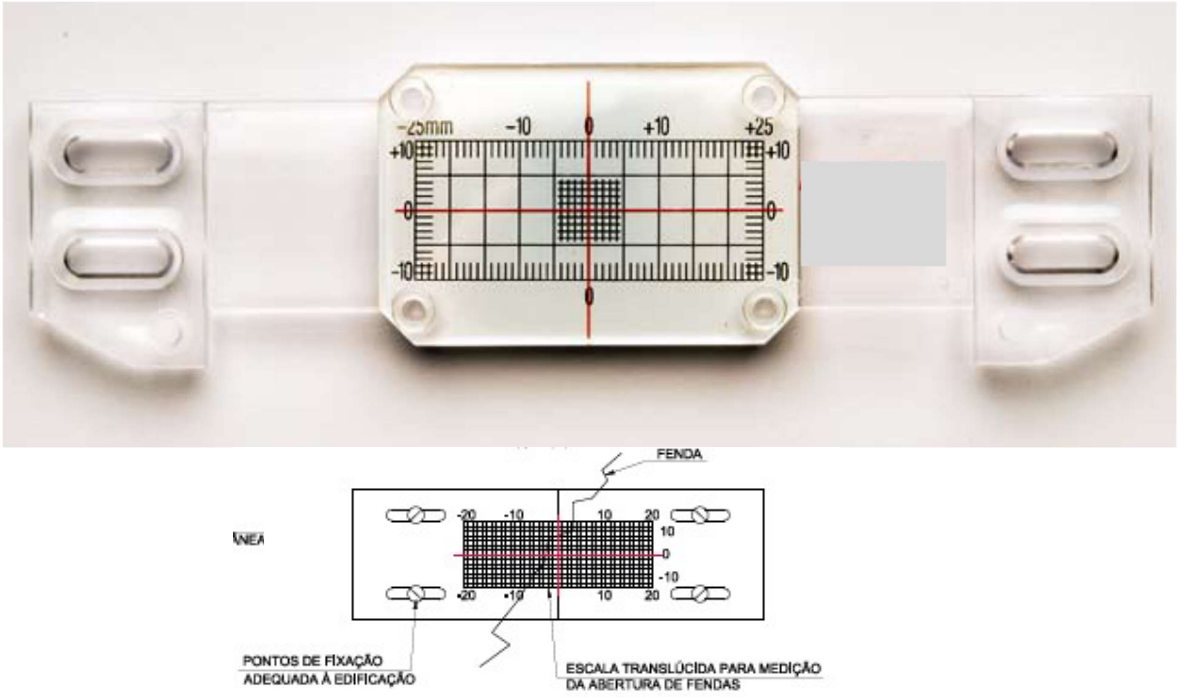


Figura 13 – Fissurómetro

5.12 Células de carga

O recurso a células de carga em ancoragens permitirá o acompanhamento da evolução e magnitude da tração instalada nestes elementos em fase de obra.

As células de carga a adotar nas ancoragens provisórias serão do tipo elétrico.

Em condições normais de leitura, o erro associado a estes dispositivos não deverá ultrapassar os ± 0,1% da capacidade máxima de leitura. A sua capacidade máxima de leitura deverá ser superior aos 1500 kN.

A instalação das células de carga será efetuada antes da realização do ensaio de receção detalhado da ancoragem. As células serão posicionadas sobre a chapa de apoio da ancoragem, sendo posteriormente colocada uma chapa metálica rígida adicional e posteriormente a placa de distribuição das cunhas.

A superfície de contacto com a célula deve estar plana e limpa. A colocação da célula deve ser criteriosa, de forma a que a mesma fique centrada com o eixo da aplicação da carga, evitando-se assim excentricidades, com consequência no rigor das leituras (Figura 14). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

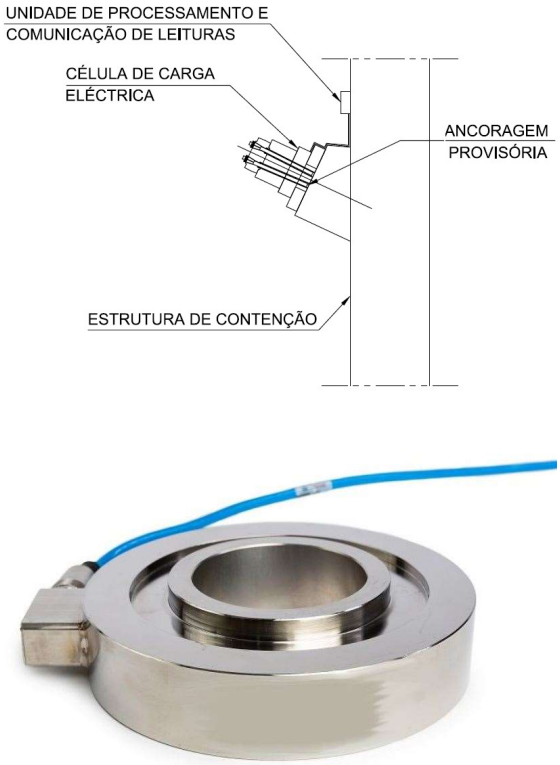


Figura 14 – Célula de carga em ancoragens

5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas

Face aos condicionamentos associados à necessidade de monitorizar as galerias subterrâneas durante a sua execução, a medição das convergências será materializada recorrendo a elemento ótico que permitirá, em condições mais adversas obter com maior precisão leituras de deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A instalação destes dispositivos de forma sistemática e em vários pontos de leitura em seção transversal de cada galeria a executar, permitirá ler não só os deslocamentos do ponto monitorizado, mas também criar secções de medição de convergências, através do controlo de diferentes cordas.

O sistema de fixação destes dispositivos é mecânico e deverá ser realizado ao betão projetado do suporte primário (através de resina epóxi ou de calda de cimento de presa rápida). Na sua extremidade visível a barra é roscada, de forma a permitir acoplar o prisma (Figura 15).

A sua colocação não deverá ultrapassar o primeiro dia após a realização total do suporte primário. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

De modo a permitir a instalação dos prismas o mais rápido possível, antes que a espessura total do suporte primário esteja aplicada, serão utilizados dispositivos de proteção da fixação que permitirão proteger o elemento de fixação do prisma durante a aplicação das sucessivas camadas de betão projetado (Figura 15).

Figura 15 – Prisma de convergência

5.14 Sismógrafo

Preconiza-se durante a fase de construção o posicionamento de sismógrafos junto às edificações mais vulneráveis. Pretende-se o registo das velocidades e frequências de vibrações eventualmente provocadas pela execução dos trabalhos de construção (Figura 16).

As medições de vibrações serão feitas através de um geofone triaxial com uma capacidade de leitura de 2-250 Hz (janela de calibração mínima 1-160 Hz). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

No caso dos sismógrafos utilizados simultaneamente para a monitorização dos limites de integridade estrutural e de vibrações de incomodidade humana, serão adotados dispositivos com a sensibilidade necessária à monitorização dos respetivos limites (conforme Plano de Monitorização Ambiental).

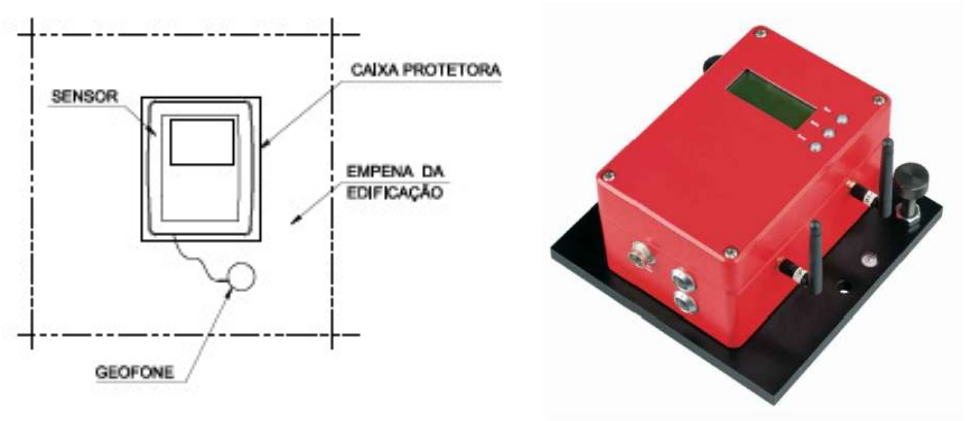


Figura 16 – Sismógrafo

5.15 Clinómetro

Os clinómetros permitiram a medição da variação de inclinação das paredes dos edifícios. Quando possível, estes fornecerão leituras remotamente, sendo constituídos por bases de leitura em bronze, concebidas para garantir o posicionamento preciso e repetitivo do equipamento de leitura (Figura 17).

As bases de leitura serão fixas de forma mecânica e permanente à estrutura, sendo instaladas diretamente, normalmente na vertical, ou soldadas numa chapa em T, de dimensões adequadas para permitir a sua instalação na horizontal em elementos verticais.

O equipamento de leitura será constituído por sensor instalado num elemento em aço inoxidável, permitindo a realização de leituras nas bases instaladas em superfície verticais ou horizontais, através de uma unidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -30ºC e +70ºC).

O equipamento de leitura possuirá no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura: ± 15º a partir da vertical
- Resolução: 0,0013º
- Precisão: < 0,06% da capacidade máxima de leitura

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

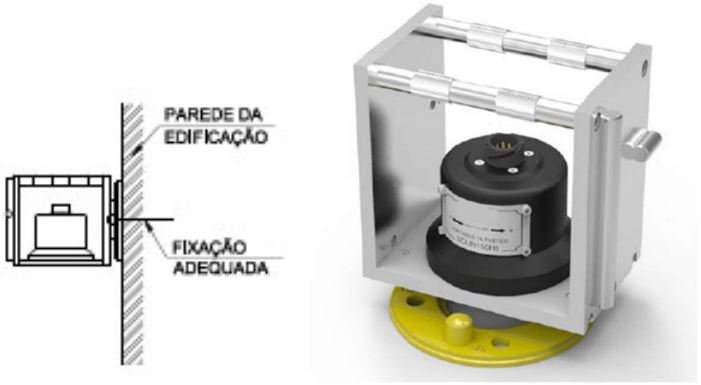


Figura 17 – Clinómetro

5.16 Prisma topográfico de referência

Para garantir a adequada leitura dos vários dispositivos topográficos instalados será necessário posicionar elementos adicionais que constituirão a sua referência. Constituem dispositivos de precisão de leitura ótica, sendo utlizados para a realização de leituras nos eixos X, Y e Z (Figura 18). À semelhança dos anteriores também estes dispositivos têm uma importância crítica na criação de uma rede de instrumentação, pois permitem ter um conjunto de coordenadas de referência invariáveis e não-suscetíveis a deslocamentos. Nesse sentido, a escolha da sua localização deve ser realizada de forma criteriosa.

Procurou-se distribuir este tipo de dispositivos de forma a garantir que possuem alcance até cerca de 200 metros, sendo necessário garantir visibilidade direta entre este elemento e aquele que se pretende ler. Cada dispositivo a ler (prisma topográfico) deverá estar referenciado, no mínimo, a 3 unidades de referência, de forma a permitir a existência de redundância e consequentemente, o controlo cruzado entre os vários dispositivos.

O prisma ótico encontra-se acoplado a uma haste metálica robusta que será adequadamente fixa à parede do elemento que será considerado como fixo.

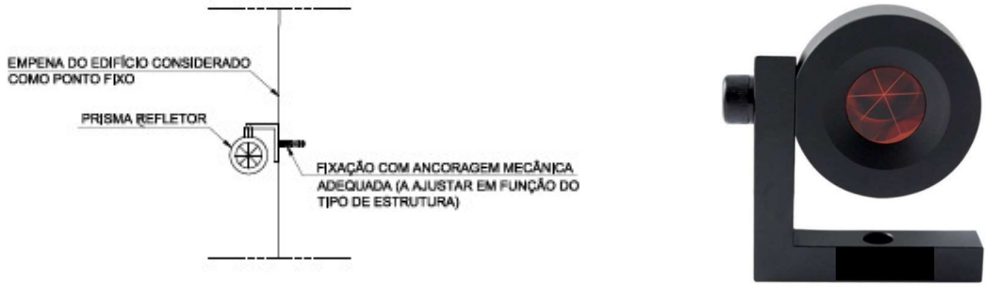


Figura 18 – Prisma topográfico de referência

5.17 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5” e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 19).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

Figura 19 – Estação total robotizada

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 12.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 20).

Figura 20 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 21).

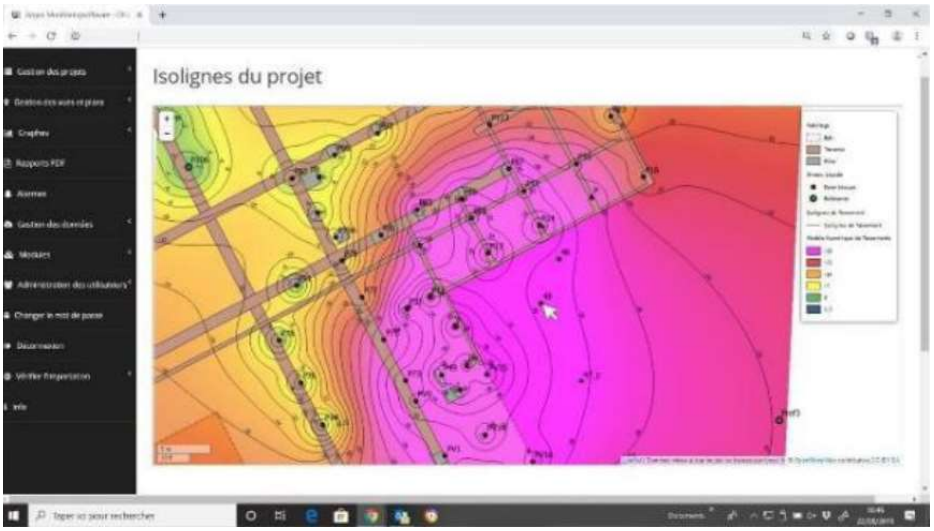


Figura 21 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 22).

Figura 22 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 12.2.

11 REQUISITOS PARTICULARES DO SISTEMA DE OBSERVAÇÃO EM INTERFERÊNCIAS

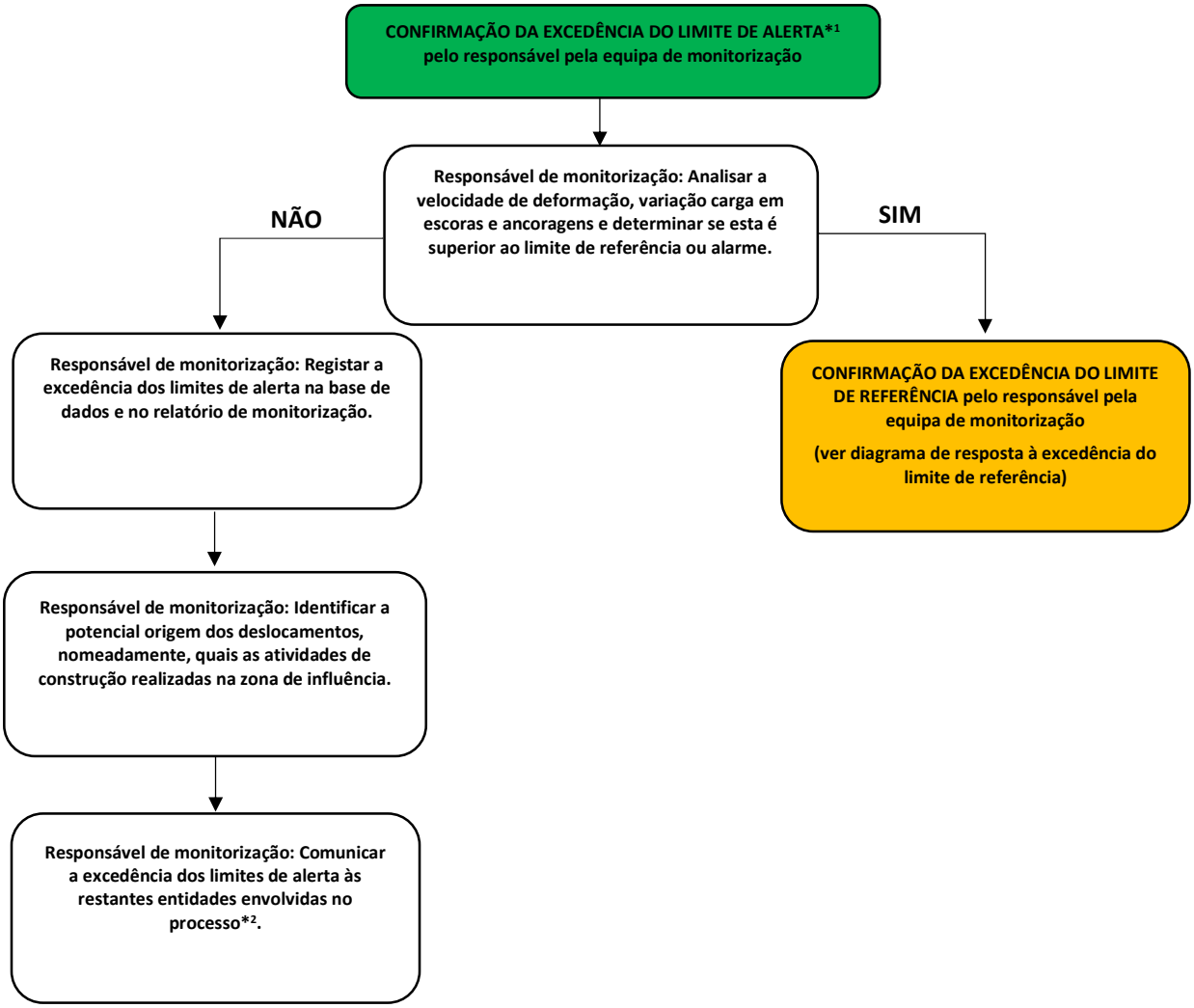
11.1 Monitorização de captações de água

No que se refere ao impacto das obras de escavação nos níveis de água de captações existentes na zona de influência dos trabalhos, todos os piezómetros a instalar em redor da obra terão níveis de alerta, referência e alarme indicados. Serão também definidas medidas de mitigação, de referência, a implementar caso o nível de alerta seja excedido.

12 ANEXOS

12.1 Anexo A - Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE REFERÊNCIA*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Analisar a velocidade de deformação, variação carga em escoras e ancoragens e determinar se esta é superior ao limite de alarme.

NÃO

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

SIM

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- **Analisar a informação de monitorização;**
- **Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);**
- **Identificar os potenciais cenários de risco;**
- **Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;**
- **Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.**

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de excedência dos limites de alarme*2.

NÃO

SIM

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de referência na base de dados e no relatório de monitorização.

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de referência às restantes entidades envolvidas no processo*2.

NOTAS:

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- **Analisar a informação de monitorização;**
- **Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);**
- **Identificar os potenciais cenários de risco;**
- **Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;**
- **Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.**

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- **Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;**
- **Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;**
- **Realização de inspeções visuais à estrutura;**
- **Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;**
- **Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;**

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- **Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;**
- **Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;**
- **Realização de inspeções visuais à estrutura;**
- **Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;**
- **Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.**

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- **Quadro A – Túnel NATM**
- **Quadro B - Estação xxxx – Galerias subterrâneas**
- **Quadro K – Estação xxx – Escavação a céu aberto**

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*[3].

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 - As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

12.2 Anexo B - Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – Túnel NATM

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Redução da distância de avanço de escavação;
- Aumento da densidade de pregagens de fibra de vidro na frente de escavação;
- Realização de chapéu de enfilagens nos avanços intermédios;
- Realização de furos de drenagem adicionais na frente e/ou nos hasteais;
- Aplicação de betão projetado na frente de escavação;
- Aumento da parcialização da escavação da frente;
- Inclusão de rede electrossoldada entre cambotas;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da frente de escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-10	Emissão inicial

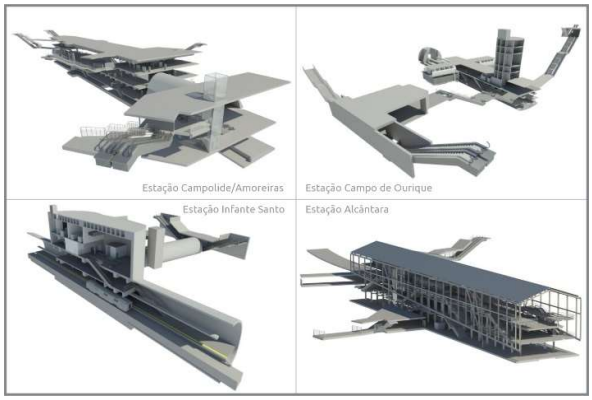
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO

PROJETO DE EXECUÇÃO



TOMO I

VOLUME 40 - PLANO DE OBSERVAÇÃO – T83

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS TUN T83 MD 087001 0

	Nome	**Assinatura**	**Data**
Elaborado	Francisco Bernardo Pedro Nogueira		2024-10-10
Revisto	Sandra Ferreira		2024-10-10
Verificado	Rui Rodrigues		2024-10-10
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-10
Aprovado			

	Nome	**Assinatura**	**Data**
Gestor Projeto	Raúl Pistone		2024-10-10

Índice

1 OBJETIVO E ÂMBITO 5

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 6

3 GRANDEZAS A MEDIR 9

3.1 Escavações subterrâneas 9
3.2 Edificações 10
4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 11

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 11

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 11
5.2 Prisma topográfico para pavimento 12
5.3 Extensómetro multiponto 12
5.4 Inclinómetros 14
5.5 Sensor de nível líquido 15
5.6 Piezómetro elétrico 16
5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC 17
5.8 Piezómetro do tipo Casagrande - câmara simples, dupla ou tripla 18
5.9 Prisma topográfico para carril 19
5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* 20
5.11 Fissurómetros 21
5.12 Células de carga 21
5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas 22
5.14 Sismógrafo 23
5.15 Clinómetro 25
5.16 Prisma topográfico de referência 25
5.17 Estação total robotizada 26
6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 27

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 30

7.1 Critérios de alerta e alarme 30
8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 31

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 33

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 33

11 REQUISITOS PARTICULARES DO SISTEMA DE OBSERVAÇÃO EM INTERFERÊNCIAS 34

11.1 Monitorização de captações de água 34

12 ANEXOS 35

12.1 Anexo A - Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 35

12.2 Anexo B - Medidas de atuação/ plano de contingência 39

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Anteprojeto**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação,** desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo **II** do **Volume 3 – T83.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça ”dinâmica” e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

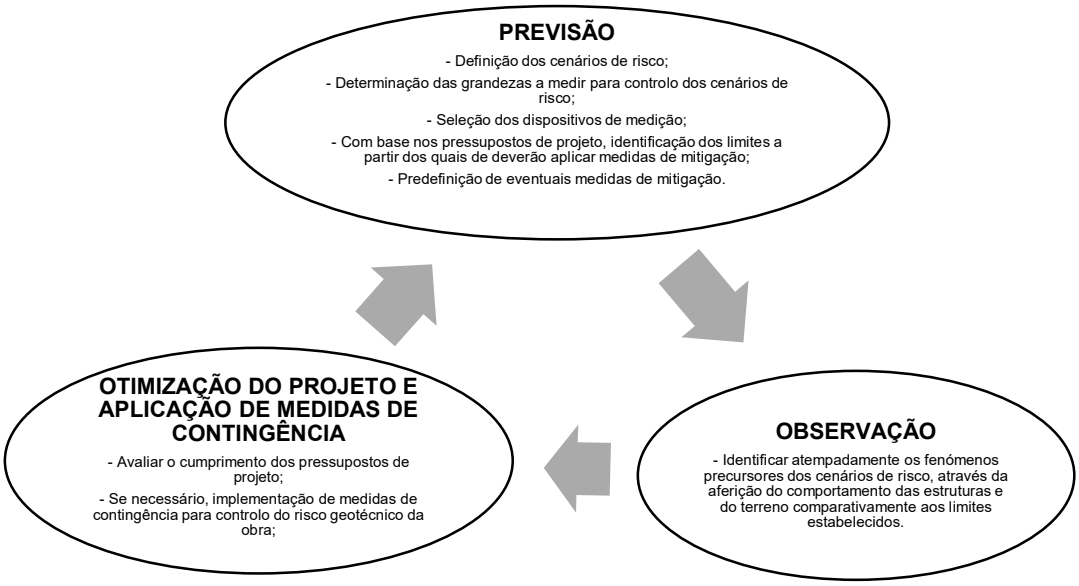


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos

fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência. Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada aos túneis NATM, nomeadamente:

- Troço 81, 82, 83, 84 e 85;
- Tímpano de São Sebastião (OE1);
- Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3);
- Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4);
- Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7).

Para cada um destes locais, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
Túnel Troço 81, 82, 83, 84 e 85	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X
Tímpano de São Sebastião (OE1)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7)	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais e convergências no interior de galerias subterrâneas recorrendo a prismas topográficos.
- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros.
- Medição da abertura de fendas em edifícios, utilizando fissurómetros.
- Medições de deslocamentos verticais internos do maciço e à superfície, com extensómetros multiponto.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições de deslocamentos verticais e horizontais nos pavimentos e carris utilizando prismas de pavimento e de carris.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.
- Medições de deslocamentos axiais de elementos estruturais recorrendo a extensómetros (tipo *strain gauges*).
- Medição de deslocamentos de precisão na estrutura interior de edifícios, utilizando sensores de nível liquido.

3.1 Escavações subterrâneas

A avaliação da evolução do comportamento das obras subterrâneas será realizada através do registo dos deslocamentos do terreno e observação de eventuais fissurações no revestimento primário. Para tal serão criadas secções de medição de convergências e deslocamentos, onde serão instalados, em geral, 3 prismas para secções cuja maior dimensão seja menor ou igual a 10 m e 5 prismas para secções com a maior dimensão superior a 10 m. Para a secções com 3 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 1 em cada hasteal, que permitirão para além dos deslocamentos nesses pontos, o controlo de 3 cordas diferentes. Para a secções com 5 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 2 em cada hasteal, acima e abaixo do eixo da galeria, que permitirão o controlo de 6 cordas diferentes.

No terreno e à superfície serão executados extensómetros multiponto, inclinómetros e prismas topográficos no pavimento, em carris e em edifícios.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, para além dos deslocamentos será também avaliada a variação/presença de água através da instalação de piezómetros.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes. Quando necessário, assumem

particular destaque aos drenos longitudinais realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

3.2 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

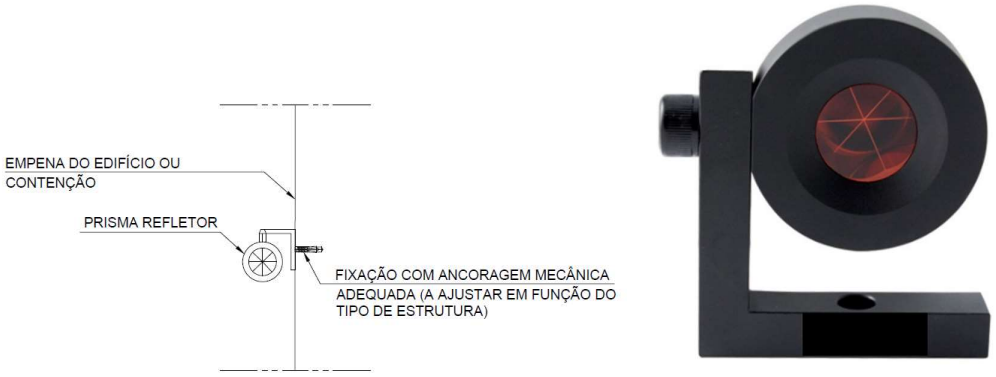


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Prisma topográfico para pavimento

Os prismas topográficos para pavimento consistem num elemento adequadamente fixo ao pavimento com elevada resistência ao tráfego pedonal e rodoviário, materializado por meio de uma placa metálica que permite a realização leituras dos deslocamentos verticais.

As leituras serão efetuadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

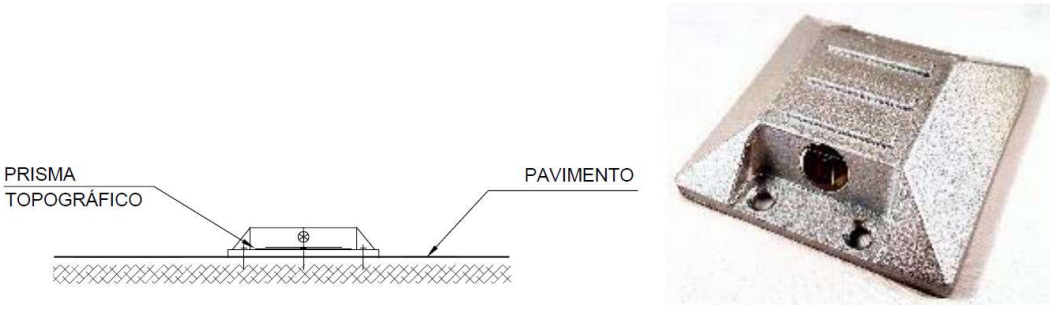


Figura 3 - Prisma topográfico para pavimento

5.3 Extensómetro multiponto

Os extensómetros permitem o controlo dos deslocamentos verticais em profundidade e encontram-se definidos nas seções de monitorização onde também estão previstas medições de deslocamentos e convergências no interior das galerias subterrâneas (Figura 4).

Os extensómetros terão 1 ou 2 ancoragens fixadas a diferentes profundidades. O sensor de deslocamento deverá ser do tipo corda vibrante dotado com sensor de temperatura.

Do conjunto deste dispositivo deverá fazer parte integrante:

- Barras/varas em aço inoxidável ou fibra de vidro
- Ancoragem (injetável com calda de cimento ou tipo *packer*)

- Bainha de encamisamento das barras/varas
- Cabeça de referência do elétrico

O extensómetro será instalado em furo previamente executado de diâmetro, no mínimo, de Ø76 mm (furação destrutiva), que terá um comprimento superior à profundidade de instalação de cerca de 1,00 m.

As cabeças dos extensómetros deverão ser equipadas com um prisma topográfico que permita obter as leituras à superfície. Aos valores das leituras das ancoragens deverão ser adicionados os assentamentos de superfície obtidos através dos prismas.

Os componentes serão montados de acordo às indicações do fabricante e instalados no furo nas cotas previstas função do seu comprimento total. Existirá uma ancoragem na extremidade correspondente à base do furo e uma segunda a 1/3 do seu comprimento total.

Uma vez finalizado o posicionamento do dispositivo, proceder-se-á a sua selagem por meio de calda de cimento.

As cabeças dos extensómetros serão protegidas por caixas com tampas metálicas adequadas.

O dispositivo será de leitura elétrica, o sensor de deslocamento ou transdutor, será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20ºC e +80ºC), possuindo no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura ≥ 100mm
- Precisão < 0,30% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,0066% da capacidade de leitura

O dispositivo será calibrado antes de ser utilizado e as leituras serão realizadas a partir da superfície. Após a realização da medição, os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

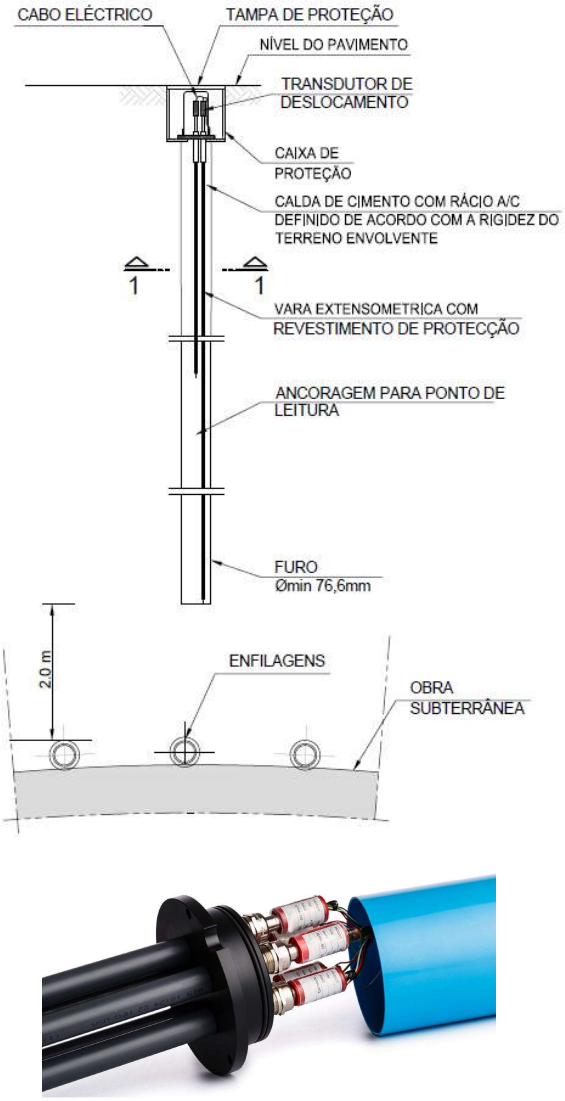


Figura 4 – Extensómetro multiponto

5.4 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90º. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

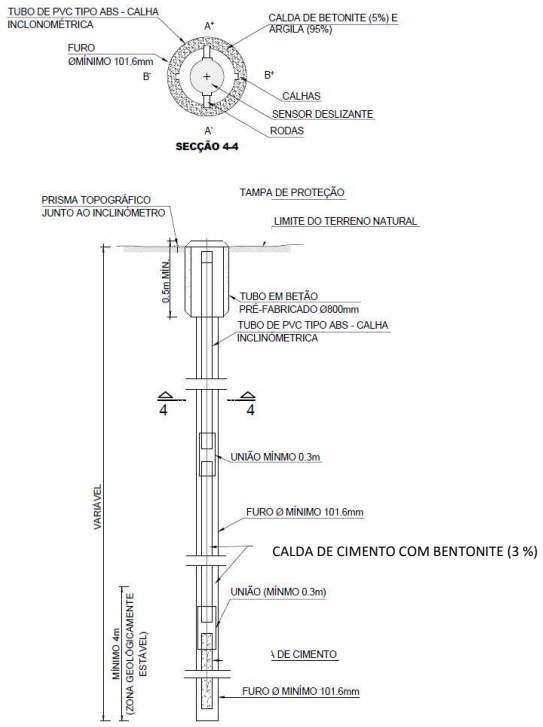


Figura 5 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.5 Sensor de nível líquido

O sensor de nível líquido permite medir deslocamentos diferenciais e totais entre diversos pontos de uma estrutura. É constituído por um conjunto de sensores de elevada precisão que medem continuamente a variação de nível de um líquido num circuito fechado. O conjunto de sensores encontra-se ligado a um depósito que constitui o nível de referência do sistema (Figura 6). Os deslocamentos totais podem ser obtidos através da soma dos deslocamentos diferenciais

com os deslocamentos totais do nível de referência, no caso de este último estar sujeito a movimentos.

As leituras serão realizadas automaticamente e enviadas para a base de dados de monitorização.

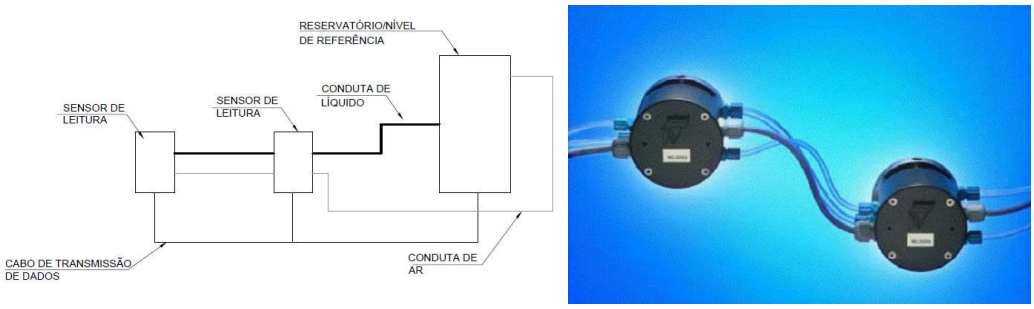


Figura 6 – Sensor de nível líquido

5.6 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 7).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa
- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

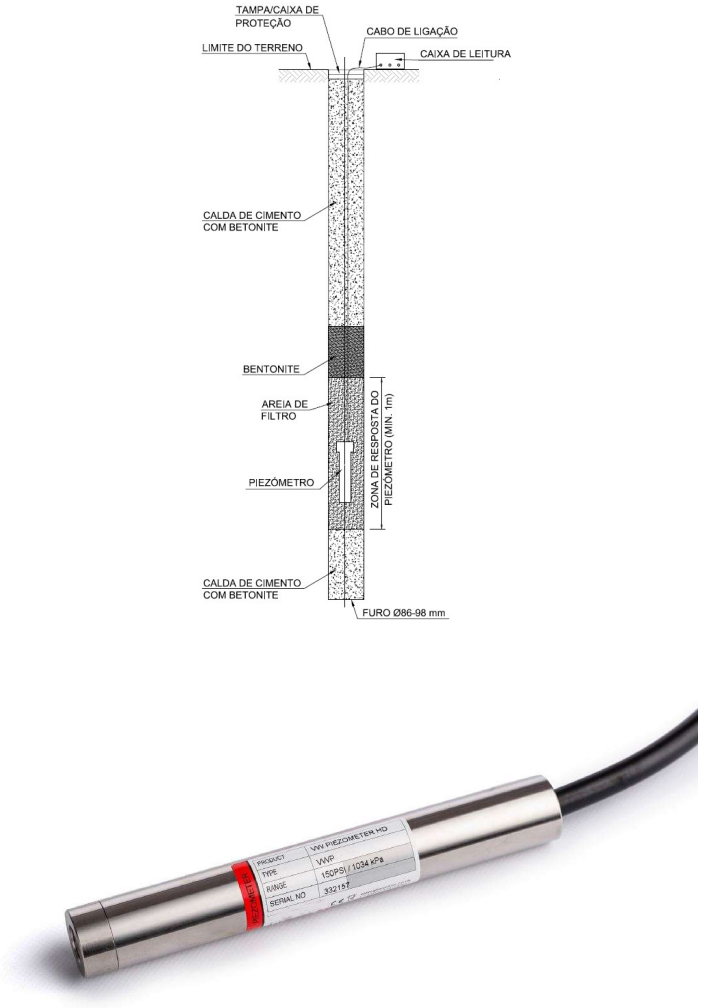


Figura 7 - Piezómetro elétrico com uma câmara

5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC

Os piezómetros com ponteira do tipo LNEC são um tipo de piezómetro recomendado para medição do nível de água em formações de muito baixa permeabilidade, cuja zona de resposta se localiza na extremidade inferior do piezómetro (ponteira) (Figura 8). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

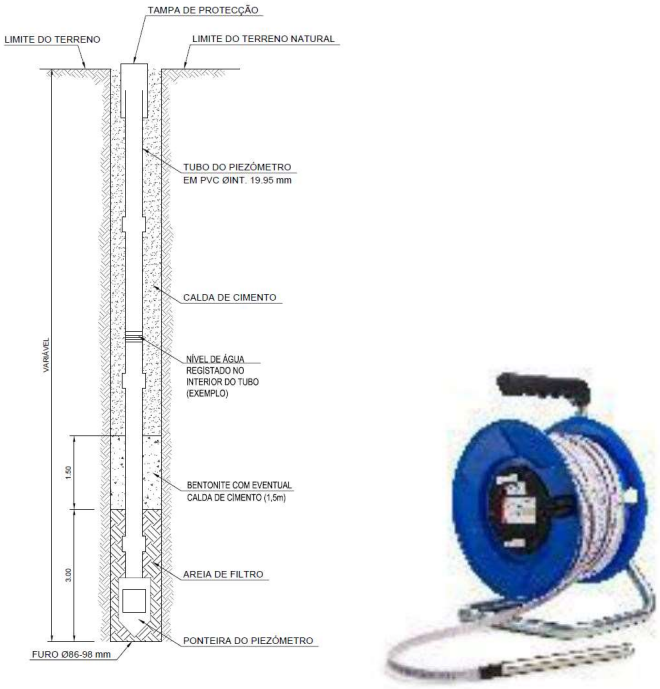


Figura 8 - Piezómetro com ponteira do tipo LNEC

5.8 Piezómetro do tipo Casagrande - câmara simples, dupla ou tripla

Os piezómetros do tipo Casagrande permitem a aferição de aquíferos a diferentes profundidades. São constituídos por troços tubos com 75 mm de diâmetro, solidarizados entre si através de uniões exteriores. Na zona onde se pretende efetuar a leitura do nível piezométrico esses tubos apresentam ranhuras com 4,5mm de espessura sendo a sua zona envolvente preenchida com areia (Figura 9 – piezómetro duplo). O número de tubos ou zonas de resposta dita a sua designação, ou seja de câmara simples – 1 tubo, câmara dupla – 2 tubos ou de câmara tripla – 3 tubos.

Na sua extremidade esses tubos são envoltos com geotêxtil (Figura 9). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

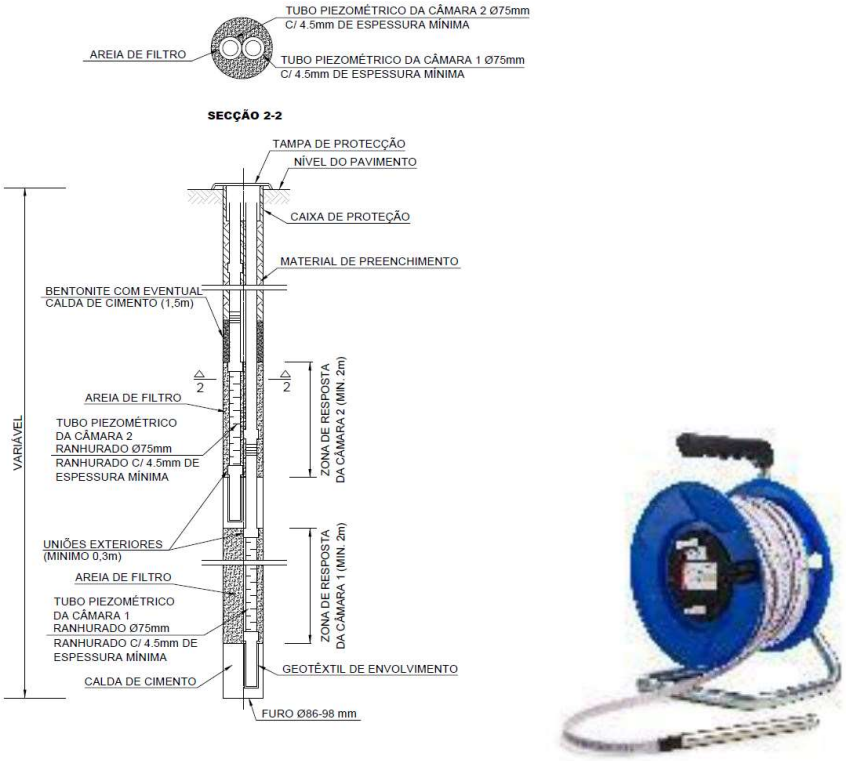


Figura 9 - Piezómetro do tipo Casagrande – Câmara dupla

5.9 Prisma topográfico para carril

Os prismas topográficos para carril, consistem num prisma instalado nas travessas das linhas do comboio da IP (Figura 10) ou num prisma para pavimento fixo entre os carris para as linhas da Carris (Figura 11). Este elementos permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X,Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada.

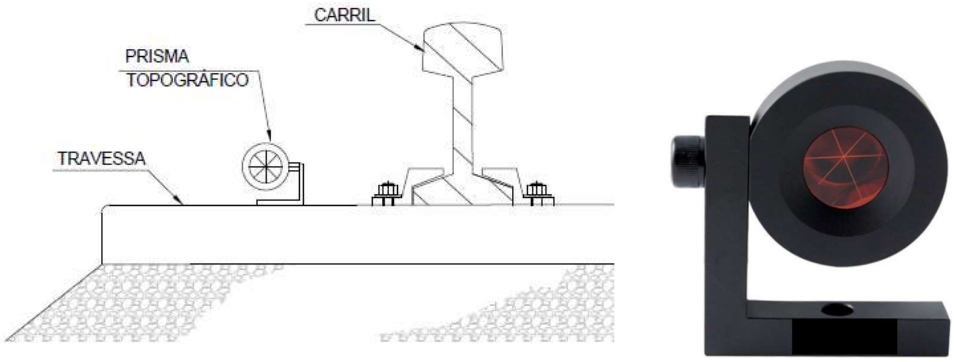


Figura 10 – Prisma topográfico para carril – Linhas IP

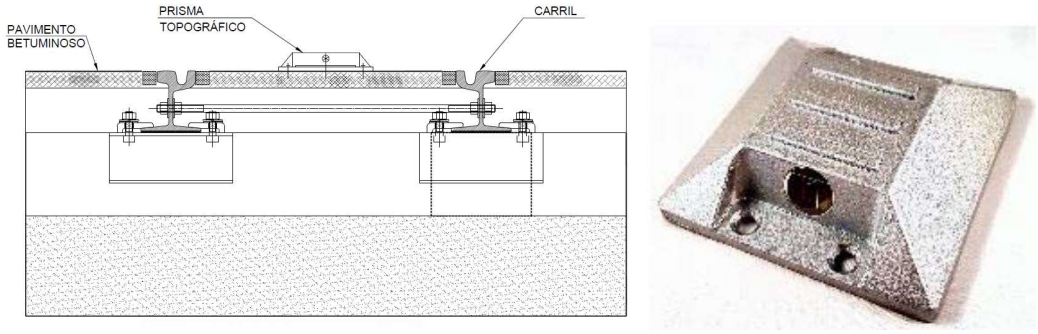


Figura 11 – Prisma topográfico para carril – Linhas Carris

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge*

Os extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* permitem a medição indireta de deslocamentos muito pequenos por intermédio de sensores de corda vibrante que medem a extensão dos elementos estruturais aos quais se encontram ligados através de soldadura (Figura 12). Estes dispositivos serão instalados nas escoras metálicas que constituem a solução de travamento da contenção, permitindo medir a extensão acomodada pelas mesmas e consequentemente a força instalada aquando da execução dos trabalhos de escavação.

Deverão ser utilizados *strain-gauges* de corda vibrante, com campo de leitura não inferior a 3000με, resolução < 1,0με e precisão de ordem inferior a ± 0,5% da capacidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20ºC e +80ºC). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

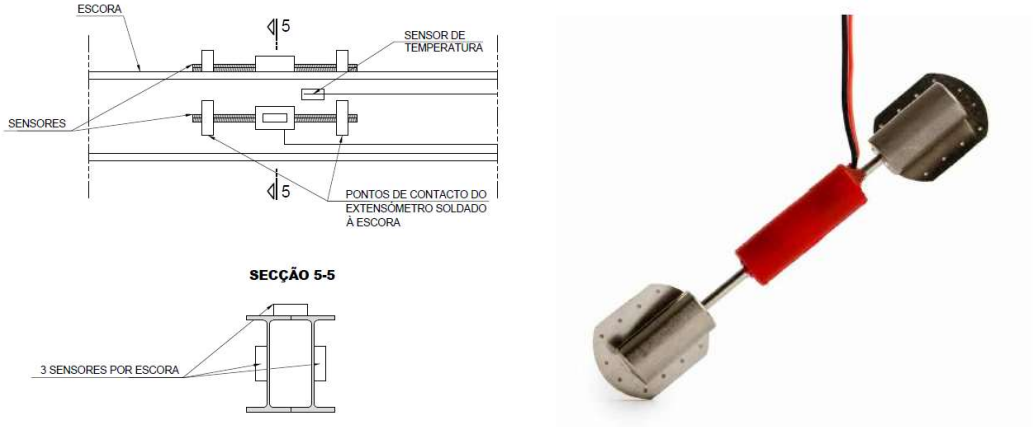


Figura 12 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge*

5.11 Fissurómetros

Este tipo de diapositivos permitirá acompanhar a evolução da abertura de uma determinada fissura.

Os fissurómetros a utilizar deverão ser planos e deverão permitir a realização de leituras de deslocamentos na horizontal e na vertical. Será ainda necessário que possuam capacidade resistente adequada às intempéries, devendo ser fixos de forma adequada (mecanicamente).

O seu alcance máximo será, no mínimo de 25 mm, na horizontal e 10 mm na vertical, devendo a sua resolução ser, no mínimo, de 0,1 mm (Figura 13). Para garantir esta resolução será necessário recorrer no ato da medição a uma craveira digital que se acopla ao fissurómetro.

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

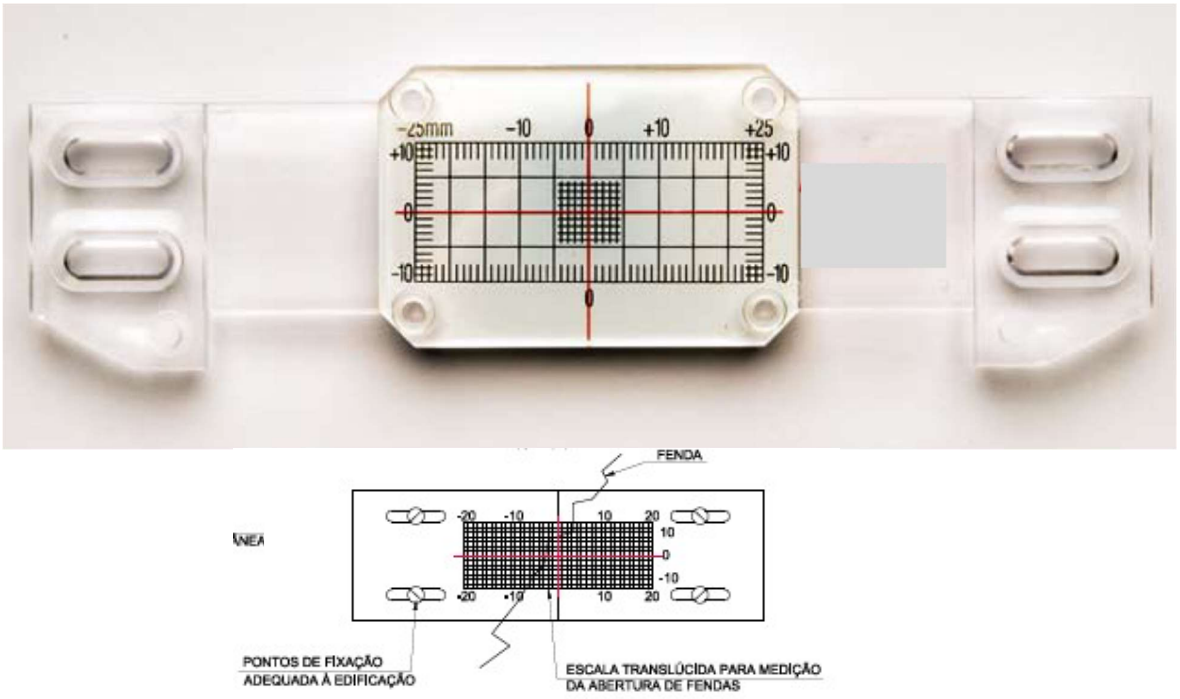


Figura 13 – Fissurómetro

5.12 Células de carga

O recurso a células de carga em ancoragens permitirá o acompanhamento da evolução e magnitude da tração instalada nestes elementos em fase de obra.

As células de carga a adotar nas ancoragens provisórias serão do tipo elétrico.

Em condições normais de leitura, o erro associado a estes dispositivos não deverá ultrapassar os ± 0,1% da capacidade máxima de leitura. A sua capacidade máxima de leitura deverá ser superior aos 1500 kN.

A instalação das células de carga será efetuada antes da realização do ensaio de receção detalhado da ancoragem. As células serão posicionadas sobre a chapa de apoio da ancoragem,

sendo posteriormente colocada uma chapa metálica rígida adicional e posteriormente a placa de distribuição das cunhas.

A superfície de contacto com a célula deve estar plana e limpa. A colocação da célula deve ser criteriosa, de forma a que a mesma fique centrada com o eixo da aplicação da carga, evitando-se assim excentricidades, com consequência no rigor das leituras (Figura 14). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

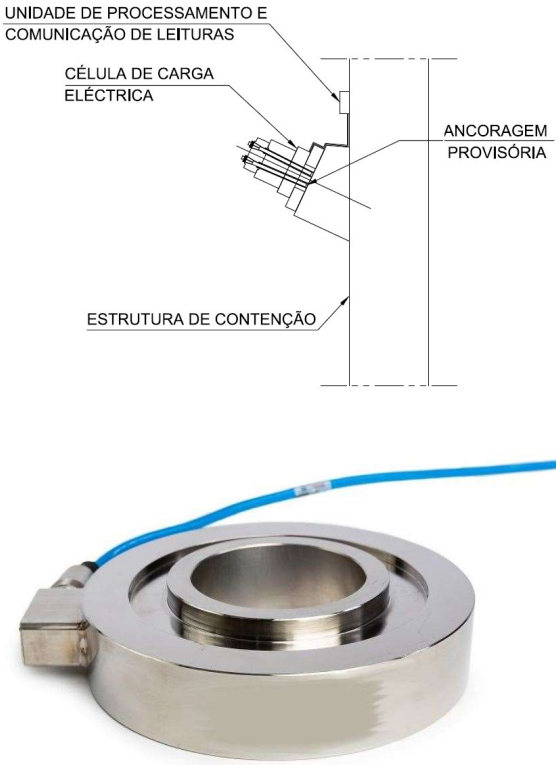


Figura 14 – Célula de carga em ancoragens

5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas

Face aos condicionamentos associados à necessidade de monitorizar as galerias subterrâneas durante a sua execução, a medição das convergências será materializada recorrendo a elemento ótico que permitirá, em condições mais adversas obter com maior precisão leituras de deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A instalação destes dispositivos de forma sistemática e em vários pontos de leitura em seção transversal de cada galeria a executar, permitirá ler não só os deslocamentos do ponto monitorizado, mas também criar secções de medição de convergências, através do controlo de diferentes cordas.

O sistema de fixação destes dispositivos é mecânico e deverá ser realizado ao betão projetado do suporte primário (através de resina epóxi ou de calda de cimento de presa rápida). Na sua extremidade visível a barra é roscada, de forma a permitir acoplar o prisma (Figura 15).

A sua colocação não deverá ultrapassar o primeiro dia após a realização total do suporte primário. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

De modo a permitir a instalação dos prismas o mais rápido possível, antes que a espessura total do suporte primário esteja aplicada, serão utilizados dispositivos de proteção da fixação que permitirão proteger o elemento de fixação do prisma durante a aplicação das sucessivas camadas de betão projetado (Figura 15).

Figura 15 – Prisma de convergência

5.14 Sismógrafo

Preconiza-se durante a fase de construção o posicionamento de sismógrafos junto às edificações mais vulneráveis. Pretende-se o registo das velocidades e frequências de vibrações eventualmente provocadas pela execução dos trabalhos de construção (Figura 16).

As medições de vibrações serão feitas através de um geofone triaxial com uma capacidade de leitura de 2-250 Hz (janela de calibração mínima 1-160 Hz). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

No caso dos sismógrafos utilizados simultaneamente para a monitorização dos limites de integridade estrutural e de vibrações de incomodidade humana, serão adotados dispositivos com a sensibilidade necessária à monitorização dos respetivos limites (conforme Plano de Monitorização Ambiental).

Figura 16 – Sismógrafo

5.15 Clinómetro

Os clinómetros permitiram a medição da variação de inclinação das paredes dos edifícios. Quando possível, estes fornecerão leituras remotamente, sendo constituídos por bases de leitura em bronze, concebidas para garantir o posicionamento preciso e repetitivo do equipamento de leitura (Figura 17).

As bases de leitura serão fixas de forma mecânica e permanente à estrutura, sendo instaladas diretamente, normalmente na vertical, ou soldadas numa chapa em T, de dimensões adequadas para permitir a sua instalação na horizontal em elementos verticais.

O equipamento de leitura será constituído por sensor instalado num elemento em aço inoxidável, permitindo a realização de leituras nas bases instaladas em superfície verticais ou horizontais, através de uma unidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -30ºC e +70ºC).

O equipamento de leitura possuirá no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura: ± 15º a partir da vertical
- Resolução: 0,0013º
- Precisão: < 0,06% da capacidade máxima de leitura

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

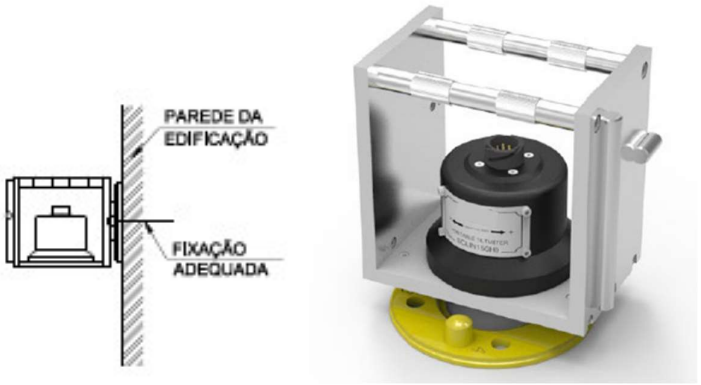


Figura 17 – Clinómetro

5.16 Prisma topográfico de referência

Para garantir a adequada leitura dos vários dispositivos topográficos instalados será necessário posicionar elementos adicionais que constituirão a sua referência. Constituem dispositivos de precisão de leitura ótica, sendo utlizados para a realização de leituras nos eixos X, Y e Z (Figura 18). À semelhança dos anteriores também estes dispositivos têm uma importância crítica na criação de uma rede de instrumentação, pois permitem ter um conjunto de coordenadas de referência invariáveis e não-suscetíveis a deslocamentos. Nesse sentido, a escolha da sua localização deve ser realizada de forma criteriosa.

Procurou-se distribuir este tipo de dispositivos de forma a garantir que possuem alcance até cerca de 200 metros, sendo necessário garantir visibilidade direta entre este elemento e aquele que se pretende ler. Cada dispositivo a ler (prisma topográfico) deverá estar referenciado, no mínimo, a 3 unidades de referência, de forma a permitir a existência de redundância e consequentemente, o controlo cruzado entre os vários dispositivos.

O prisma ótico encontra-se acoplado a uma haste metálica robusta que será adequadamente fixa à parede do elemento que será considerado como fixo.

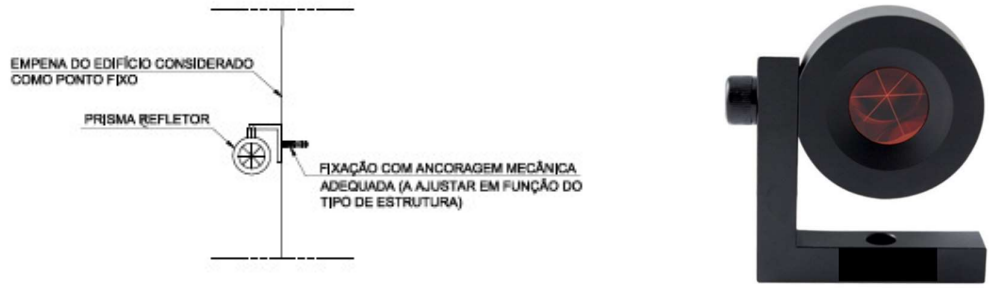


Figura 18 – Prisma topográfico de referência

5.17 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5” e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 19).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

.

Figura 19 – Estação total robotizada

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 12.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 20).

Figura 20 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 21).

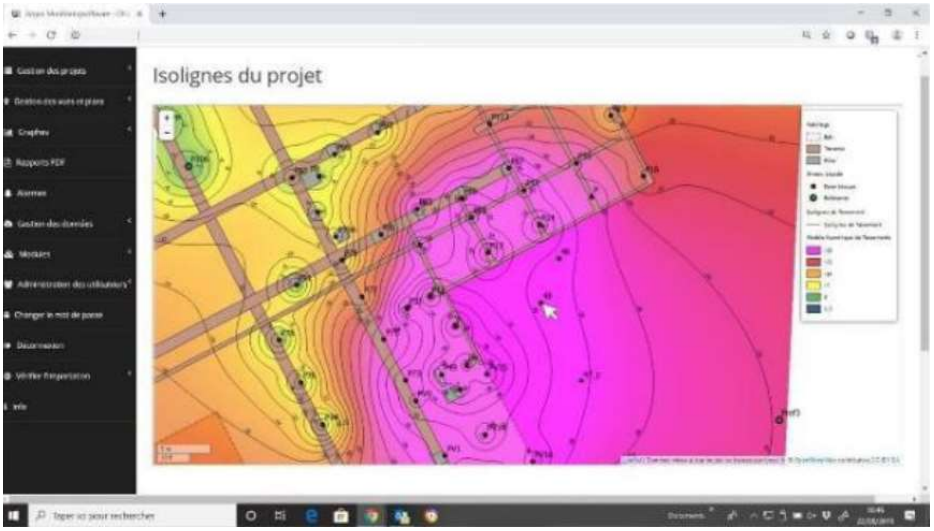


Figura 21 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 22).

Figura 22 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 12.2.

11 REQUISITOS PARTICULARES DO SISTEMA DE OBSERVAÇÃO EM INTERFERÊNCIAS

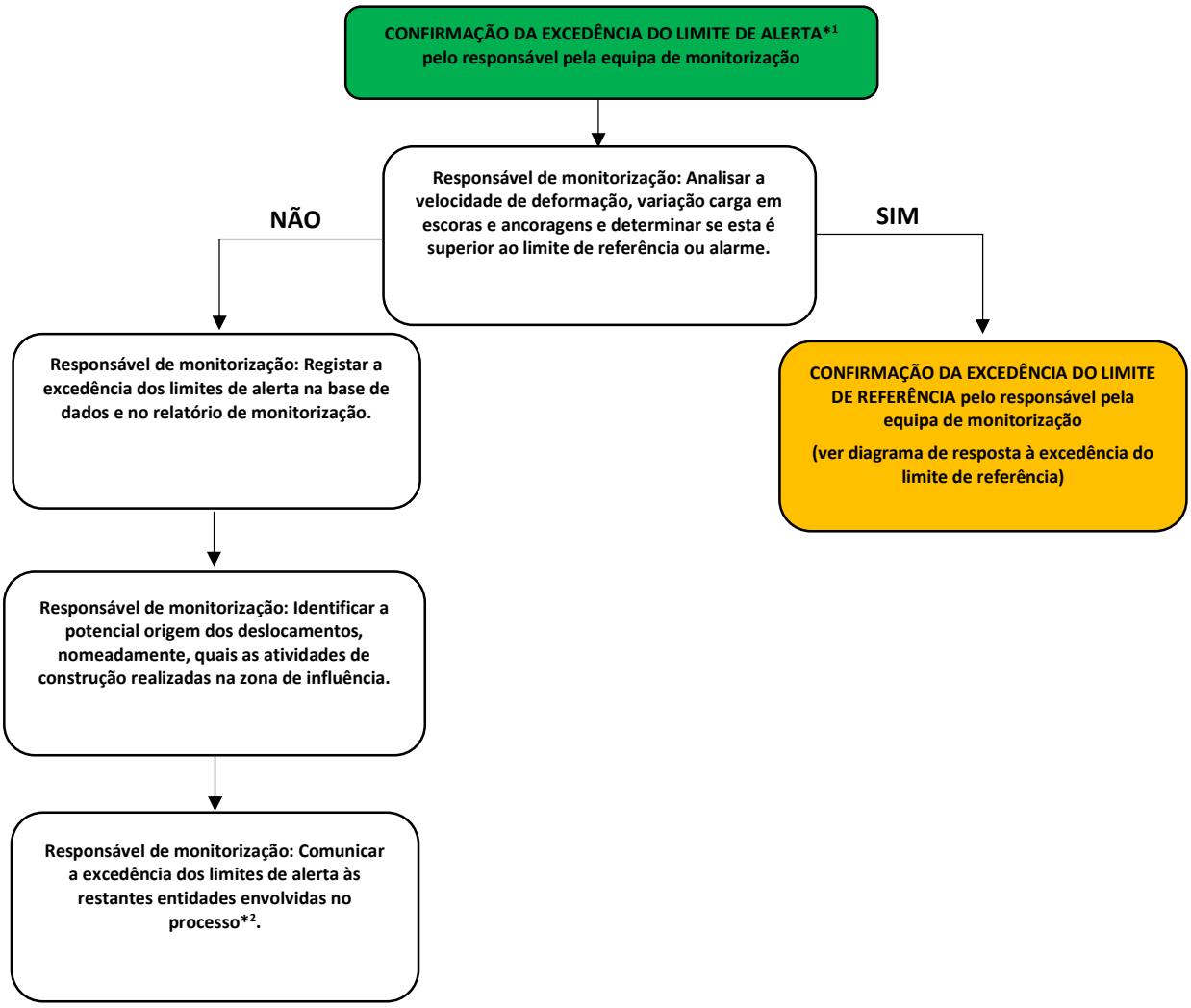
11.1 Monitorização de captações de água

No que se refere ao impacto das obras de escavação nos níveis de água de captações existentes na zona de influência dos trabalhos, todos os piezómetros a instalar em redor da obra terão níveis de alerta, referência e alarme indicados. Serão também definidas medidas de mitigação, de referência, a implementar caso o nível de alerta seja excedido.

12 ANEXOS

12.1 Anexo A - Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

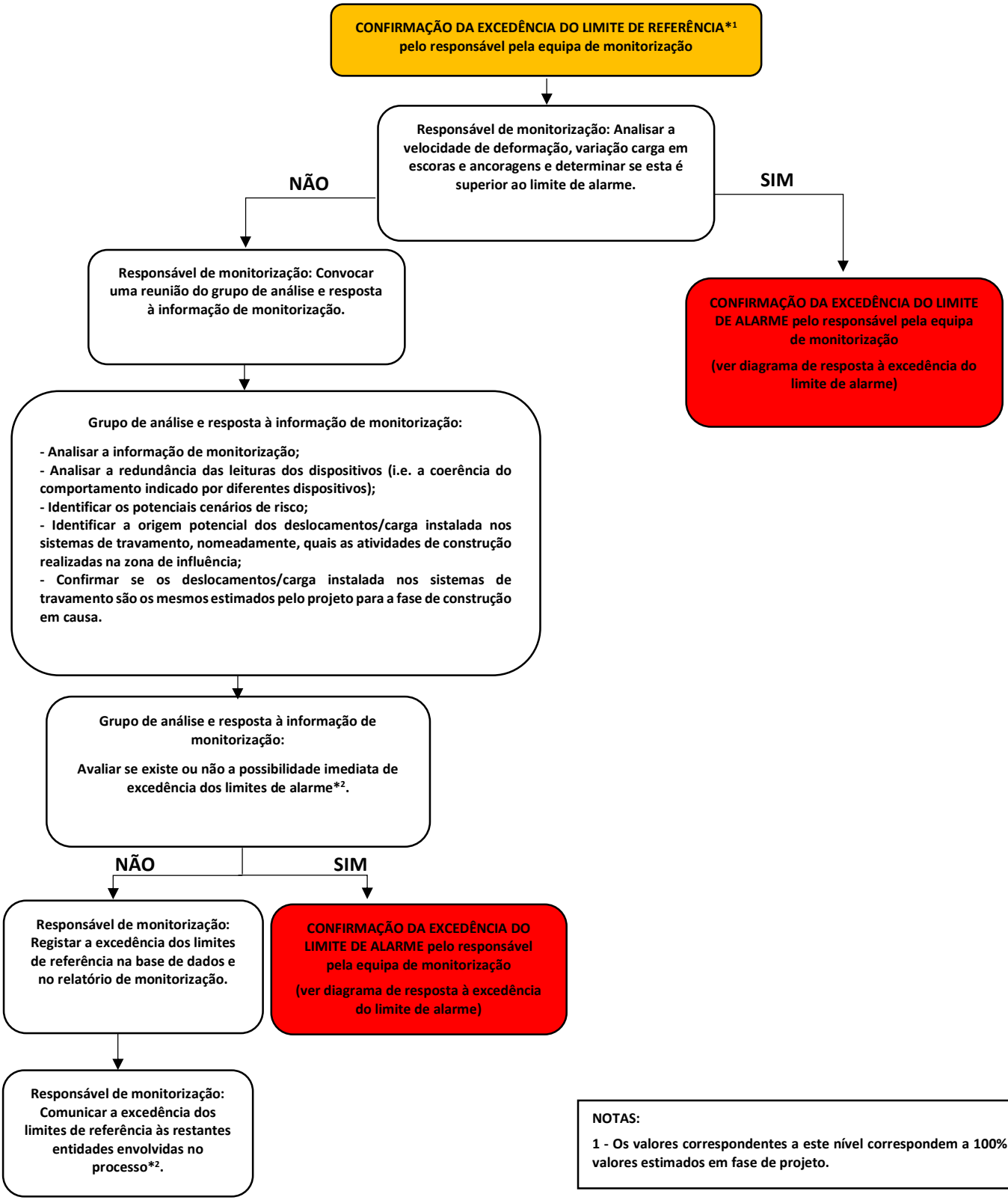
DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA



NOTAS:

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- **Analisar a informação de monitorização;**
- **Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);**
- **Identificar os potenciais cenários de risco;**
- **Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;**
- **Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.**

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

<u>IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO</u>

- **Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;**
- **Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;**
- **Realização de inspeções visuais à estrutura;**
- **Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;**
- **Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;**

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

<u>IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO</u>

- **Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;**
- **Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;**
- **Realização de inspeções visuais à estrutura;**
- **Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;**
- **Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.**

<u>IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO</u>

Consultar os seguintes quadros:

- **Quadro A – Túnel NATM**

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*[3].

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 - As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

12.2 Anexo B - Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – Túnel NATM

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Redução da distância de avanço de escavação;
- Aumento da densidade de pregagens de fibra de vidro na frente de escavação;
- Realização de chapéu de enfilagens nos avanços intermédios;
- Realização de furos de drenagem adicionais na frente e/ou nos hasteais;
- Aplicação de betão projetado na frente de escavação;
- Aumento da parcialização da escavação da frente;
- Inclusão de rede electrossoldada entre cambotas;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da frente de escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-10	Emissão inicial

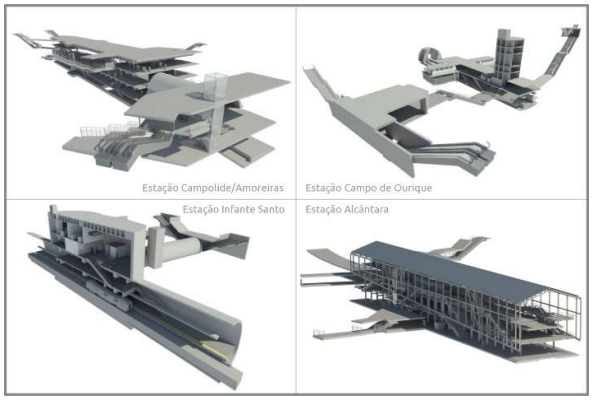
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO

PROJETO DE EXECUÇÃO



TOMO I

VOLUME 40 - PLANO DE OBSERVAÇÃO – T82

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS TUN T82 MD 087001 0

	Nome	**Assinatura**	**Data**
Elaborado	Francisco Bernardo Pedro Nogueira		2024-10-10
Revisto	Sandra Ferreira		2024-10-10
Verificado	Rui Rodrigues		2024-10-10
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-10
Aprovado			

	Nome	**Assinatura**	**Data**
Gestor Projeto	Raúl Pistone		2024-10-10

1 OBJETIVO E ÂMBITO 5

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 6

3 GRANDEZAS A MEDIR 9

3.1 Escavações subterrâneas 9
3.2 Edificações 10
4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 11

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 11

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 11
5.2 Prisma topográfico para pavimento 12
5.3 Extensómetro multiponto 12
5.4 Inclinómetros 14
5.5 Sensor de nível líquido 16
5.6 Piezómetro elétrico 16
5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC 17
5.8 Piezómetro do tipo Casagrande - câmara simples, dupla ou tripla 18
5.9 Prisma topográfico para carril 19
5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* 20
5.11 Fissurómetros 21
5.12 Células de carga 21
5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas 22
5.14 Sismógrafo 23
5.15 Clinómetro 25
5.16 Prisma topográfico de referência 25
5.17 Estação total robotizada 26
6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 27

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 30

7.1 Critérios de alerta e alarme 30
8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 31

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 33

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 33

11 REQUISITOS PARTICULARES DO SISTEMA DE OBSERVAÇÃO EM INTERFERÊNCIAS 34

11.1 Interferência 82 - Caneiro De Alcântara 34

11.2 Interferência 381a – Baluarte do Livramento 34

11.3 Monitorização de captações de água 34

12 ANEXOS 35

12.1 Anexo A - Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 35

12.2 Anexo B - Medidas de atuação/ plano de contingência 39

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Anteprojeto**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação,** desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo **II** do **Volume 4 – T82.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça ”dinâmica” e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

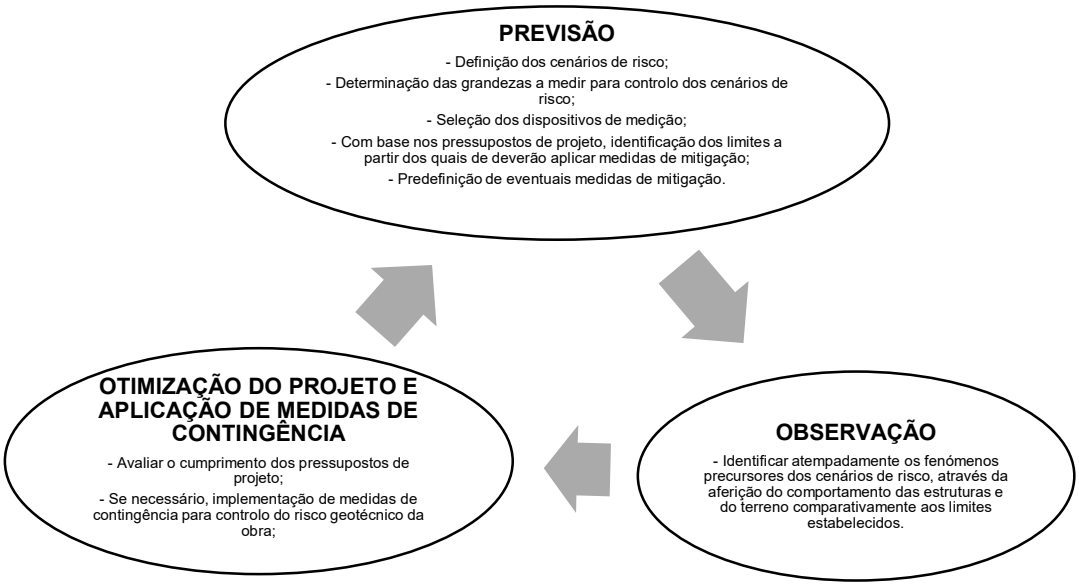


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência. Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada aos túneis NATM, nomeadamente:

- Troço 81, 82, 83, 84 e 85;
- Tímpano de São Sebastião (OE1);
- Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3);
- Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4);
- Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7).

Para cada um destes locais, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
Túnel Troço 81, 82, 83, 84 e 85	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X
Tímpano de São Sebastião (OE1)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7)	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais e convergências no interior de galerias subterrâneas recorrendo a prismas topográficos.
- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros.
- Medição da abertura de fendas em edifícios, utilizando fissurómetros.
- Medições de deslocamentos verticais internos do maciço e à superfície, com extensómetros multiponto.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições de deslocamentos verticais e horizontais nos pavimentos e carris utilizando prismas de pavimento e de carris.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.
- Medições de deslocamentos axiais de elementos estruturais recorrendo a extensómetros (tipo *strain gauges*).
- Medição de deslocamentos de precisão na estrutura interior de edifícios, utilizando sensores de nível liquido.

3.1 Escavações subterrâneas

A avaliação da evolução do comportamento das obras subterrâneas será realizada através do registo dos deslocamentos do terreno e observação de eventuais fissurações no revestimento primário. Para tal serão criadas secções de medição de convergências e deslocamentos, onde serão instalados, em geral, 3 prismas para secções cuja maior dimensão seja menor ou igual a 10 m e 5 prismas para secções com a maior dimensão superior a 10 m. Para a secções com 3 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 1 em cada hasteal, que permitirão para além dos deslocamentos nesses pontos, o controlo de 3 cordas diferentes. Para a secções com 5 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 2 em cada hasteal, acima e abaixo do eixo da galeria, que permitirão o controlo de 6 cordas diferentes.

No terreno e à superfície serão executados extensómetros multiponto, inclinómetros e prismas topográficos no pavimento, em carris e em edifícios.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, para além dos deslocamentos será também avaliada a variação/presença de água através da instalação de piezómetros.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes. Quando necessário, assumem particular destaque aos drenos longitudinais realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

3.2 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

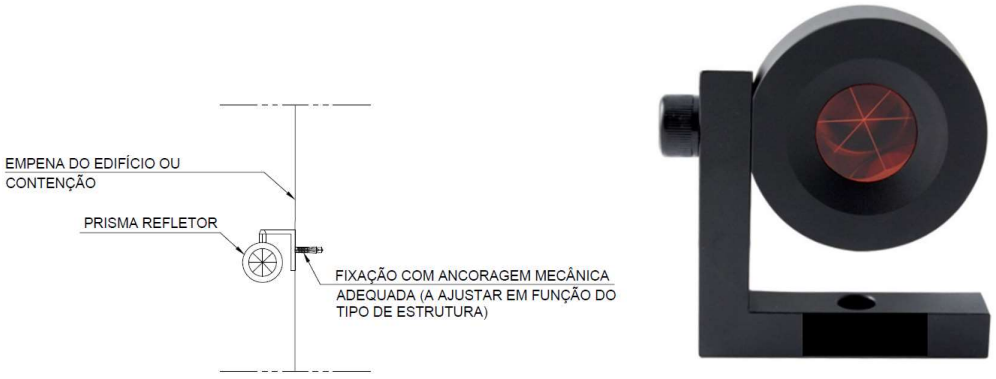


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Prisma topográfico para pavimento

Os prismas topográficos para pavimento consistem num elemento adequadamente fixo ao pavimento com elevada resistência ao tráfego pedonal e rodoviário, materializado por meio de uma placa metálica que permite a realização leituras dos deslocamentos verticais.

As leituras serão efetuadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

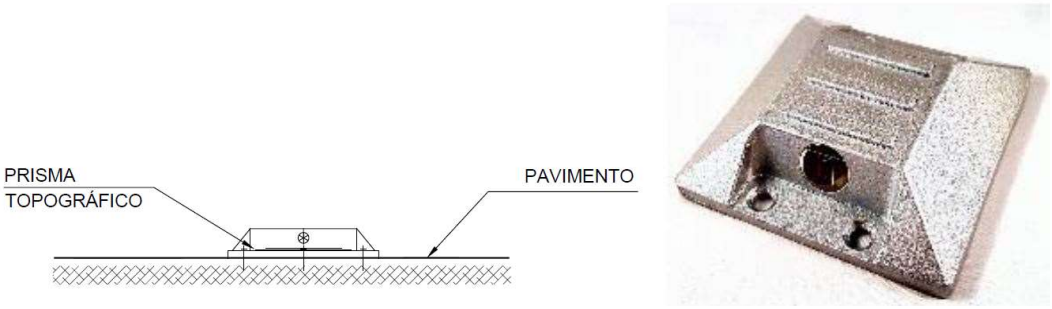


Figura 3 - Prisma topográfico para pavimento

5.3 Extensómetro multiponto

Os extensómetros permitem o controlo dos deslocamentos verticais em profundidade e encontram-se definidos nas seções de monitorização onde também estão previstas medições de deslocamentos e convergências no interior das galerias subterrâneas (Figura 4).

Os extensómetros terão 1 ou 2 ancoragens fixadas a diferentes profundidades. O sensor de deslocamento deverá ser do tipo corda vibrante dotado com sensor de temperatura.

Do conjunto deste dispositivo deverá fazer parte integrante:

- Barras/varas em aço inoxidável ou fibra de vidro

- Ancoragem (injetável com calda de cimento ou tipo *packer*)
- Bainha de encamisamento das barras/varas
- Cabeça de referência do elétrico

O extensómetro será instalado em furo previamente executado de diâmetro, no mínimo, de Ø76 mm (furação destrutiva), que terá um comprimento superior à profundidade de instalação de cerca de 1,00 m.

As cabeças dos extensómetros deverão ser equipadas com um prisma topográfico que permita obter as leituras à superfície. Aos valores das leituras das ancoragens deverão ser adicionados os assentamentos de superfície obtidos através dos prismas.

Os componentes serão montados de acordo às indicações do fabricante e instalados no furo nas cotas previstas função do seu comprimento total. Existirá uma ancoragem na extremidade correspondente à base do furo e uma segunda a 1/3 do seu comprimento total.

Uma vez finalizado o posicionamento do dispositivo, proceder-se-á a sua selagem por meio de calda de cimento.

As cabeças dos extensómetros serão protegidas por caixas com tampas metálicas adequadas.

O dispositivo será de leitura elétrica, o sensor de deslocamento ou transdutor, será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20ºC e +80ºC), possuindo no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura ≥ 100mm
- Precisão < 0,30% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,0066% da capacidade de leitura

O dispositivo será calibrado antes de ser utilizado e as leituras serão realizadas a partir da superfície. Após a realização da medição, os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

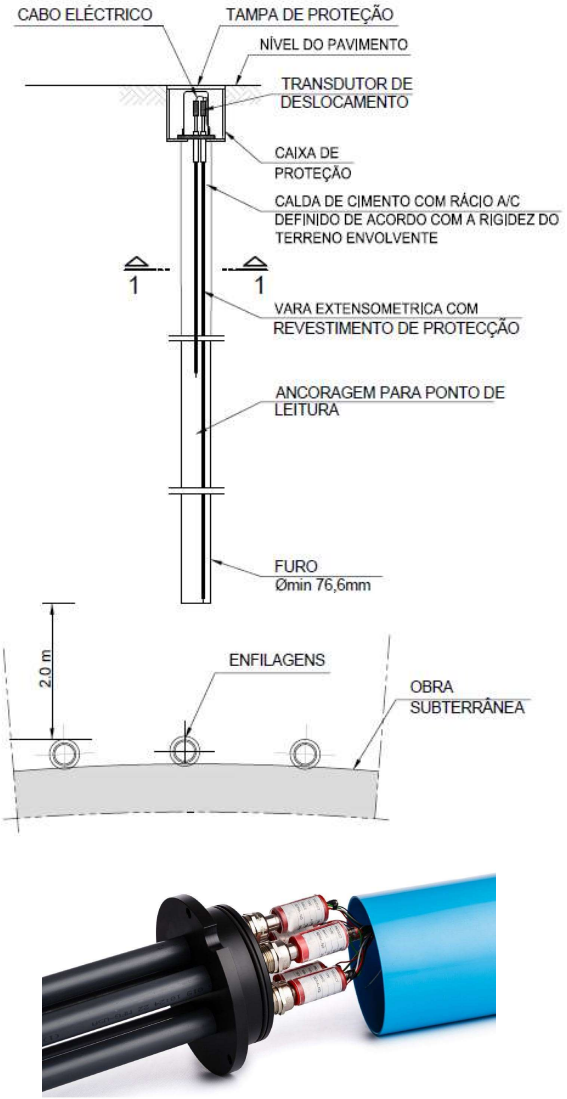


Figura 4 – Extensómetro multiponto

5.4 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90º. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma

escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

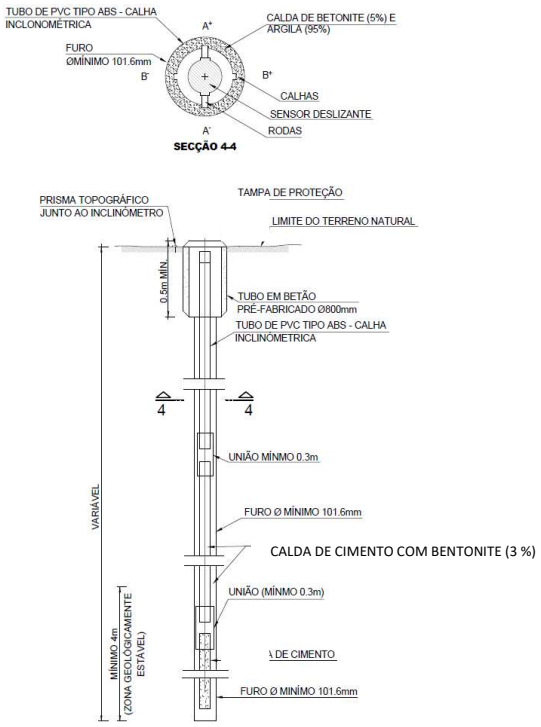


Figura 5 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.5 Sensor de nível líquido

O sensor de nível líquido permite medir deslocamentos diferenciais e totais entre diversos pontos de uma estrutura. É constituído por um conjunto de sensores de elevada precisão que medem continuamente a variação de nível de um líquido num circuito fechado. O conjunto de sensores encontra-se ligado a um depósito que constitui o nível de referência do sistema (Figura 6). Os deslocamentos totais podem ser obtidos através da soma dos deslocamentos diferenciais com os deslocamentos totais do nível de referência, no caso de este último estar sujeito a movimentos.

As leituras serão realizadas automaticamente e enviadas para a base de dados de monitorização.

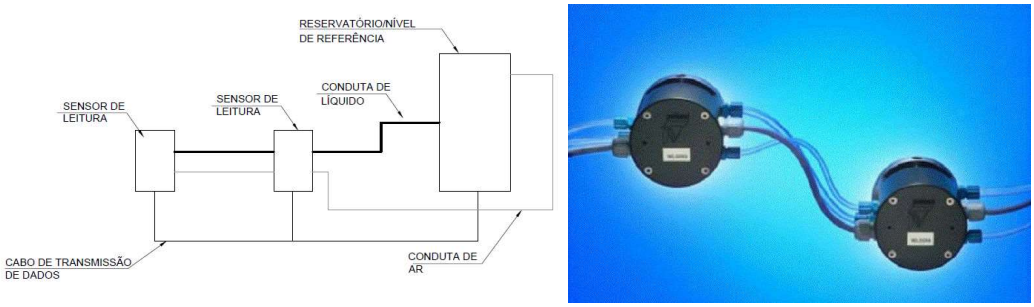


Figura 6 – Sensor de nível líquido

5.6 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 7).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa
- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

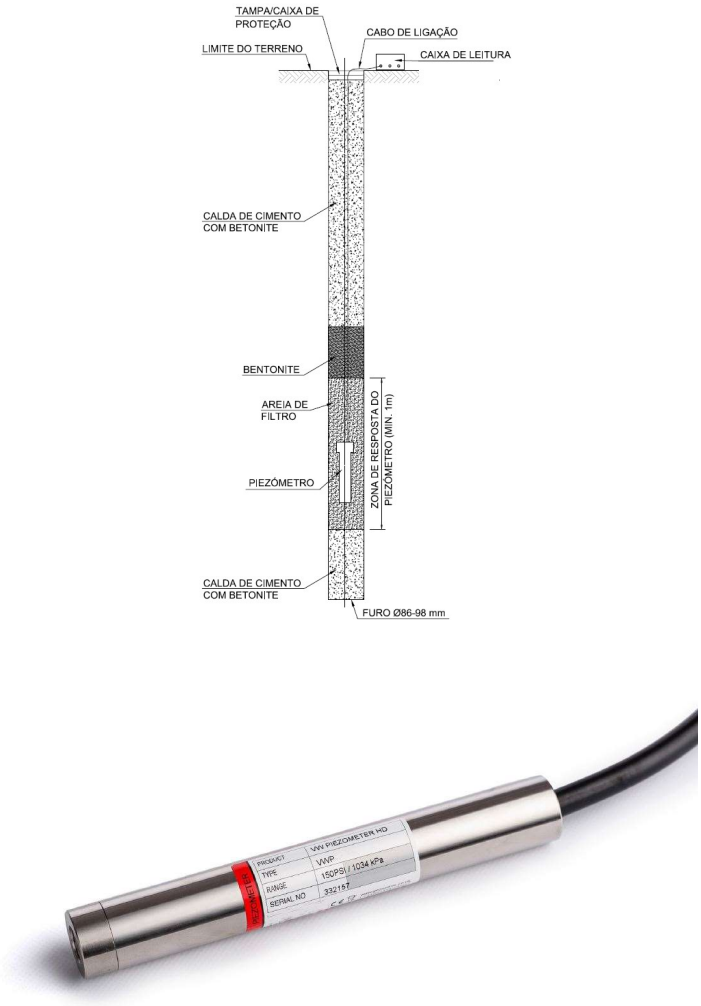


Figura 7 - Piezómetro elétrico com uma câmara

5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC

Os piezómetros com ponteira do tipo LNEC são um tipo de piezómetro recomendado para medição do nível de água em formações de muito baixa permeabilidade, cuja zona de resposta se localiza na extremidade inferior do piezómetro (ponteira) (Figura 8). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

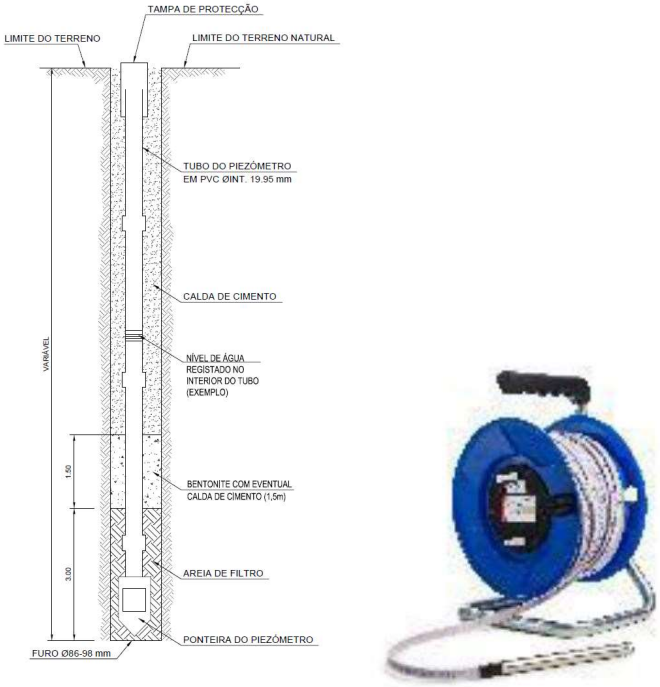


Figura 8 - Piezómetro com ponteira do tipo LNEC

5.8 Piezómetro do tipo Casagrande - câmara simples, dupla ou tripla

Os piezómetros do tipo Casagrande permitem a aferição de aquíferos a diferentes profundidades. São constituídos por troços tubos com 75 mm de diâmetro, solidarizados entre si através de uniões exteriores. Na zona onde se pretende efetuar a leitura do nível piezométrico esses tubos apresentam ranhuras com 4,5mm de espessura sendo a sua zona envolvente preenchida com areia (Figura 9 – piezómetro duplo). O número de tubos ou zonas de resposta dita a sua designação, ou seja de câmara simples – 1 tubo, câmara dupla – 2 tubos ou de câmara tripla – 3 tubos.

Na sua extremidade esses tubos são envoltos com geotêxtil (Figura 9). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

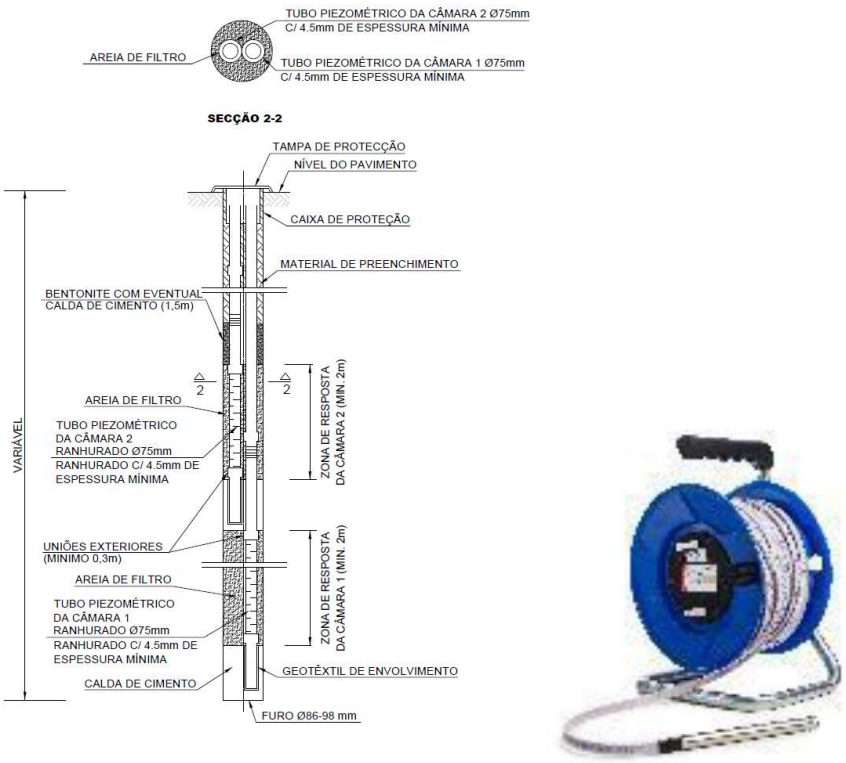


Figura 9 - Piezómetro do tipo Casagrande – Câmara dupla

5.9 Prisma topográfico para carril

Os prismas topográficos para carril, consistem num prisma instalado nas travessas das linhas do comboio da IP (Figura 10) ou num prisma para pavimento fixo entre os carris para as linhas da Carris (Figura 11). Este elementos permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X,Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada.

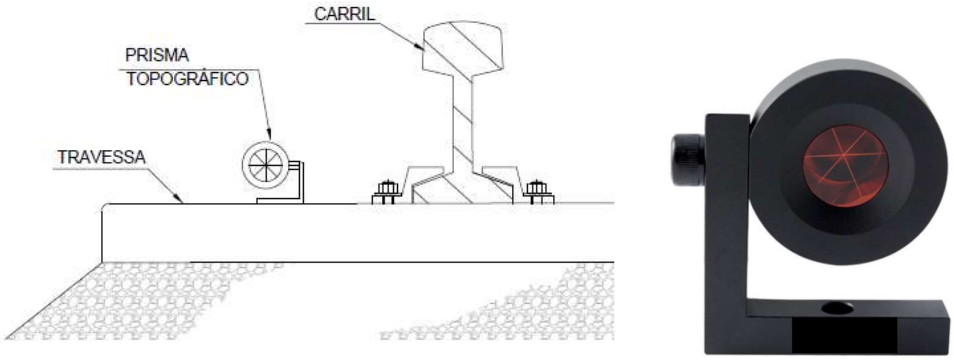


Figura 10 – Prisma topográfico para carril – Linhas IP

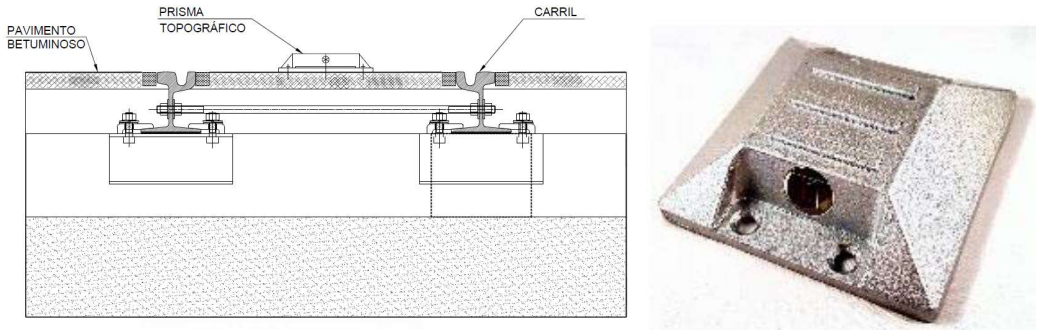


Figura 11 – Prisma topográfico para carril – Linhas Carris

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge*

Os extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* permitem a medição indireta de deslocamentos muito pequenos por intermédio de sensores de corda vibrante que medem a extensão dos elementos estruturais aos quais se encontram ligados através de soldadura (Figura 12). Estes dispositivos serão instalados nas escoras metálicas que constituem a solução de travamento da contenção, permitindo medir a extensão acomodada pelas mesmas e consequentemente a força instalada aquando da execução dos trabalhos de escavação.

Deverão ser utilizados *strain-gauges* de corda vibrante, com campo de leitura não inferior a 3000με, resolução < 1,0με e precisão de ordem inferior a ± 0,5% da capacidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20ºC e +80ºC). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

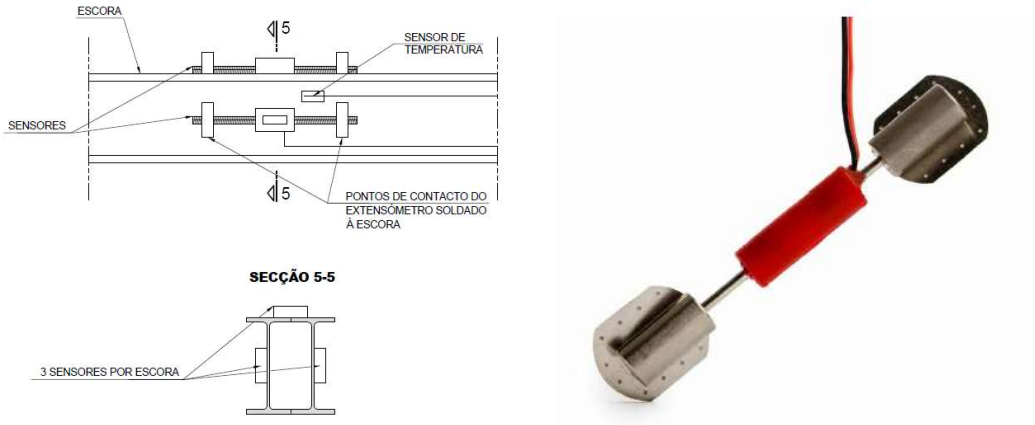


Figura 12 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge*

5.11 Fissurómetros

Este tipo de diapositivos permitirá acompanhar a evolução da abertura de uma determinada fissura.

Os fissurómetros a utilizar deverão ser planos e deverão permitir a realização de leituras de deslocamentos na horizontal e na vertical. Será ainda necessário que possuam capacidade resistente adequada às intempéries, devendo ser fixos de forma adequada (mecanicamente).

O seu alcance máximo será, no mínimo de 25 mm, na horizontal e 10 mm na vertical, devendo a sua resolução ser, no mínimo, de 0,1 mm (Figura 13). Para garantir esta resolução será necessário recorrer no ato da medição a uma craveira digital que se acopla ao fissurómetro.

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

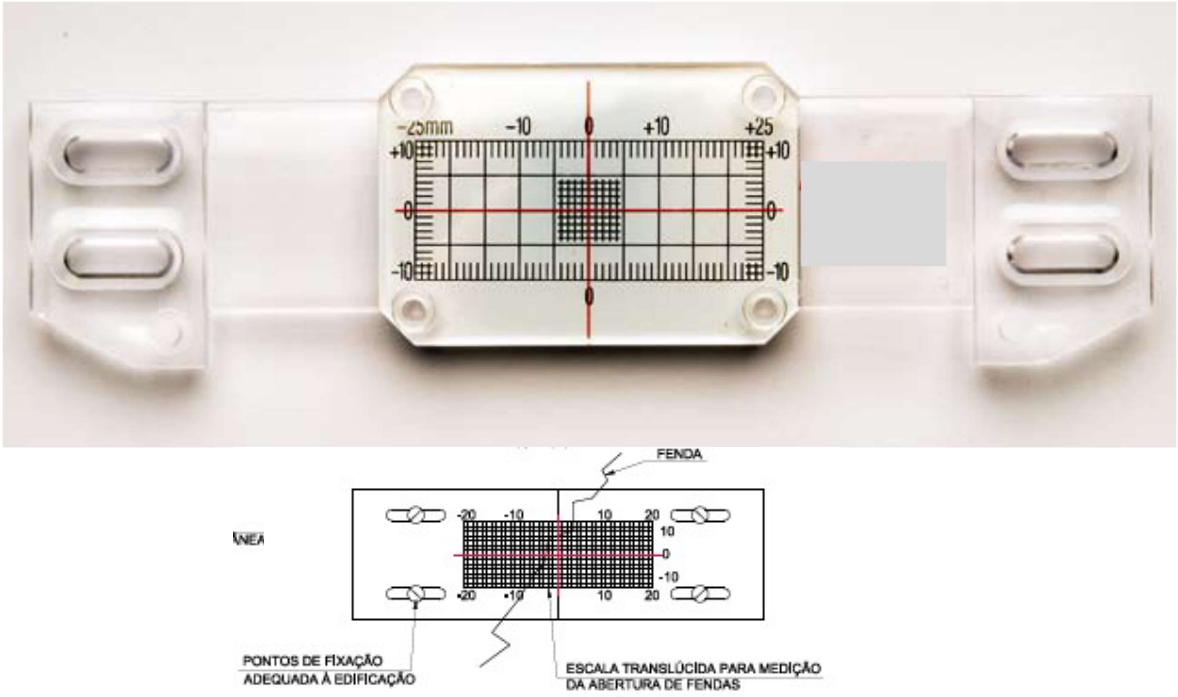


Figura 13 – Fissurómetro

5.12 Células de carga

O recurso a células de carga em ancoragens permitirá o acompanhamento da evolução e magnitude da tração instalada nestes elementos em fase de obra.

As células de carga a adotar nas ancoragens provisórias serão do tipo elétrico.

Em condições normais de leitura, o erro associado a estes dispositivos não deverá ultrapassar os ± 0,1% da capacidade máxima de leitura. A sua capacidade máxima de leitura deverá ser superior aos 1500 kN.

A instalação das células de carga será efetuada antes da realização do ensaio de receção detalhado da ancoragem. As células serão posicionadas sobre a chapa de apoio da ancoragem, sendo posteriormente colocada uma chapa metálica rígida adicional e posteriormente a placa de distribuição das cunhas.

A superfície de contacto com a célula deve estar plana e limpa. A colocação da célula deve ser criteriosa, de forma a que a mesma fique centrada com o eixo da aplicação da carga, evitando-se assim excentricidades, com consequência no rigor das leituras (Figura 14). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

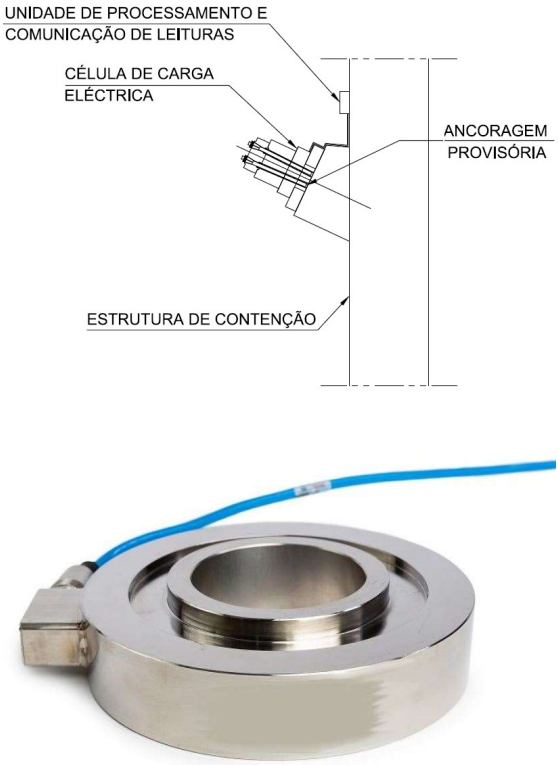


Figura 14 – Célula de carga em ancoragens

5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas

Face aos condicionamentos associados à necessidade de monitorizar as galerias subterrâneas durante a sua execução, a medição das convergências será materializada recorrendo a elemento ótico que permitirá, em condições mais adversas obter com maior precisão leituras de deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A instalação destes dispositivos de forma sistemática e em vários pontos de leitura em seção transversal de cada galeria a executar, permitirá ler não só os deslocamentos do ponto monitorizado, mas também criar secções de medição de convergências, através do controlo de diferentes cordas.

O sistema de fixação destes dispositivos é mecânico e deverá ser realizado ao betão projetado do suporte primário (através de resina epóxi ou de calda de cimento de presa rápida). Na sua extremidade visível a barra é roscada, de forma a permitir acoplar o prisma (Figura 15).

A sua colocação não deverá ultrapassar o primeiro dia após a realização total do suporte primário. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

De modo a permitir a instalação dos prismas o mais rápido possível, antes que a espessura total do suporte primário esteja aplicada, serão utilizados dispositivos de proteção da fixação que permitirão proteger o elemento de fixação do prisma durante a aplicação das sucessivas camadas de betão projetado (Figura 15).

Figura 15 – Prisma de convergência

5.14 Sismógrafo

Preconiza-se durante a fase de construção o posicionamento de sismógrafos junto às edificações mais vulneráveis. Pretende-se o registo das velocidades e frequências de vibrações eventualmente provocadas pela execução dos trabalhos de construção (Figura 16).

As medições de vibrações serão feitas através de um geofone triaxial com uma capacidade de leitura de 2-250 Hz (janela de calibração mínima 1-160 Hz). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

No caso dos sismógrafos utilizados simultaneamente para a monitorização dos limites de integridade estrutural e de vibrações de incomodidade humana, serão adotados dispositivos com a sensibilidade necessária à monitorização dos respetivos limites (conforme Plano de Monitorização Ambiental).

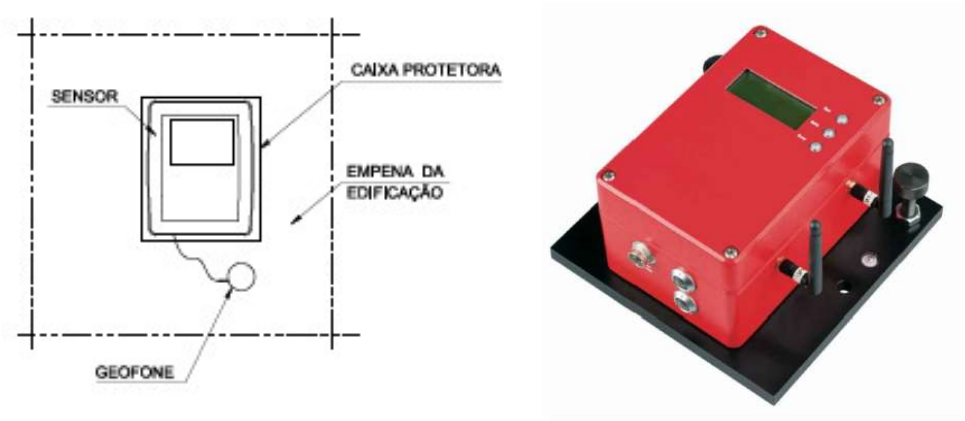


Figura 16 – Sismógrafo

5.15 Clinómetro

Os clinómetros permitiram a medição da variação de inclinação das paredes dos edifícios. Quando possível, estes fornecerão leituras remotamente, sendo constituídos por bases de leitura em bronze, concebidas para garantir o posicionamento preciso e repetitivo do equipamento de leitura (Figura 17).

As bases de leitura serão fixas de forma mecânica e permanente à estrutura, sendo instaladas diretamente, normalmente na vertical, ou soldadas numa chapa em T, de dimensões adequadas para permitir a sua instalação na horizontal em elementos verticais.

O equipamento de leitura será constituído por sensor instalado num elemento em aço inoxidável, permitindo a realização de leituras nas bases instaladas em superfície verticais ou horizontais, através de uma unidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -30ºC e +70ºC).

O equipamento de leitura possuirá no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura: ± 15º a partir da vertical
- Resolução: 0,0013º
- Precisão: < 0,06% da capacidade máxima de leitura

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

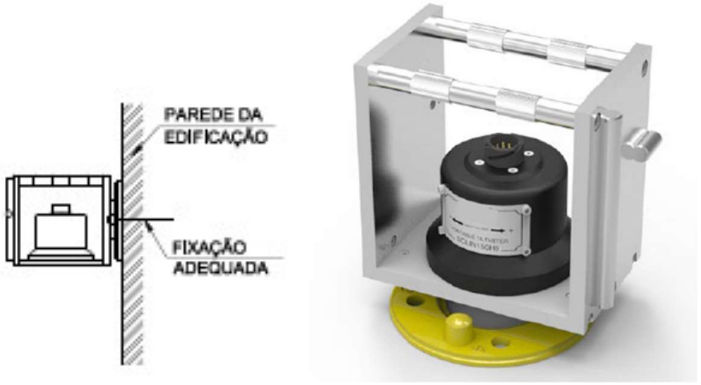


Figura 17 – Clinómetro

5.16 Prisma topográfico de referência

Para garantir a adequada leitura dos vários dispositivos topográficos instalados será necessário posicionar elementos adicionais que constituirão a sua referência. Constituem dispositivos de precisão de leitura ótica, sendo utlizados para a realização de leituras nos eixos X, Y e Z (Figura 18). À semelhança dos anteriores também estes dispositivos têm uma importância crítica na criação de uma rede de instrumentação, pois permitem ter um conjunto de coordenadas de referência invariáveis e não-suscetíveis a deslocamentos. Nesse sentido, a escolha da sua localização deve ser realizada de forma criteriosa.

Procurou-se distribuir este tipo de dispositivos de forma a garantir que possuem alcance até cerca de 200 metros, sendo necessário garantir visibilidade direta entre este elemento e aquele que se pretende ler. Cada dispositivo a ler (prisma topográfico) deverá estar referenciado, no mínimo, a 3 unidades de referência, de forma a permitir a existência de redundância e consequentemente, o controlo cruzado entre os vários dispositivos.

O prisma ótico encontra-se acoplado a uma haste metálica robusta que será adequadamente fixa à parede do elemento que será considerado como fixo.

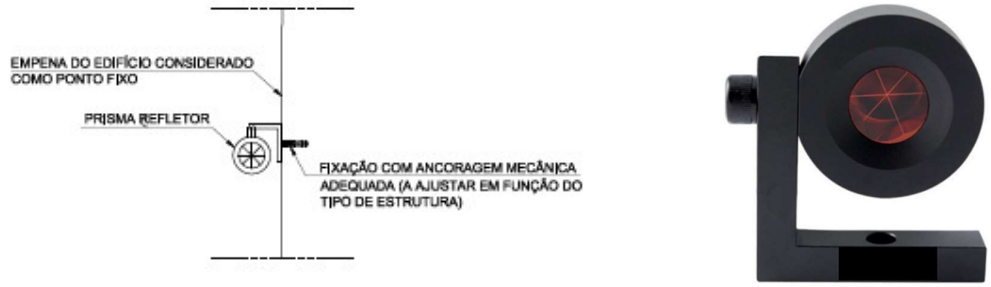


Figura 18 – Prisma topográfico de referência

5.17 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5” e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 19).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

Figura 19 – Estação total robotizada

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 12.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 20).

Figura 20 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 21).

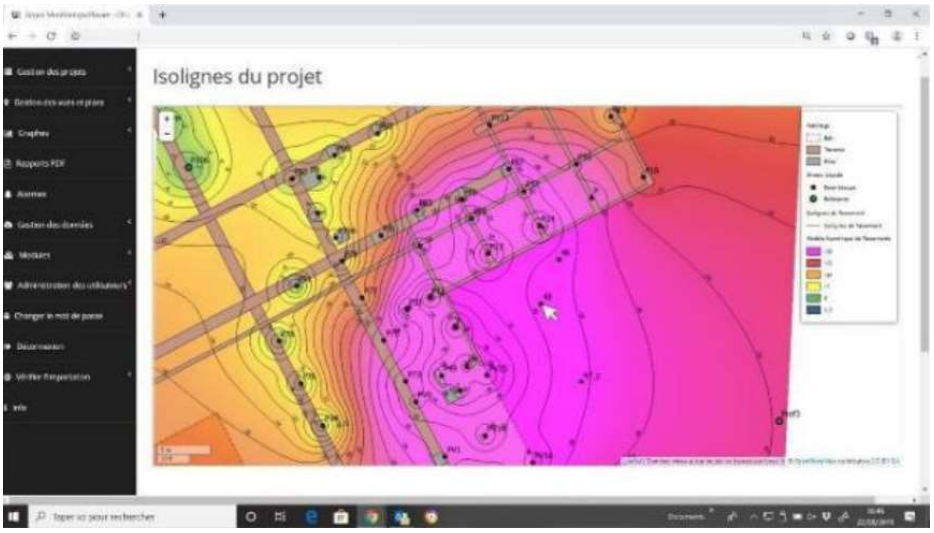


Figura 21 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 22).

Figura 22 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 12.2.

11 REQUISITOS PARTICULARES DO SISTEMA DE OBSERVAÇÃO EM INTERFERÊNCIAS

11.1 Interferência 82 - Caneiro De Alcântara

O Caneiro de Alcântara identificado com o número de Interferência 82 será objeto de requisitos particulares de instrumentação, tendo em conta as suas características estruturais e função. Genericamente, os requisitos referem-se à Instalação de dispositivos de monitorização que permitam a obtenção do perfil de deformação da estrutura, nomeadamente:

- Marcas de nivelamento à superfície entre o Pilar P3 e a escavação para o maciço de encabeçamento das estacas;
- Tubo inclinométrico nas proximidades da escavação, entre o Pilar P3 e a escavação para o maciço de encabeçamento das estacas;
- Instalação de dispositivos de monitorização no interior que permitam a obtenção do perfil de deformação da secção, num trecho de 15 m centrado com o eixo longitudinal do viaduto.

11.2 Interferência 381a – Baluarte do Livramento

O Baluarte do Livramento identificado com o número de Interferência 381a, será objeto de trabalhos que implicam a monitorização das encostas adjacentes. Nesse sentido, serão instalados dispositivos que permitam monitorizar a estabilidade das encostas adjacentes.

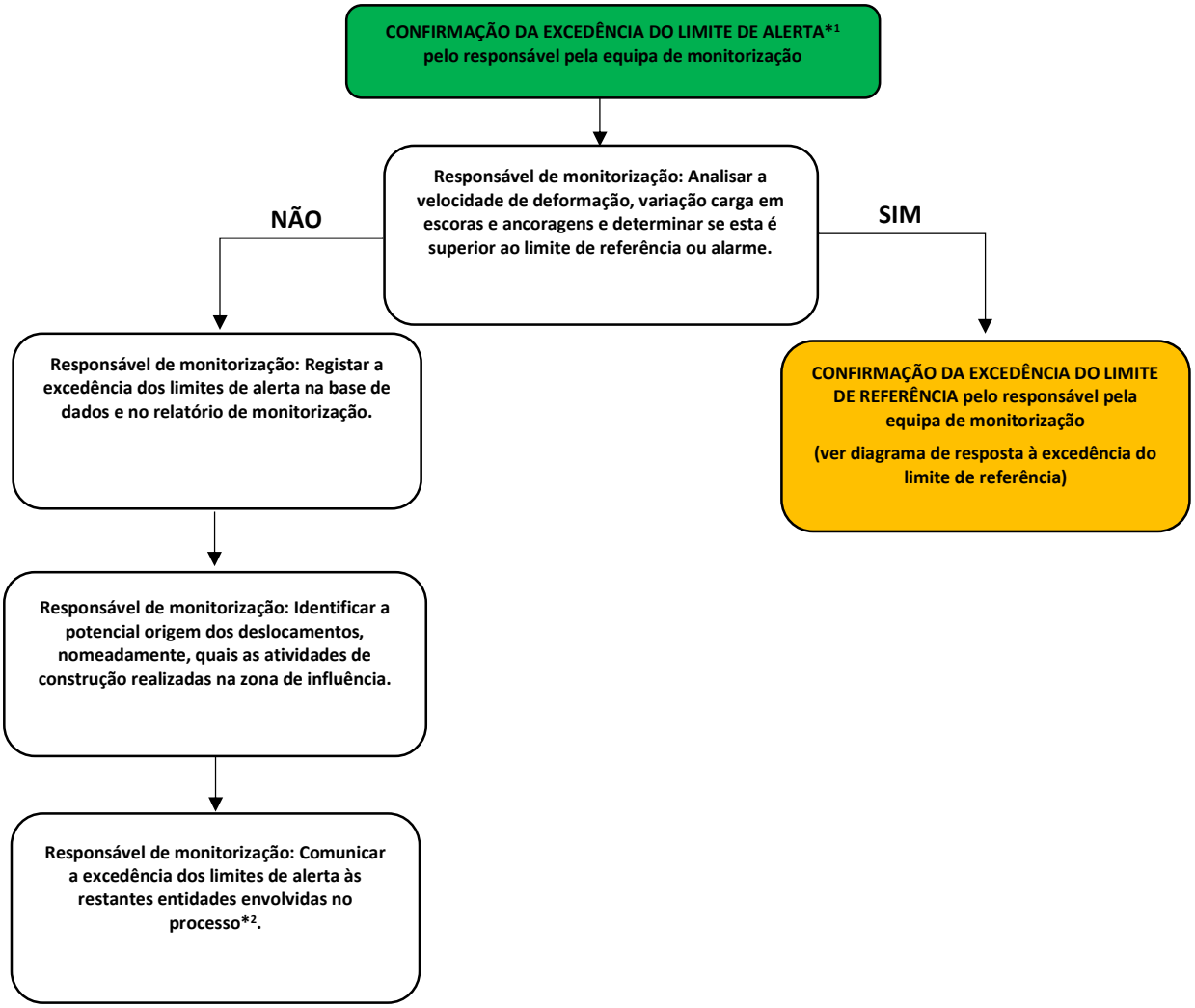
11.3 Monitorização de captações de água

No que se refere ao impacto das obras de escavação nos níveis de água de captações existentes na zona de influência dos trabalhos, todos os piezómetros a instalar em redor da obra terão níveis de alerta, referência e alarme indicados. Serão também definidas medidas de mitigação, de referência, a implementar caso o nível de alerta seja excedido.

12 ANEXOS

12.1 Anexo A - Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

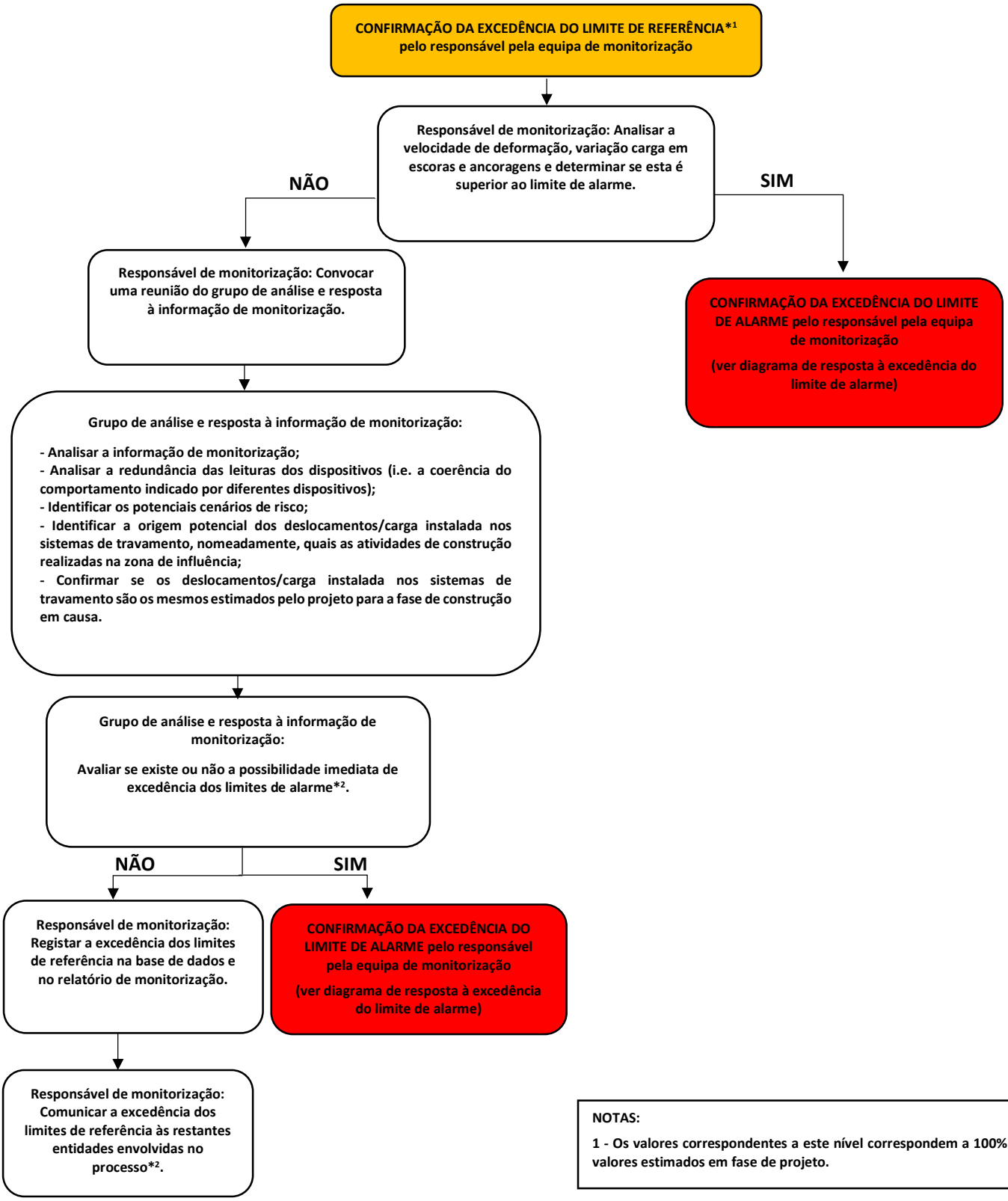
DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA



NOTAS:

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- **Analisar a informação de monitorização;**
- **Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);**
- **Identificar os potenciais cenários de risco;**
- **Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;**
- **Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.**

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- **Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;**
- **Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;**
- **Realização de inspeções visuais à estrutura;**
- **Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;**
- **Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;**

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- **Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;**
- **Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;**
- **Realização de inspeções visuais à estrutura;**
- **Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;**
- **Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.**

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- **Quadro A – Túnel NATM**

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*[3].

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 - As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

12.2 Anexo B - Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – Túnel NATM

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Redução da distância de avanço de escavação;
- Aumento da densidade de pregagens de fibra de vidro na frente de escavação;
- Realização de chapéu de enfilagens nos avanços intermédios;
- Realização de furos de drenagem adicionais na frente e/ou nos hasteais;
- Aplicação de betão projetado na frente de escavação;
- Aumento da parcialização da escavação da frente;
- Inclusão de rede electrossoldada entre cambotas;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da frente de escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-10	Emissão inicial

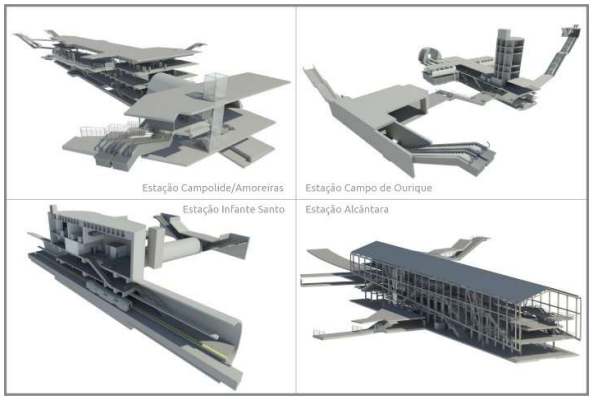
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO

PROJETO DE EXECUÇÃO



TOMO I

VOLUME 40 - PLANO DE OBSERVAÇÃO – T81

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS TUN T81 MD 087001 0

	Nome	Assinatura	Data
Elaborado	Francisco Bernardo Pedro Nogueira		2024-10-10
Revisto	Sandra Ferreira		2024-10-10
Verificado	Rui Rodrigues		2024-10-10
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-10
Aprovado			

	Nome	Assinatura	Data
Gestor Projeto	Raúl Pistone		2024-10-10

Índice

1 OBJETIVO E ÂMBITO 4

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 5

3 GRANDEZAS A MEDIR 8

3.1 Escavações subterrâneas 8
3.2 Edificações 9
4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 10

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 10

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 10
5.2 Prisma topográfico para pavimento 11
5.3 Extensómetro multiponto 11
5.4 Inclinómetros 13
5.5 Sensor de nível líquido 15
5.6 Piezómetro elétrico 15
5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC 16
5.8 Piezómetro do tipo Casagrande - câmara simples, dupla ou tripla 17
5.9 Prisma topográfico para carril 18
5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* 19
5.11 Fissurómetros 20
5.12 Células de carga 20
5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas 21
5.14 Sismógrafo 22
5.15 Clinómetro 24
5.16 Prisma topográfico de referência 24
5.17 Estação total robotizada 25
6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 26

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 29

7.1 Critérios de alerta e alarme 29
8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 30

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 32

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 32

11 REQUISITOS PARTICULARES DO SISTEMA DE OBSERVAÇÃO EM INTERFERÊNCIAS 33

11.1 Monitorização de captações de água 33

12 ANEXOS 34

12.1 Anexo A - Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 34

12.2 Anexo B - Medidas de atuação/ plano de contingência 38

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Anteprojeto**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação,** desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo **II** do **Volume 5 – T81.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça ”dinâmica” e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

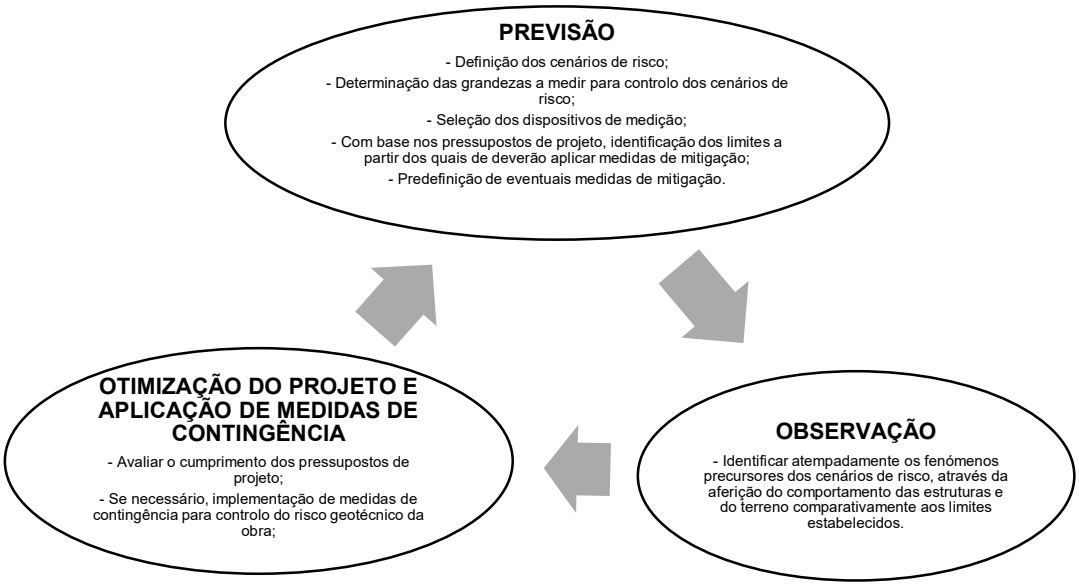


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos

fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência. Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada aos túneis NATM, nomeadamente:

- Troço 81, 82, 83, 84 e 85;
- Tímpano de São Sebastião (OE1);
- Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3);
- Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4);
- Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7).

Para cada um destes locais, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
Túnel Troço 81, 82, 83, 84 e 85	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X
Tímpano de São Sebastião (OE1)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7)	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais e convergências no interior de galerias subterrâneas recorrendo a prismas topográficos.
- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros.
- Medição da abertura de fendas em edifícios, utilizando fissurómetros.
- Medições de deslocamentos verticais internos do maciço e à superfície, com extensómetros multiponto.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições de deslocamentos verticais e horizontais nos pavimentos e carris utilizando prismas de pavimento e de carris.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.
- Medições de deslocamentos axiais de elementos estruturais recorrendo a extensómetros (tipo *strain gauges*).
- Medição de deslocamentos de precisão na estrutura interior de edifícios, utilizando sensores de nível liquido.

3.1 Escavações subterrâneas

A avaliação da evolução do comportamento das obras subterrâneas será realizada através do registo dos deslocamentos do terreno e observação de eventuais fissurações no revestimento primário. Para tal serão criadas secções de medição de convergências e deslocamentos, onde serão instalados, em geral, 3 prismas para secções cuja maior dimensão seja menor ou igual a 10 m e 5 prismas para secções com a maior dimensão superior a 10 m. Para a secções com 3 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 1 em cada hasteal, que permitirão para além dos deslocamentos nesses pontos, o controlo de 3 cordas diferentes. Para a secções com 5 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 2 em cada hasteal, acima e abaixo do eixo da galeria, que permitirão o controlo de 6 cordas diferentes.

No terreno e à superfície serão executados extensómetros multiponto, inclinómetros e prismas topográficos no pavimento, em carris e em edifícios.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, para além dos deslocamentos será também avaliada a variação/presença de água através da instalação de piezómetros.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes. Quando necessário, assumem particular destaque aos drenos longitudinais realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

3.2 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

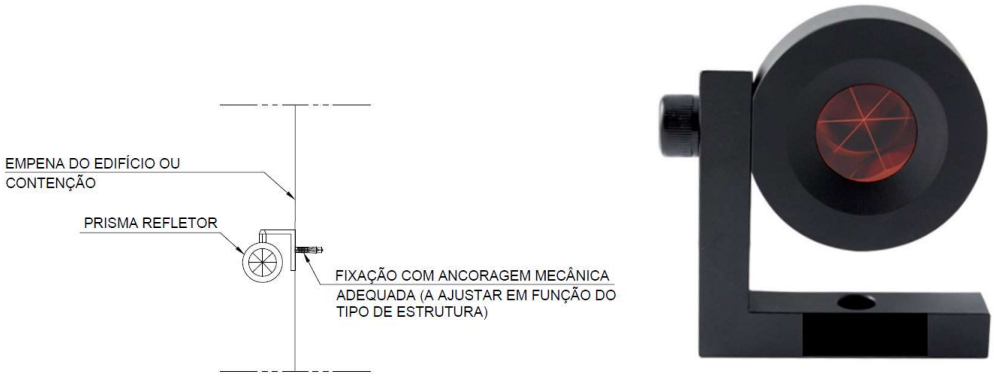


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Prisma topográfico para pavimento

Os prismas topográficos para pavimento consistem num elemento adequadamente fixo ao pavimento com elevada resistência ao tráfego pedonal e rodoviário, materializado por meio de uma placa metálica que permite a realização leituras dos deslocamentos verticais.

As leituras serão efetuadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

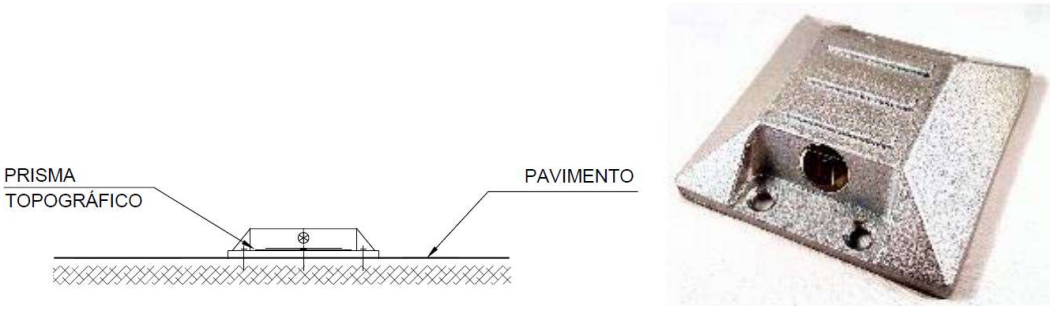


Figura 3 - Prisma topográfico para pavimento

5.3 Extensómetro multiponto

Os extensómetros permitem o controlo dos deslocamentos verticais em profundidade e encontram-se definidos nas seções de monitorização onde também estão previstas medições de deslocamentos e convergências no interior das galerias subterrâneas (Figura 4).

Os extensómetros terão 1 ou 2 ancoragens fixadas a diferentes profundidades. O sensor de deslocamento deverá ser do tipo corda vibrante dotado com sensor de temperatura.

Do conjunto deste dispositivo deverá fazer parte integrante:

- Barras/varas em aço inoxidável ou fibra de vidro

- Ancoragem (injetável com calda de cimento ou tipo *packer*)
- Bainha de encamisamento das barras/varas
- Cabeça de referência do elétrico

O extensómetro será instalado em furo previamente executado de diâmetro, no mínimo, de Ø76 mm (furação destrutiva), que terá um comprimento superior à profundidade de instalação de cerca de 1,00 m.

As cabeças dos extensómetros deverão ser equipadas com um prisma topográfico que permita obter as leituras à superfície. Aos valores das leituras das ancoragens deverão ser adicionados os assentamentos de superfície obtidos através dos prismas.

Os componentes serão montados de acordo às indicações do fabricante e instalados no furo nas cotas previstas função do seu comprimento total. Existirá uma ancoragem na extremidade correspondente à base do furo e uma segunda a 1/3 do seu comprimento total.

Uma vez finalizado o posicionamento do dispositivo, proceder-se-á a sua selagem por meio de calda de cimento.

As cabeças dos extensómetros serão protegidas por caixas com tampas metálicas adequadas.

O dispositivo será de leitura elétrica, o sensor de deslocamento ou transdutor, será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20ºC e +80ºC), possuindo no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura ≥ 100mm
- Precisão < 0,30% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,0066% da capacidade de leitura

O dispositivo será calibrado antes de ser utilizado e as leituras serão realizadas a partir da superfície. Após a realização da medição, os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

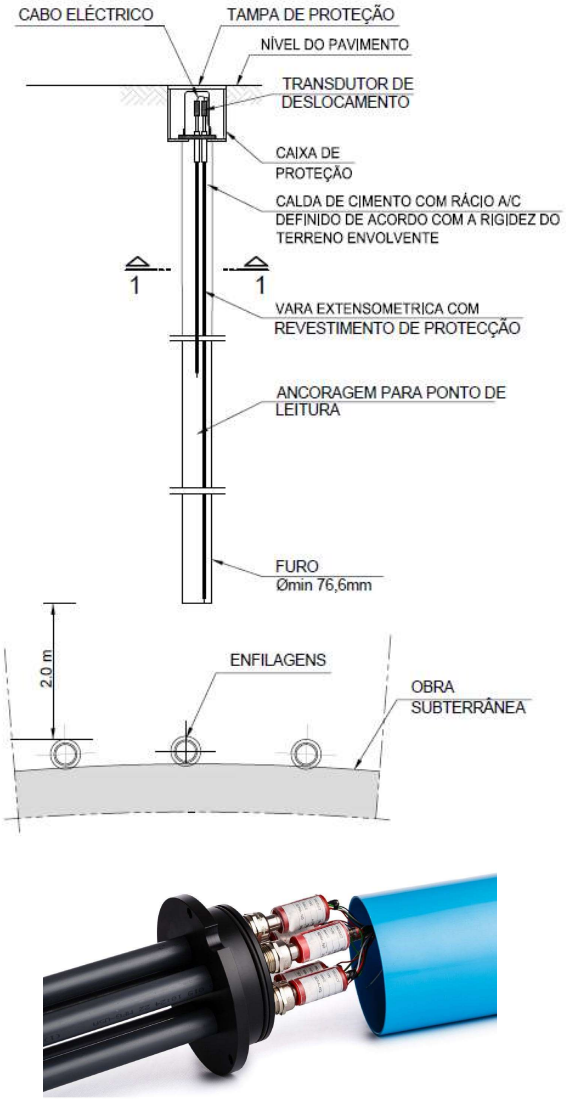


Figura 4 – Extensómetro multiponto

5.4 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90º. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma

escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

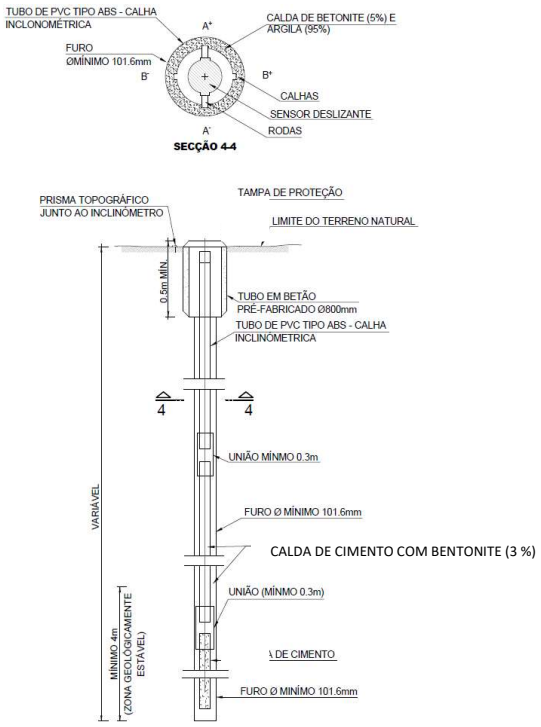


Figura 5 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.5 Sensor de nível líquido

O sensor de nível líquido permite medir deslocamentos diferenciais e totais entre diversos pontos de uma estrutura. É constituído por um conjunto de sensores de elevada precisão que medem continuamente a variação de nível de um líquido num circuito fechado. O conjunto de sensores encontra-se ligado a um depósito que constitui o nível de referência do sistema (Figura 6). Os deslocamentos totais podem ser obtidos através da soma dos deslocamentos diferenciais com os deslocamentos totais do nível de referência, no caso de este último estar sujeito a movimentos.

As leituras serão realizadas automaticamente e enviadas para a base de dados de monitorização.

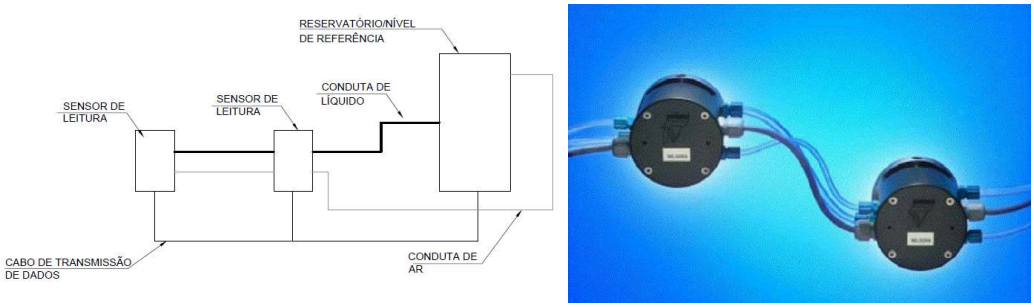


Figura 6 – Sensor de nível líquido

5.6 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 7).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa
- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

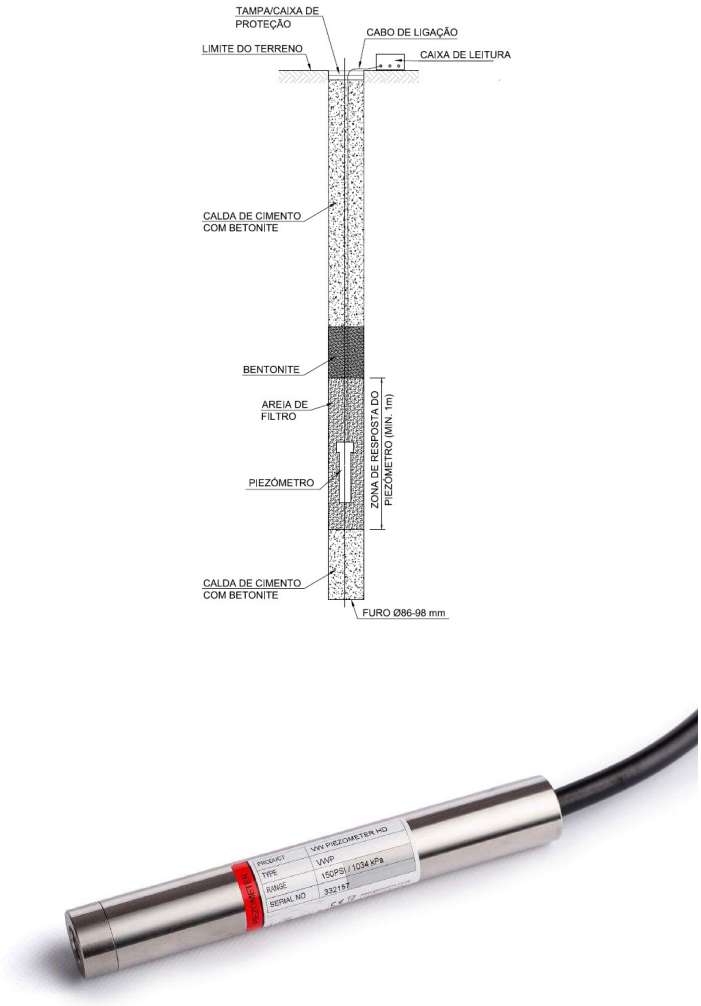


Figura 7 - Piezómetro elétrico com uma câmara

5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC

Os piezómetros com ponteira do tipo LNEC são um tipo de piezómetro recomendado para medição do nível de água em formações de muito baixa permeabilidade, cuja zona de resposta se localiza na extremidade inferior do piezómetro (ponteira) (Figura 8). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

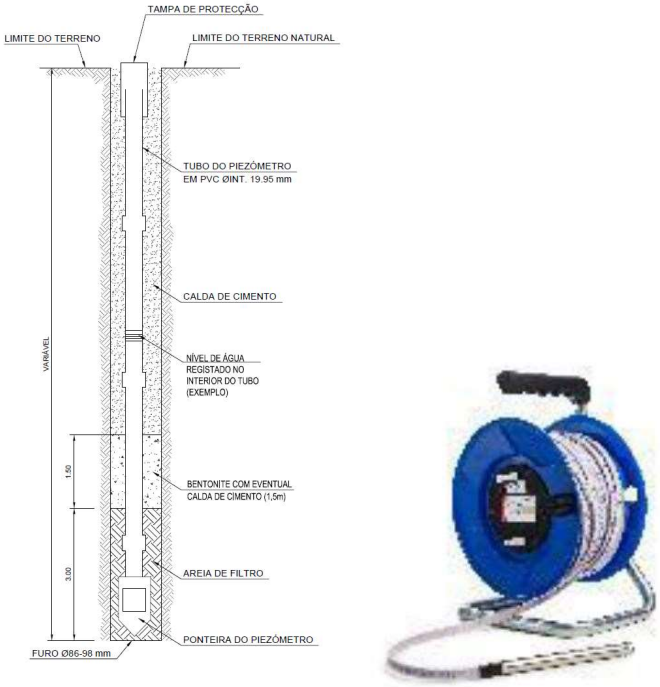


Figura 8 - Piezómetro com ponteira do tipo LNEC

5.8 Piezómetro do tipo Casagrande - câmara simples, dupla ou tripla

Os piezómetros do tipo Casagrande permitem a aferição de aquíferos a diferentes profundidades. São constituídos por troços tubos com 75 mm de diâmetro, solidarizados entre si através de uniões exteriores. Na zona onde se pretende efetuar a leitura do nível piezométrico esses tubos apresentam ranhuras com 4,5mm de espessura sendo a sua zona envolvente preenchida com areia (Figura 9 – piezómetro duplo). O número de tubos ou zonas de resposta dita a sua designação, ou seja de câmara simples – 1 tubo, câmara dupla – 2 tubos ou de câmara tripla – 3 tubos.

Na sua extremidade esses tubos são envoltos com geotêxtil (Figura 9). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

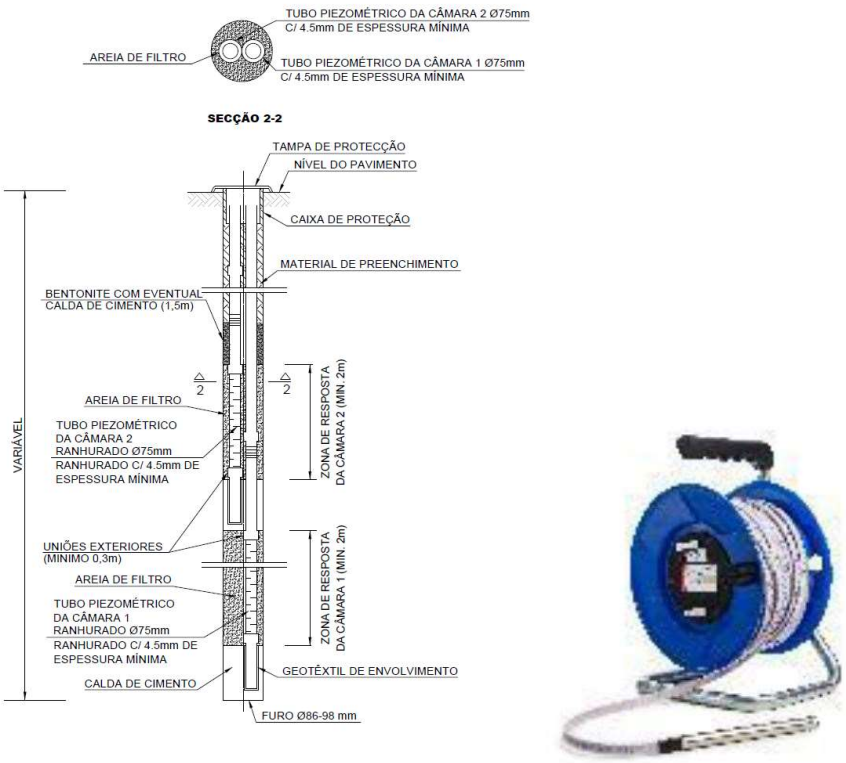


Figura 9 - Piezómetro do tipo Casagrande – Câmara dupla

5.9 Prisma topográfico para carril

Os prismas topográficos para carril, consistem num prisma instalado nas travessas das linhas do comboio da IP (Figura 10) ou num prisma para pavimento fixo entre os carris para as linhas da Carris (Figura 11). Este elementos permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X,Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada.

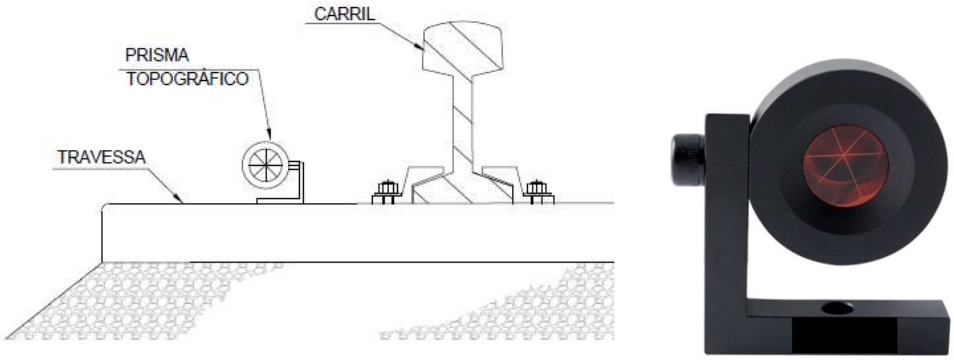


Figura 10 – Prisma topográfico para carril – Linhas IP

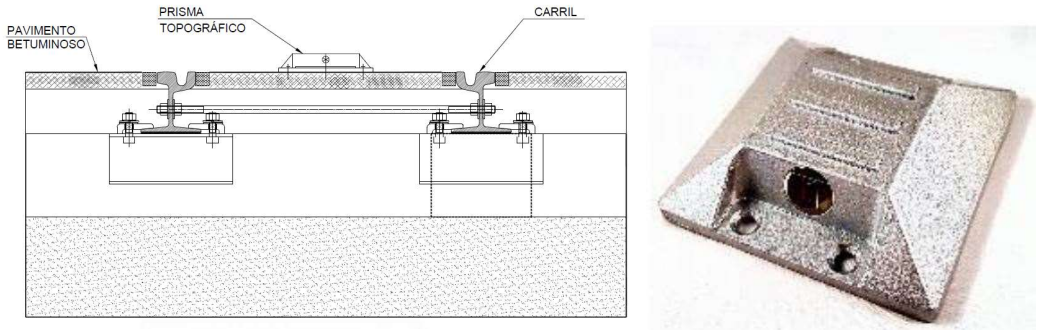


Figura 11 – Prisma topográfico para carril – Linhas Carris

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge*

Os extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* permitem a medição indireta de deslocamentos muito pequenos por intermédio de sensores de corda vibrante que medem a extensão dos elementos estruturais aos quais se encontram ligados através de soldadura (Figura 12). Estes dispositivos serão instalados nas escoras metálicas que constituem a solução de travamento da contenção, permitindo medir a extensão acomodada pelas mesmas e consequentemente a força instalada aquando da execução dos trabalhos de escavação.

Deverão ser utilizados *strain-gauges* de corda vibrante, com campo de leitura não inferior a 3000με, resolução < 1,0με e precisão de ordem inferior a ± 0,5% da capacidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20ºC e +80ºC). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

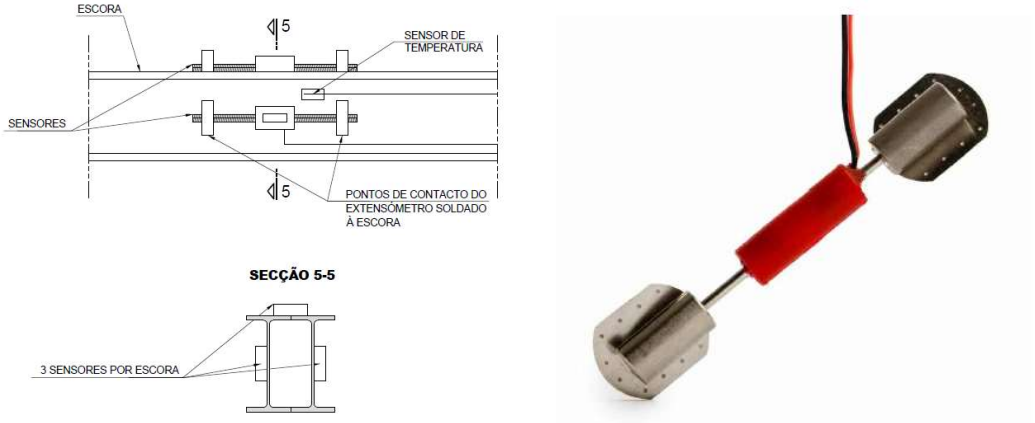


Figura 12 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge*

5.11 Fissurómetros

Este tipo de diapositivos permitirá acompanhar a evolução da abertura de uma determinada fissura.

Os fissurómetros a utilizar deverão ser planos e deverão permitir a realização de leituras de deslocamentos na horizontal e na vertical. Será ainda necessário que possuam capacidade resistente adequada às intempéries, devendo ser fixos de forma adequada (mecanicamente).

O seu alcance máximo será, no mínimo de 25 mm, na horizontal e 10 mm na vertical, devendo a sua resolução ser, no mínimo, de 0,1 mm (Figura 13). Para garantir esta resolução será necessário recorrer no ato da medição a uma craveira digital que se acopla ao fissurómetro.

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

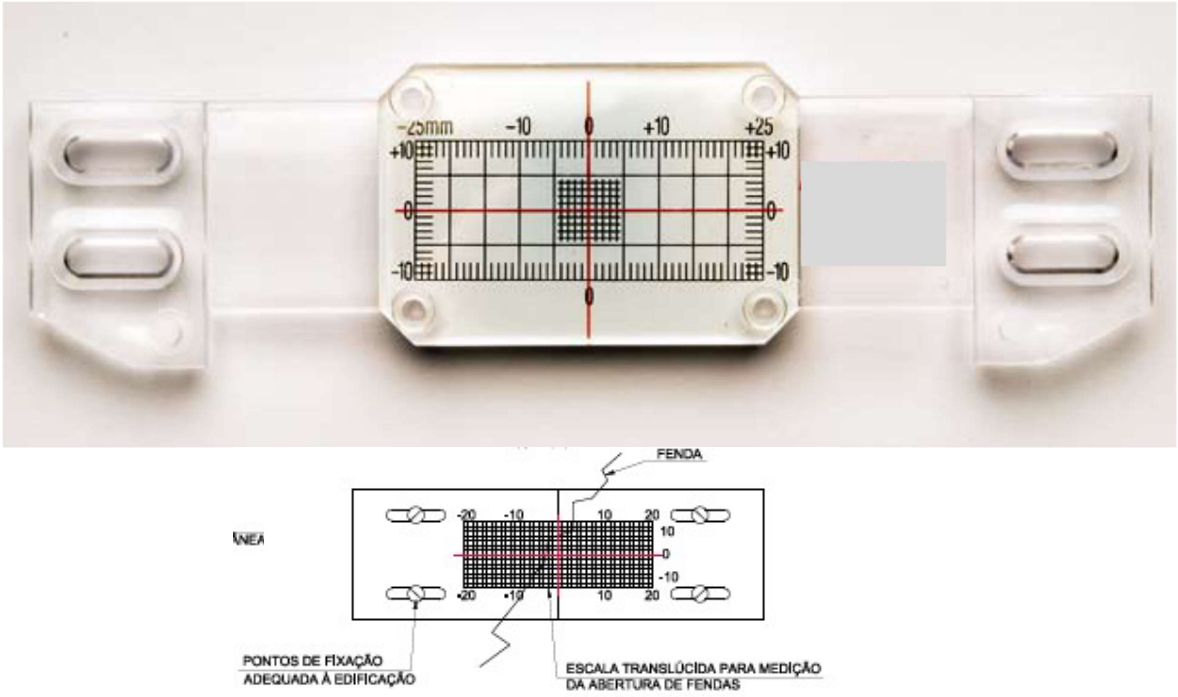


Figura 13 – Fissurómetro

5.12 Células de carga

O recurso a células de carga em ancoragens permitirá o acompanhamento da evolução e magnitude da tração instalada nestes elementos em fase de obra.

As células de carga a adotar nas ancoragens provisórias serão do tipo elétrico.

Em condições normais de leitura, o erro associado a estes dispositivos não deverá ultrapassar os ± 0,1% da capacidade máxima de leitura. A sua capacidade máxima de leitura deverá ser superior aos 1500 kN.

A instalação das células de carga será efetuada antes da realização do ensaio de receção detalhado da ancoragem. As células serão posicionadas sobre a chapa de apoio da ancoragem, sendo posteriormente colocada uma chapa metálica rígida adicional e posteriormente a placa de distribuição das cunhas.

A superfície de contacto com a célula deve estar plana e limpa. A colocação da célula deve ser criteriosa, de forma a que a mesma fique centrada com o eixo da aplicação da carga, evitando-se assim excentricidades, com consequência no rigor das leituras (Figura 14). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

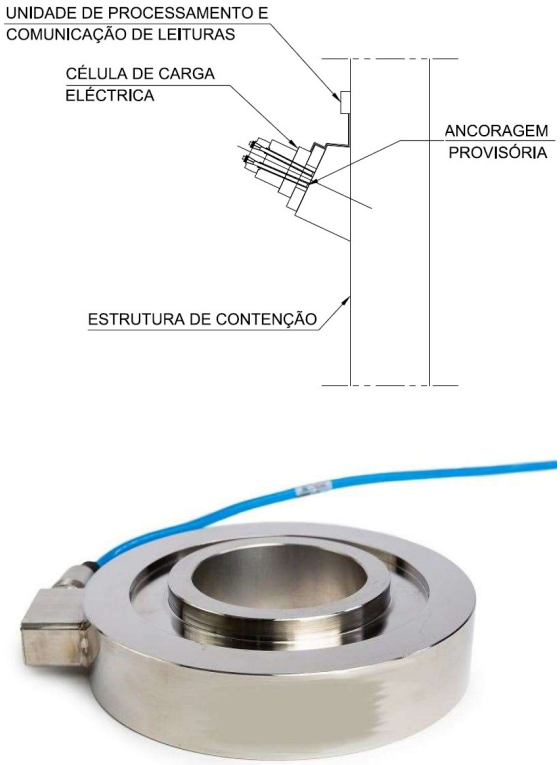


Figura 14 – Célula de carga em ancoragens

5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas

Face aos condicionamentos associados à necessidade de monitorizar as galerias subterrâneas durante a sua execução, a medição das convergências será materializada recorrendo a elemento ótico que permitirá, em condições mais adversas obter com maior precisão leituras de deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A instalação destes dispositivos de forma sistemática e em vários pontos de leitura em seção transversal de cada galeria a executar, permitirá ler não só os deslocamentos do ponto monitorizado, mas também criar secções de medição de convergências, através do controlo de diferentes cordas.

O sistema de fixação destes dispositivos é mecânico e deverá ser realizado ao betão projetado do suporte primário (através de resina epóxi ou de calda de cimento de presa rápida). Na sua extremidade visível a barra é roscada, de forma a permitir acoplar o prisma (Figura 15).

A sua colocação não deverá ultrapassar o primeiro dia após a realização total do suporte primário. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

De modo a permitir a instalação dos prismas o mais rápido possível, antes que a espessura total do suporte primário esteja aplicada, serão utilizados dispositivos de proteção da fixação que permitirão proteger o elemento de fixação do prisma durante a aplicação das sucessivas camadas de betão projetado (Figura 15).

Figura 15 – Prisma de convergência

5.14 Sismógrafo

Preconiza-se durante a fase de construção o posicionamento de sismógrafos junto às edificações mais vulneráveis. Pretende-se o registo das velocidades e frequências de vibrações eventualmente provocadas pela execução dos trabalhos de construção (Figura 16).

As medições de vibrações serão feitas através de um geofone triaxial com uma capacidade de leitura de 2-250 Hz (janela de calibração mínima 1-160 Hz). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

No caso dos sismógrafos utilizados simultaneamente para a monitorização dos limites de integridade estrutural e de vibrações de incomodidade humana, serão adotados dispositivos com a sensibilidade necessária à monitorização dos respetivos limites (conforme Plano de Monitorização Ambiental).

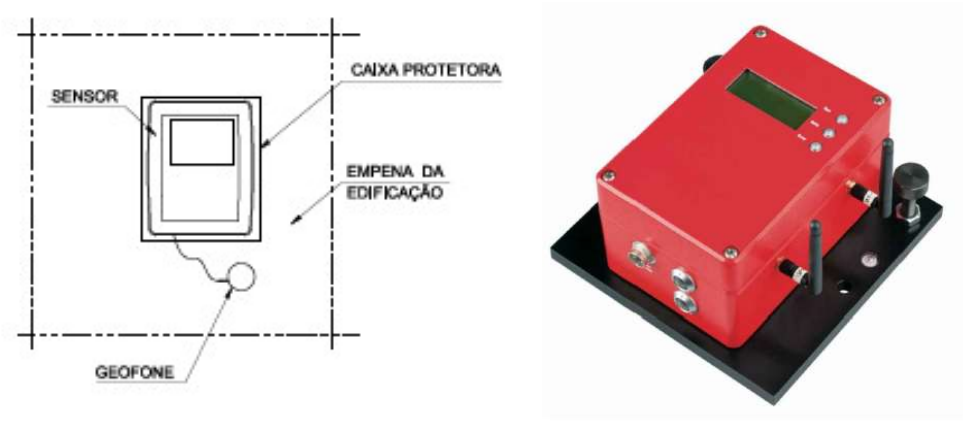


Figura 16 – Sismógrafo

5.15 Clinómetro

Os clinómetros permitiram a medição da variação de inclinação das paredes dos edifícios. Quando possível, estes fornecerão leituras remotamente, sendo constituídos por bases de leitura em bronze, concebidas para garantir o posicionamento preciso e repetitivo do equipamento de leitura (Figura 17).

As bases de leitura serão fixas de forma mecânica e permanente à estrutura, sendo instaladas diretamente, normalmente na vertical, ou soldadas numa chapa em T, de dimensões adequadas para permitir a sua instalação na horizontal em elementos verticais.

O equipamento de leitura será constituído por sensor instalado num elemento em aço inoxidável, permitindo a realização de leituras nas bases instaladas em superfície verticais ou horizontais, através de uma unidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -30ºC e +70ºC).

O equipamento de leitura possuirá no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura: ± 15º a partir da vertical
- Resolução: 0,0013º
- Precisão: < 0,06% da capacidade máxima de leitura

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

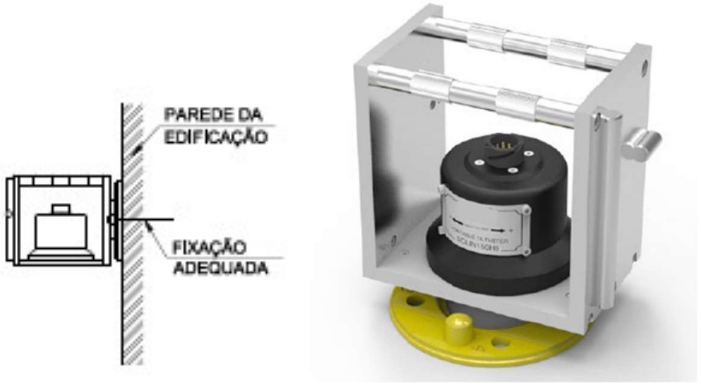


Figura 17 – Clinómetro

5.16 Prisma topográfico de referência

Para garantir a adequada leitura dos vários dispositivos topográficos instalados será necessário posicionar elementos adicionais que constituirão a sua referência. Constituem dispositivos de precisão de leitura ótica, sendo utlizados para a realização de leituras nos eixos X, Y e Z (Figura 18). À semelhança dos anteriores também estes dispositivos têm uma importância crítica na criação de uma rede de instrumentação, pois permitem ter um conjunto de coordenadas de referência invariáveis e não-suscetíveis a deslocamentos. Nesse sentido, a escolha da sua localização deve ser realizada de forma criteriosa.

Procurou-se distribuir este tipo de dispositivos de forma a garantir que possuem alcance até cerca de 200 metros, sendo necessário garantir visibilidade direta entre este elemento e aquele que se pretende ler. Cada dispositivo a ler (prisma topográfico) deverá estar referenciado, no mínimo, a 3 unidades de referência, de forma a permitir a existência de redundância e consequentemente, o controlo cruzado entre os vários dispositivos.

O prisma ótico encontra-se acoplado a uma haste metálica robusta que será adequadamente fixa à parede do elemento que será considerado como fixo.

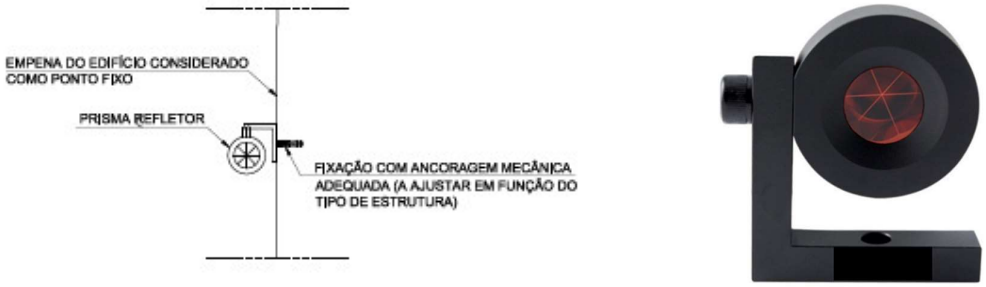


Figura 18 – Prisma topográfico de referência

5.17 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5” e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 19).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

Figura 19 – Estação total robotizada

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 12.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 20).

Figura 20 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 21).

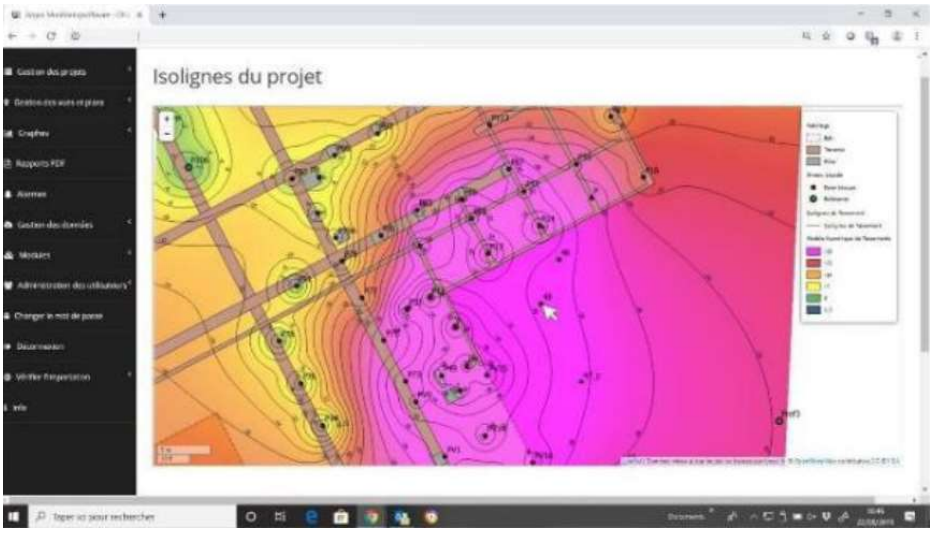


Figura 21 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 22).

Figura 22 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 12.2.

11 REQUISITOS PARTICULARES DO SISTEMA DE OBSERVAÇÃO EM INTERFERÊNCIAS

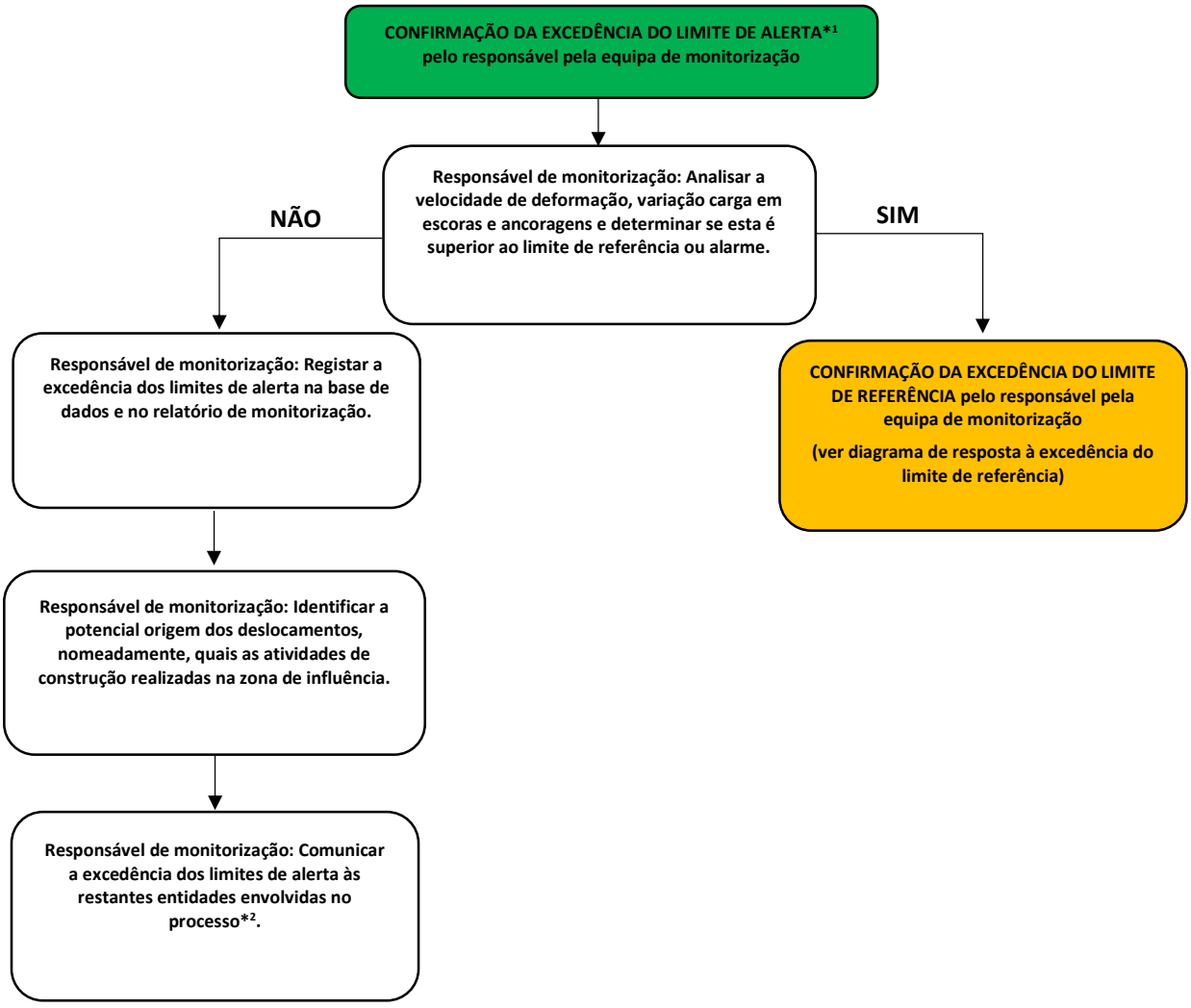
11.1 Monitorização de captações de água

No que se refere ao impacto das obras de escavação nos níveis de água de captações existentes na zona de influência dos trabalhos, todos os piezómetros a instalar em redor da obra terão níveis de alerta, referência e alarme indicados. Serão também definidas medidas de mitigação, de referência, a implementar caso o nível de alerta seja excedido.

12 ANEXOS

12.1 Anexo A - Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE REFERÊNCIA*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Analisar a velocidade de deformação, variação carga em escoras e ancoragens e determinar se esta é superior ao limite de alarme.

NÃO

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- **Analisar a informação de monitorização;**
- **Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);**
- **Identificar os potenciais cenários de risco;**
- **Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;**
- **Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.**

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de excedência dos limites de alarme*2.

NÃO

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de referência na base de dados e no relatório de monitorização.

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de referência às restantes entidades envolvidas no processo*2.

SIM

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

SIM

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

NOTAS:

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- **Analisar a informação de monitorização;**
- **Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);**
- **Identificar os potenciais cenários de risco;**
- **Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;**
- **Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.**

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- **Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;**
- **Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;**
- **Realização de inspeções visuais à estrutura;**
- **Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;**
- **Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;**

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- **Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;**
- **Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;**
- **Realização de inspeções visuais à estrutura;**
- **Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;**
- **Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.**

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- **Quadro A – Túnel NATM**

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*[3].

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 - As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

12.2 Anexo B - Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – Túnel NATM

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Redução da distância de avanço de escavação;
- Aumento da densidade de pregagens de fibra de vidro na frente de escavação;
- Realização de chapéu de enfilagens nos avanços intermédios;
- Realização de furos de drenagem adicionais na frente e/ou nos hasteais;
- Aplicação de betão projetado na frente de escavação;
- Aumento da parcialização da escavação da frente;
- Inclusão de rede electrossoldada entre cambotas;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da frente de escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-10	Emissão inicial

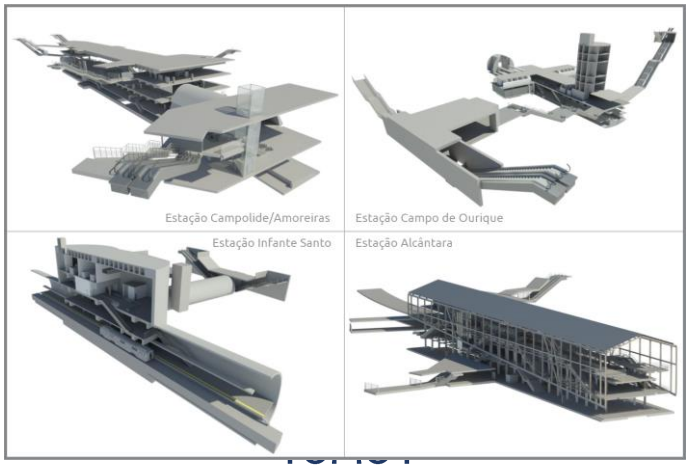
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

PROJETO DE EXECUÇÃO



VOLUME 40 – OBRA ESPECIAL 7

PLANO DE OBSERVAÇÃO

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS TUN OE7 MD 088001 0

	Nome	Assinatura	Data
Elaborado	Francisco Bernardo Pedro Nogueira		2024-10-10
Revisto	Sandra Ferreira		2024-10-10
Verificado	Rui Rodrigues		2024-10-10
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-10
Aprovado			

	Nome	Assinatura	Data
Gestor Projeto	Raúl Pistone		2024-10-10

Índice

1 OBJETIVO E ÂMBITO 5

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 6

3 GRANDEZAS A MEDIR 9

3.1 Escavações subterrâneas 9
3.2 Edificações 10
4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 11

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 11

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 11
5.2 Prisma topográfico para pavimento 12
5.3 Extensómetro multiponto 12
5.4 Inclinómetros 14
5.5 Sensor de nível líquido 15
5.6 Piezómetro elétrico 15
5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC 16
5.8 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla 17
5.9 Prisma topográfico para carril 18
5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* 19
5.11 Fissurómetros 19
5.12 Células de carga 20
5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas 21
5.14 Sismógrafo 22
5.15 Clinómetro 24
5.16 Prisma topográfico de referência 24
5.17 Estação total robotizada 25
6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 26

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 29

7.1 Critérios de alerta e alarme 29
8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 30

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 32

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 32

11 ANEXOS 33

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 33

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência 37

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Anteprojeto**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação,** desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo **III** do **Volume 7 – OE7.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça "dinâmica" e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

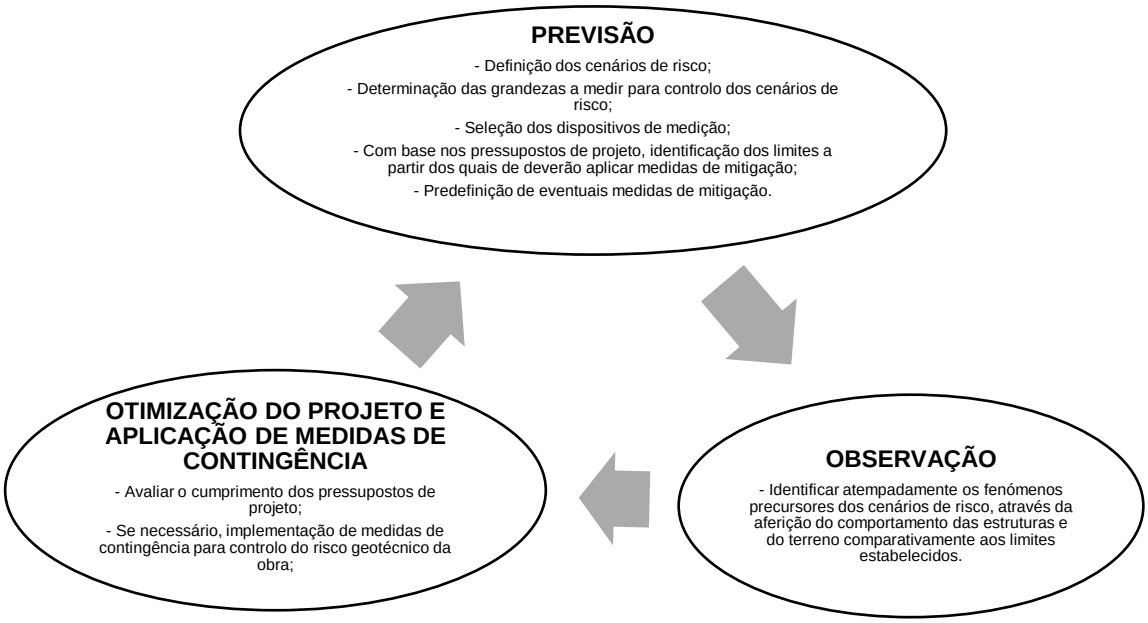


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência.

Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada aos túneis NATM, nomeadamente:

- Troço 81, 82, 83, 84 e 85;
- Tímpano de São Sebastião (OE1);
- Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3);
- Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4);
- Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7).

Para cada um destes locais, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
Túnel Troço 81, 82, 83, 84 e 85	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X
Tímpano de São Sebastião (OE1)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7)	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais e convergências no interior de galerias subterrâneas recorrendo a prismas topográficos.
- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros.
- Medição da abertura de fendas em edifícios, utilizando fissurómetros.
- Medições de deslocamentos verticais internos do maciço e à superfície, com extensómetros multiponto.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições de deslocamentos verticais e horizontais nos pavimentos e carris utilizando prismas de pavimento e de carris.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.
- Medições de deslocamentos axiais de elementos estruturais recorrendo a extensómetros (tipo *strain gauges*).
- Medição de deslocamentos de precisão na estrutura interior de edifícios, utilizando sensores de nível liquido.

3.1 Escavações subterrâneas

A avaliação da evolução do comportamento das obras subterrâneas será realizada através do registo dos deslocamentos do terreno e observação de eventuais fissurações no revestimento primário. Para tal serão criadas secções de medição de convergências e deslocamentos, onde serão instalados, em geral, 3 prismas para secções cuja maior dimensão seja menor ou igual a 10 m e 5 prismas para secções com a maior dimensão superior a 10 m. Para a secções com 3 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 1 em cada hasteal, que permitirão para além dos deslocamentos nesses pontos, o controlo de 3 cordas diferentes. Para a secções com 5 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 2 em cada hasteal, acima e abaixo do eixo da galeria, que permitirão o controlo de 6 cordas diferentes.

No terreno e à superfície serão executados extensómetros multiponto, inclinómetros e prismas topográficos no pavimento, em carris e em edifícios.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, para além dos deslocamentos será também avaliada a variação/presença de água através da instalação de piezómetros.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes. Quando necessário, assumem particular destaque aos drenos longitudinais realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

3.2 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

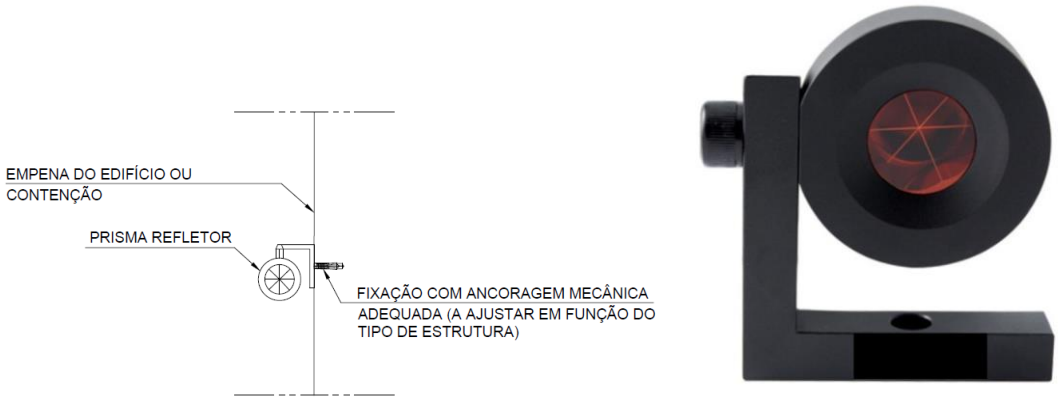


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Prisma topográfico para pavimento

Os prismas topográficos para pavimento consistem num elemento adequadamente fixo ao pavimento com elevada resistência ao tráfego pedonal e rodoviário, materializado por meio de uma placa metálica que permite a realização leituras dos deslocamentos verticais.

As leituras serão efetuadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

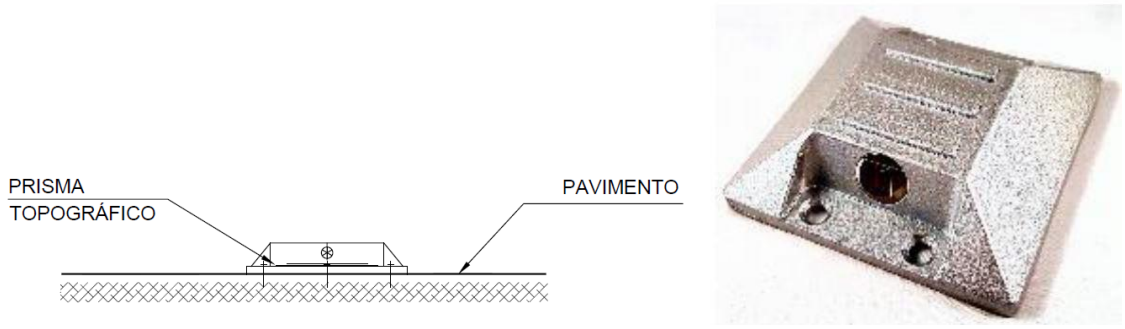


Figura 3 - Prisma topográfico para pavimento

5.3 Extensómetro multiponto

Os extensómetros permitem o controlo dos deslocamentos verticais em profundidade e encontram-se definidos nas seções de monitorização onde também estão previstas medições de deslocamentos e convergências no interior das galerias subterrâneas (Figura 4).

Os extensómetros terão 1 ou 2 ancoragens fixadas a diferentes profundidades. O sensor de deslocamento deverá ser do tipo corda vibrante dotado com sensor de temperatura.

Do conjunto deste dispositivo deverá fazer parte integrante:

- Barras/varas em aço inoxidável ou fibra de vidro
- Ancoragem (injetável com calda de cimento ou tipo *packer*)
- Bainha de encamisamento das barras/varas
- Cabeça de referência do elétrico

O extensómetro será instalado em furo previamente executado de diâmetro, no mínimo, de Ø76 mm (furação destrutiva), que terá um comprimento superior à profundidade de instalação de cerca de 1,00 m.

As cabeças dos extensómetros deverão ser equipadas com um prisma topográfico que permita obter as leituras à superfície. Aos valores das leituras das ancoragens deverão ser adicionados os assentamentos de superfície obtidos através dos prismas.

Os componentes serão montados de acordo às indicações do fabricante e instalados no furo nas cotas previstas função do seu comprimento total. Existirá uma ancoragem na extremidade correspondente à base do furo e uma segunda a 1/3 do seu comprimento total.

Uma vez finalizado o posicionamento do dispositivo, proceder-se-á a sua selagem por meio de calda de cimento.

As cabeças dos extensómetros serão protegidas por caixas com tampas metálicas adequadas.

O dispositivo será de leitura elétrica, o sensor de deslocamento ou transdutor, será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20°C e +80°C), possuindo no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura ≥ 100mm
- Precisão < 0,30% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,0066% da capacidade de leitura

O dispositivo será calibrado antes de ser utilizado e as leituras serão realizadas a partir da superfície. Após a realização da medição, os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

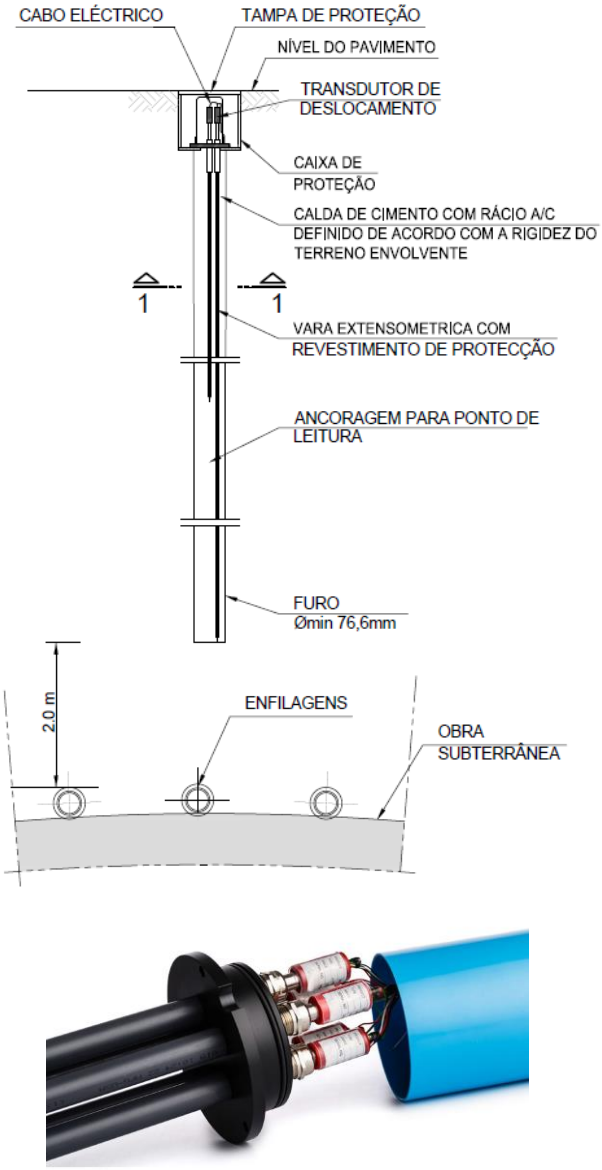


Figura 4 – Extensómetro multiponto

5.4 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90°. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

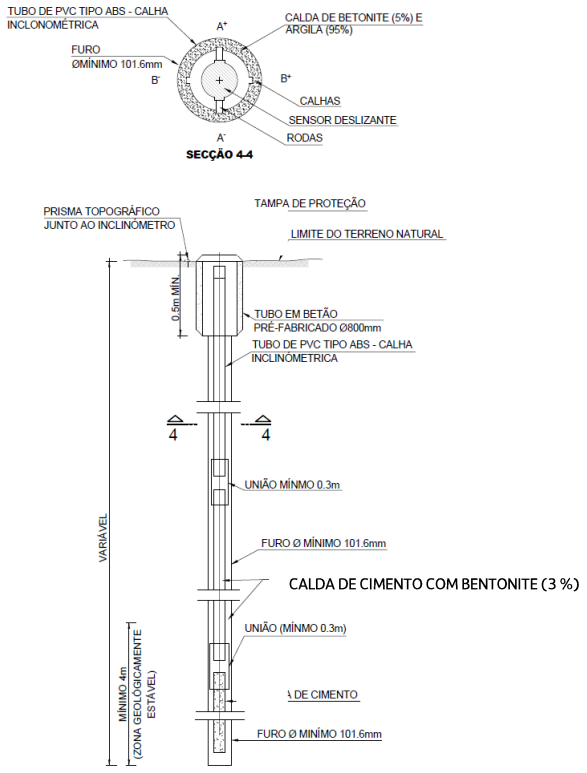


Figura 5 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.5 Sensor de nível líquido

O sensor de nível líquido permite medir deslocamentos diferenciais e totais entre diversos pontos de uma estrutura. É constituído por um conjunto de sensores de elevada precisão que medem continuamente a variação de nível de um líquido num circuito fechado. O conjunto de sensores encontra-se ligado a um depósito que constitui o nível de referência do sistema (Figura 6). Os deslocamentos totais podem ser obtidos através da soma dos deslocamentos diferenciais com os deslocamentos totais do nível de referência, no caso de este último estar sujeito a movimentos.

As leituras serão realizadas automaticamente e enviadas para a base de dados de monitorização.

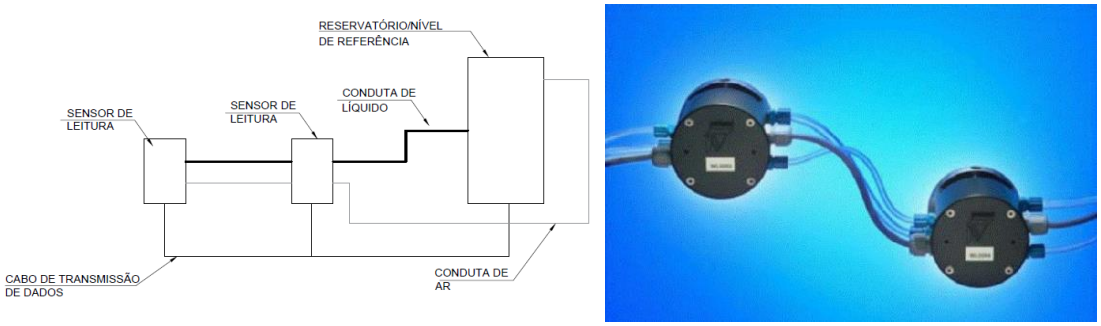


Figura 6 – Sensor de nível líquido

5.6 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 7).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa
- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

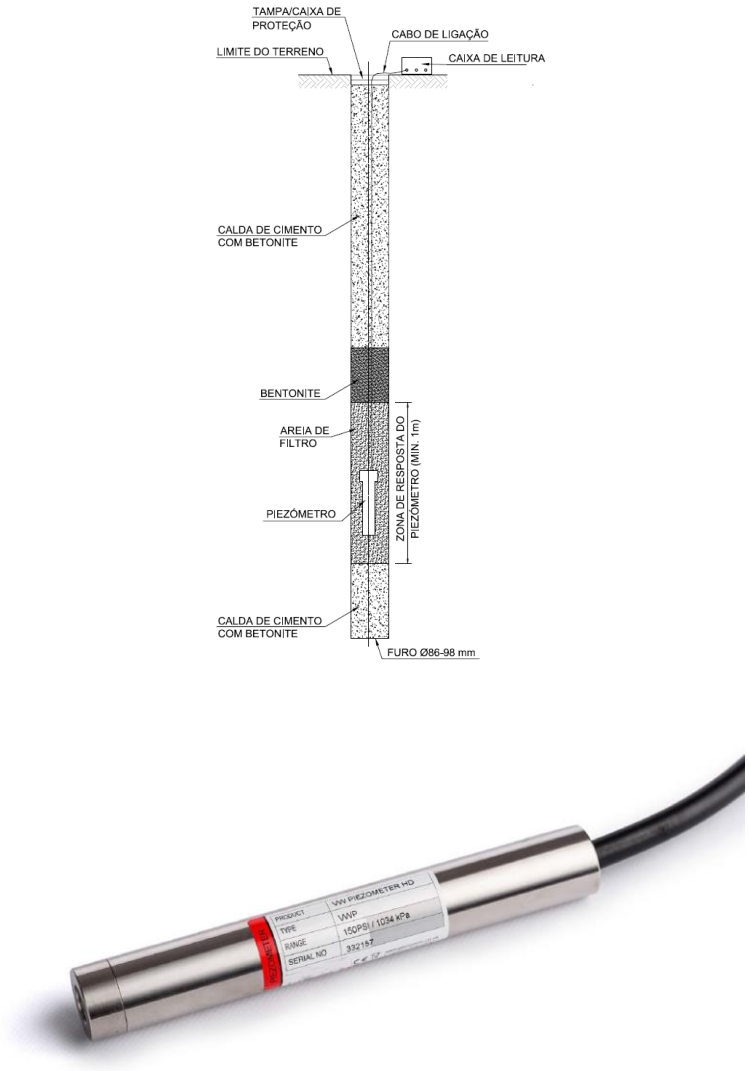


Figura 7 - Piezómetro elétrico com uma câmara

5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC

Os piezómetros com ponteira do tipo LNEC são um tipo de piezómetro recomendado para medição do nível de água em formações de muito baixa permeabilidade, cuja zona de resposta se localiza na extremidade inferior do piezómetro (ponteira) (Figura 8). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

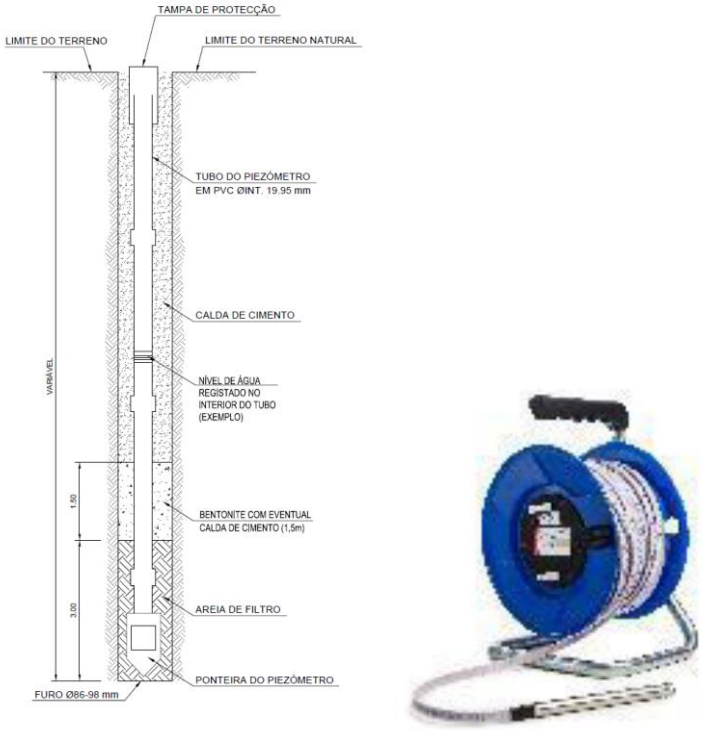


Figura 8 - Piezómetro com ponteira do tipo LNEC

5.8 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla

Os piezómetros do tipo Casagrande permitem a aferição de aquíferos a diferentes profundidades. São constituídos por troços tubos com 75 mm de diâmetro, solidarizados entre si através de uniões exteriores. Na zona onde se pretende efetuar a leitura do nível piezométrico esses tubos apresentam ranhuras com 4,5mm de espessura sendo a sua zona envolvente preenchida com areia (Figura 9 – piezómetro duplo). O número de tubos ou zonas de resposta dita a sua designação, ou seja de câmara simples – 1 tubo, câmara dupla – 2 tubos ou de câmara tripla – 3 tubos.

Na sua extremidade esses tubos são envoltos com geotêxtil (Figura 9). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

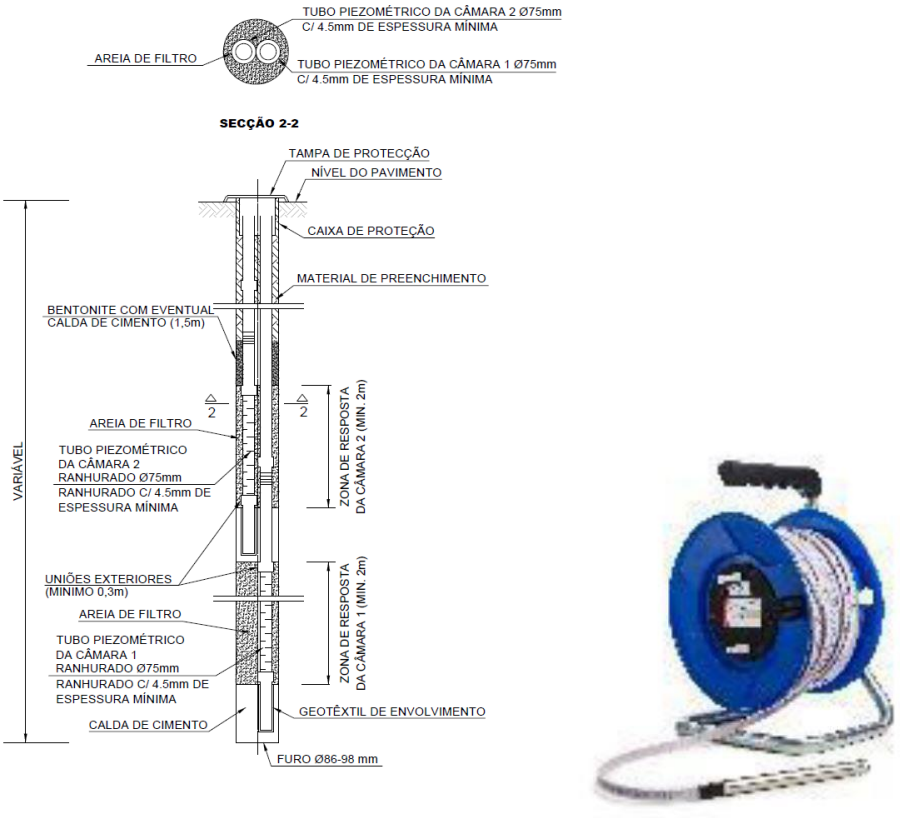


Figura 9 - Piezómetro do tipo Casagrande – Câmara dupla

5.9 Prisma topográfico para carril

Os prismas topográficos para carril, consistem num prisma instalado nas travessas das linhas do comboio da IP (Figura 10) ou num prisma para pavimento fixo entre os carris para as linhas da Carris (Figura 11). Este elementos permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X,Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada.

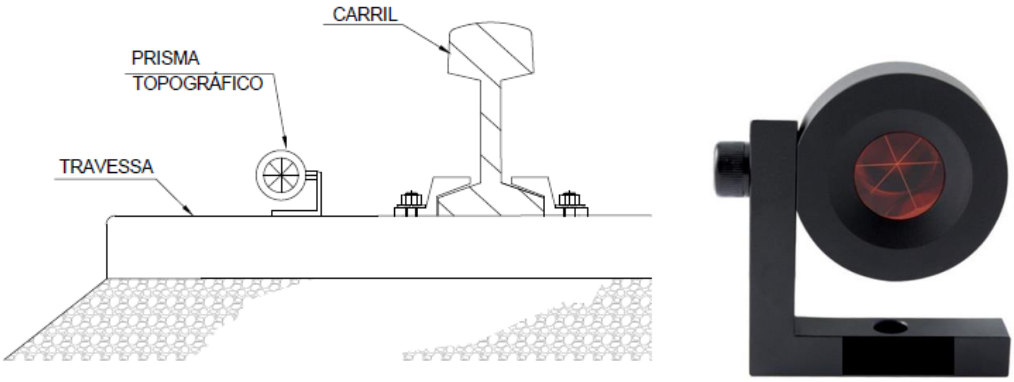


Figura 10 – Prisma topográfico para carril – Linhas IP

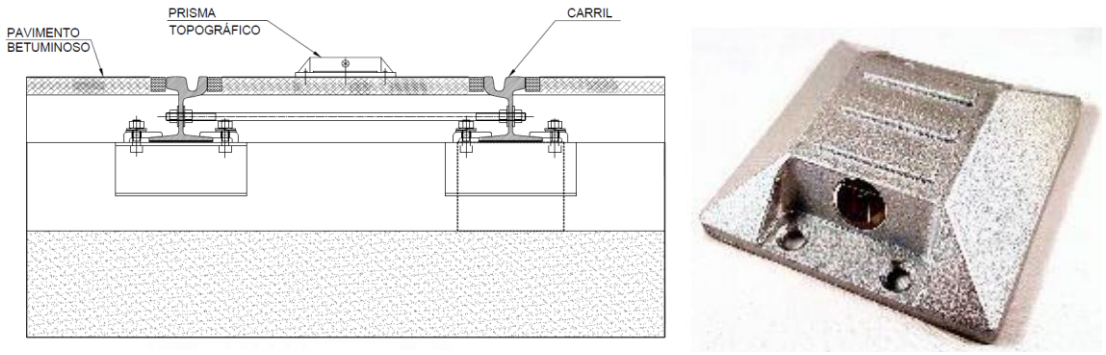


Figura 11 – Prisma topográfico para carril – Linhas Carris

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge*

Os extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* permitem a medição indireta de deslocamentos muito pequenos por intermédio de sensores de corda vibrante que medem a extensão dos elementos estruturais aos quais se encontram ligados através de soldadura (Figura 12). Estes dispositivos serão instalados nas escoras metálicas que constituem a solução de travamento da contenção, permitindo medir a extensão acomodada pelas mesmas e consequentemente a força instalada aquando da execução dos trabalhos de escavação.

Deverão ser utilizados *strain-gauges* de corda vibrante, com campo de leitura não inferior a 3000$\mu\varepsilon$, resolução < 1,0$\mu\varepsilon$ e precisão de ordem inferior a ± 0,5% da capacidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20°C e +80°C). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

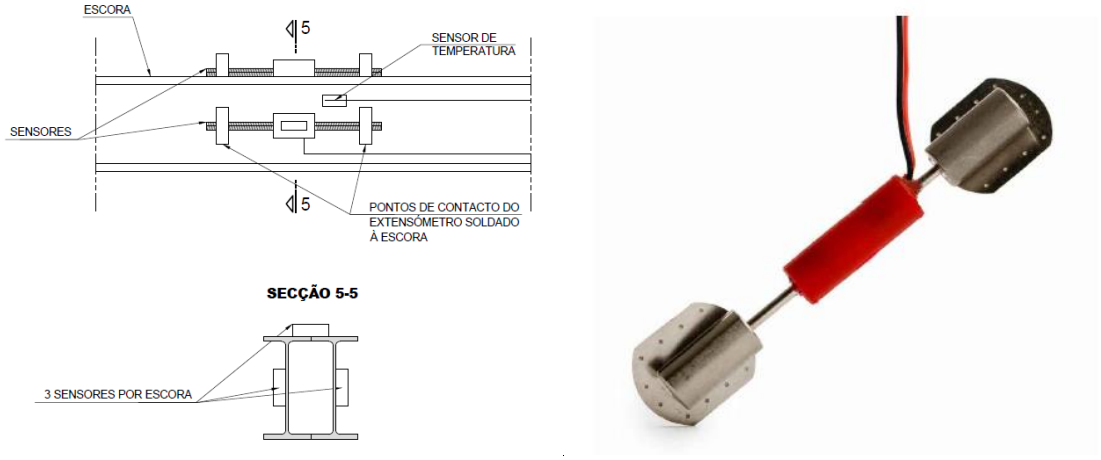


Figura 12 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge*

5.11 Fissurómetros

Este tipo de diapositivos permitirá acompanhar a evolução da abertura de uma determinada fissura.

Os fissurómetros a utilizar deverão ser planos e deverão permitir a realização de leituras de deslocamentos na horizontal e na vertical. Será ainda necessário que possuam capacidade resistente adequada às intempéries, devendo ser fixos de forma adequada (mecanicamente).

O seu alcance máximo será, no mínimo de 25 mm, na horizontal e 10 mm na vertical, devendo a sua resolução ser, no mínimo, de 0,1 mm (Figura 13). Para garantir esta resolução será necessário recorrer no ato da medição a uma craveira digital que se acopla ao fissurómetro.

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

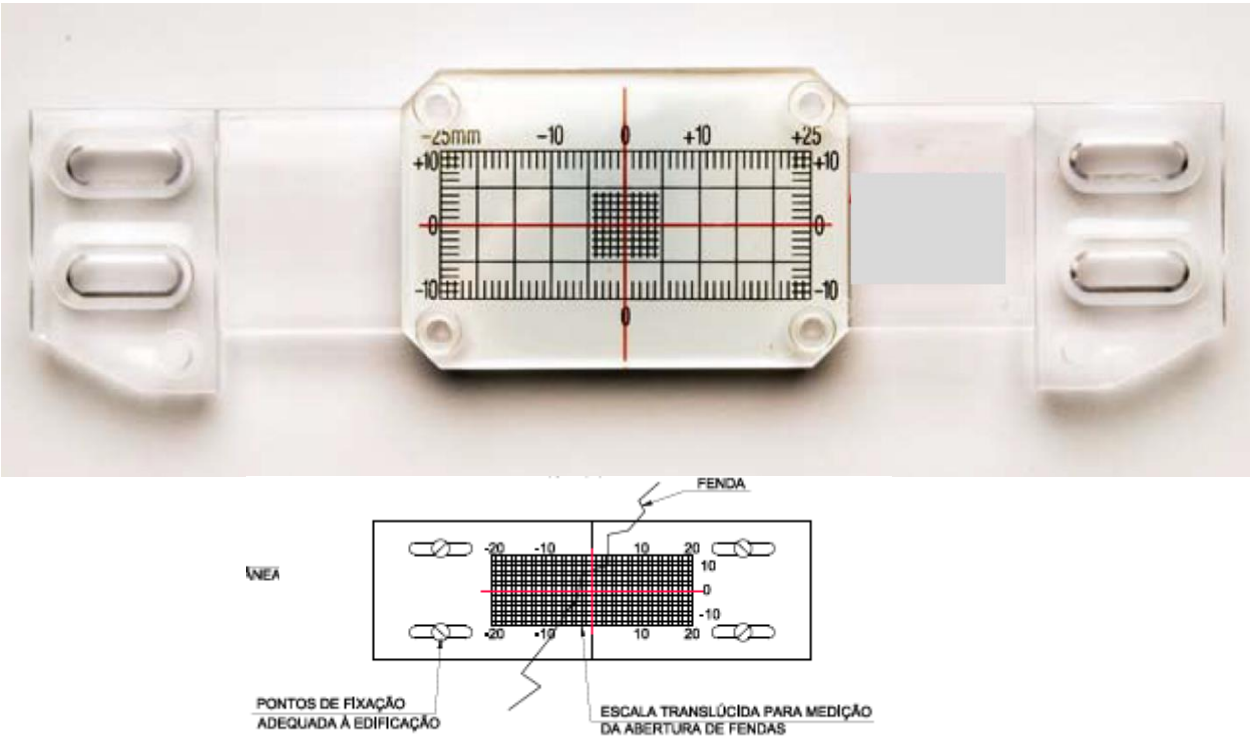


Figura 13 – Fissurómetro

5.12 Células de carga

O recurso a células de carga em ancoragens permitirá o acompanhamento da evolução e magnitude da tração instalada nestes elementos em fase de obra.

As células de carga a adotar nas ancoragens provisórias serão do tipo elétrico.

Em condições normais de leitura, o erro associado a estes dispositivos não deverá ultrapassar os ± 0,1% da capacidade máxima de leitura. A sua capacidade máxima de leitura deverá ser superior aos 1500 kN.

A instalação das células de carga será efetuada antes da realização do ensaio de receção detalhado da ancoragem. As células serão posicionadas sobre a chapa de apoio da ancoragem, sendo posteriormente colocada uma chapa metálica rígida adicional e posteriormente a placa de distribuição das cunhas.

A superfície de contacto com a célula deve estar plana e limpa. A colocação da célula deve ser criteriosa, de forma a que a mesma fique centrada com o eixo da aplicação da carga, evitando-se

assim excentricidades, com consequência no rigor das leituras (Figura 14). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

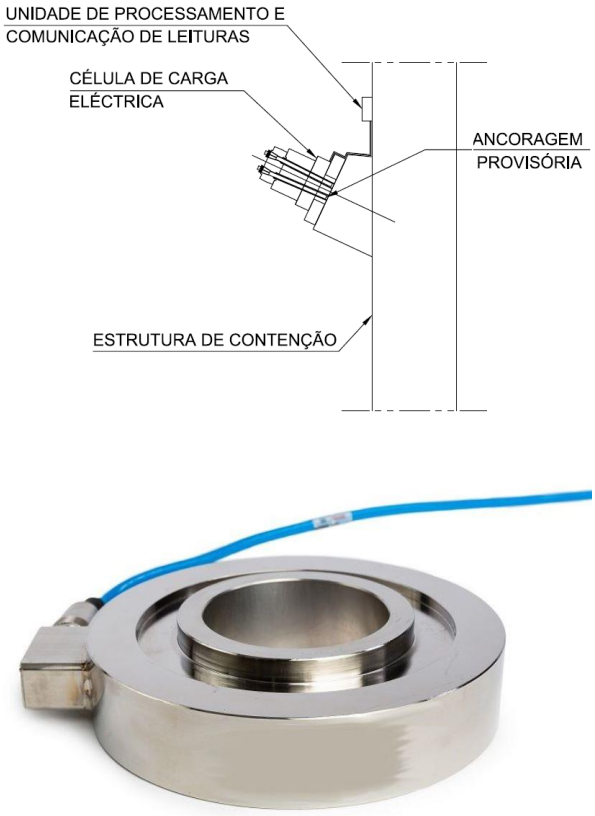


Figura 14 – Célula de carga em ancoragens

5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas

Face aos condicionamentos associados à necessidade de monitorizar as galerias subterrâneas durante a sua execução, a medição das convergências será materializada recorrendo a elemento ótico que permitirá, em condições mais adversas obter com maior precisão leituras de deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A instalação destes dispositivos de forma sistemática e em vários pontos de leitura em seção transversal de cada galeria a executar, permitirá ler não só os deslocamentos do ponto monitorizado, mas também criar secções de medição de convergências, através do controlo de diferentes cordas.

O sistema de fixação destes dispositivos é mecânico e deverá ser realizado ao betão projetado do suporte primário (através de resina epóxi ou de calda de cimento de presa rápida). Na sua extremidade visível a barra é roscada, de forma a permitir acoplar o prisma (Figura 15).

A sua colocação não deverá ultrapassar o primeiro dia após a realização total do suporte primário. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

De modo a permitir a instalação dos prismas o mais rápido possível, antes que a espessura total do suporte primário esteja aplicada, serão utilizados dispositivos de proteção da fixação que

permitirão proteger o elemento de fixação do prisma durante a aplicação das sucessivas camadas de betão projetado (Figura 15).

Figura 15 – Prisma de convergência

5.14 Sismógrafo

Preconiza-se durante a fase de construção o posicionamento de sismógrafos junto às edificações mais vulneráveis. Pretende-se o registo das velocidades e frequências de vibrações eventualmente provocadas pela execução dos trabalhos de construção (Figura 16).

As medições de vibrações serão feitas através de um geofone triaxial com uma capacidade de leitura de 2-250 Hz (janela de calibração mínima 1-160 Hz). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

No caso dos sismógrafos utilizados simultaneamente para a monitorização dos limites de integridade estrutural e de vibrações de incomodidade humana, serão adotados dispositivos com a sensibilidade necessária à monitorização dos respetivos limites (conforme Plano de Monitorização Ambiental).

Figura 16 – Sismógrafo

5.15 Clinómetro

Os clinómetros permitiram a medição da variação de inclinação das paredes dos edifícios. Quando possível, estes fornecerão leituras remotamente, sendo constituídos por bases de leitura em bronze, concebidas para garantir o posicionamento preciso e repetitivo do equipamento de leitura (Figura 17).

As bases de leitura serão fixas de forma mecânica e permanente à estrutura, sendo instaladas diretamente, normalmente na vertical, ou soldadas numa chapa em T, de dimensões adequadas para permitir a sua instalação na horizontal em elementos verticais.

O equipamento de leitura será constituído por sensor instalado num elemento em aço inoxidável, permitindo a realização de leituras nas bases instaladas em superfície verticais ou horizontais, através de uma unidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -30°C e +70°C).

O equipamento de leitura possuirá no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura: ± 15° a partir da vertical
- Resolução: 0,0013°
- Precisão: < 0,06% da capacidade máxima de leitura

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

Figura 17 – Clinómetro

5.16 Prisma topográfico de referência

Para garantir a adequada leitura dos vários dispositivos topográficos instalados será necessário posicionar elementos adicionais que constituirão a sua referência. Constituem dispositivos de precisão de leitura ótica, sendo utlizados para a realização de leituras nos eixos X, Y e Z (Figura 18). À semelhança dos anteriores também estes dispositivos têm uma importância crítica na criação de uma rede de instrumentação, pois permitem ter um conjunto de coordenadas de referência invariáveis e não-suscetíveis a deslocamentos. Nesse sentido, a escolha da sua localização deve ser realizada de forma criteriosa.

Procurou-se distribuir este tipo de dispositivos de forma a garantir que possuem alcance até cerca de 200 metros, sendo necessário garantir visibilidade direta entre este elemento e aquele que se pretende ler. Cada dispositivo a ler (prisma topográfico) deverá estar referenciado, no

mínimo, a 3 unidades de referência, de forma a permitir a existência de redundância e consequentemente, o controlo cruzado entre os vários dispositivos.

O prisma ótico encontra-se acoplado a uma haste metálica robusta que será adequadamente fixa à parede do elemento que será considerado como fixo.

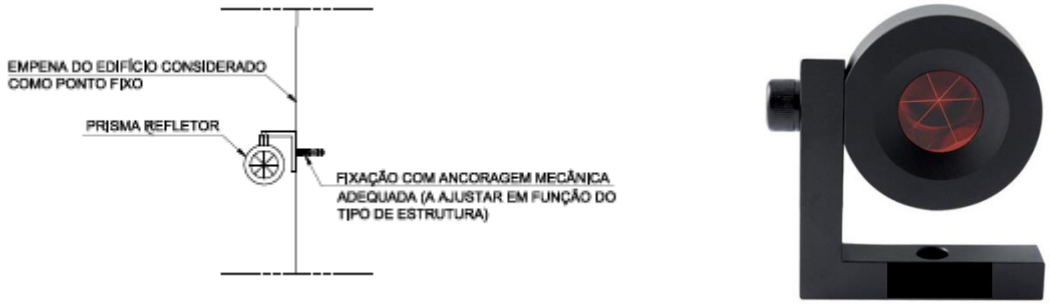


Figura 18 – Prisma topográfico de referência

5.17 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5" e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 19).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

Figura 19 – Estação total robotizada

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 11.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 20).

Figura 20 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 21).

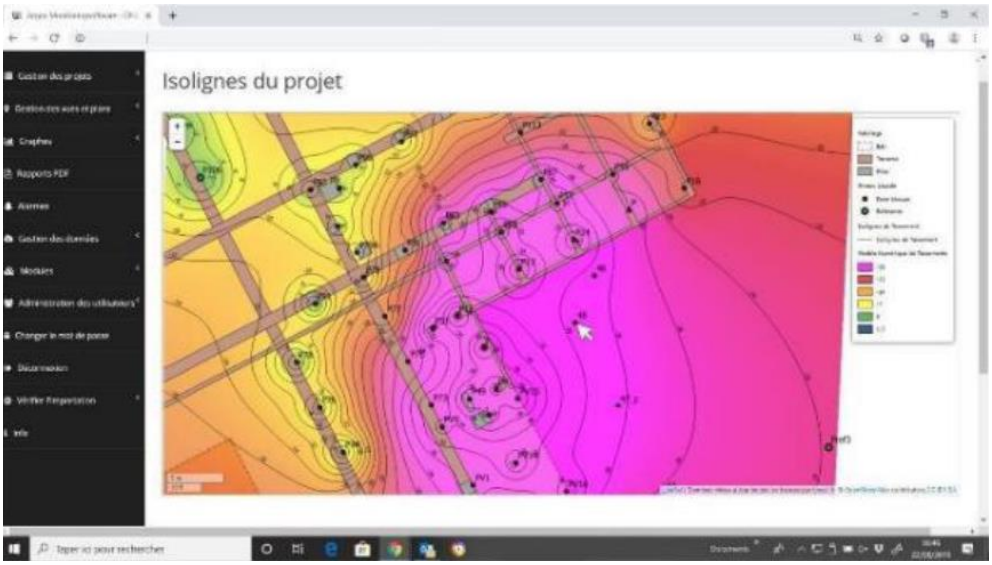


Figura 21 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 22).

Figura 22 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

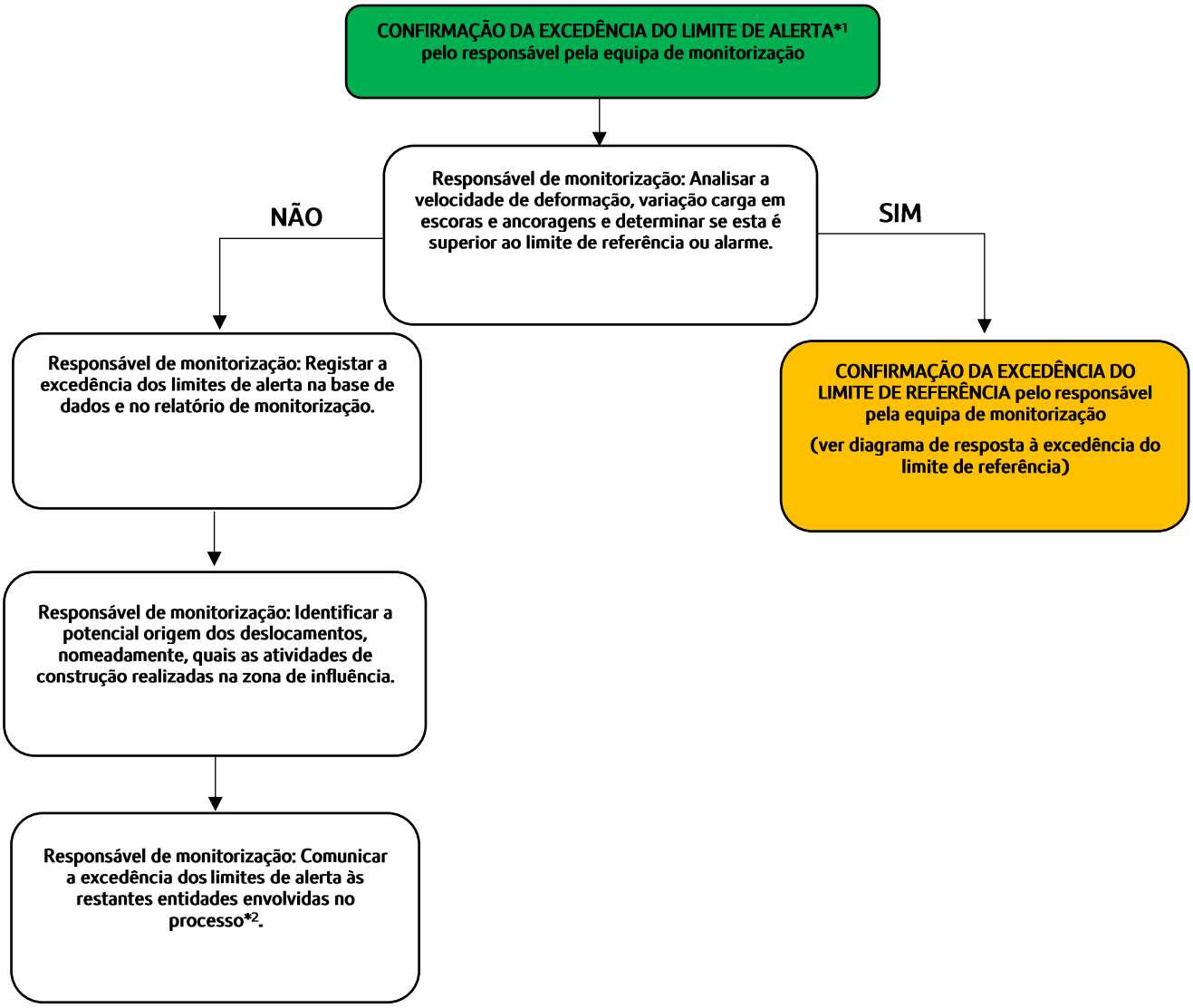
Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 11.2.

11 ANEXOS

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

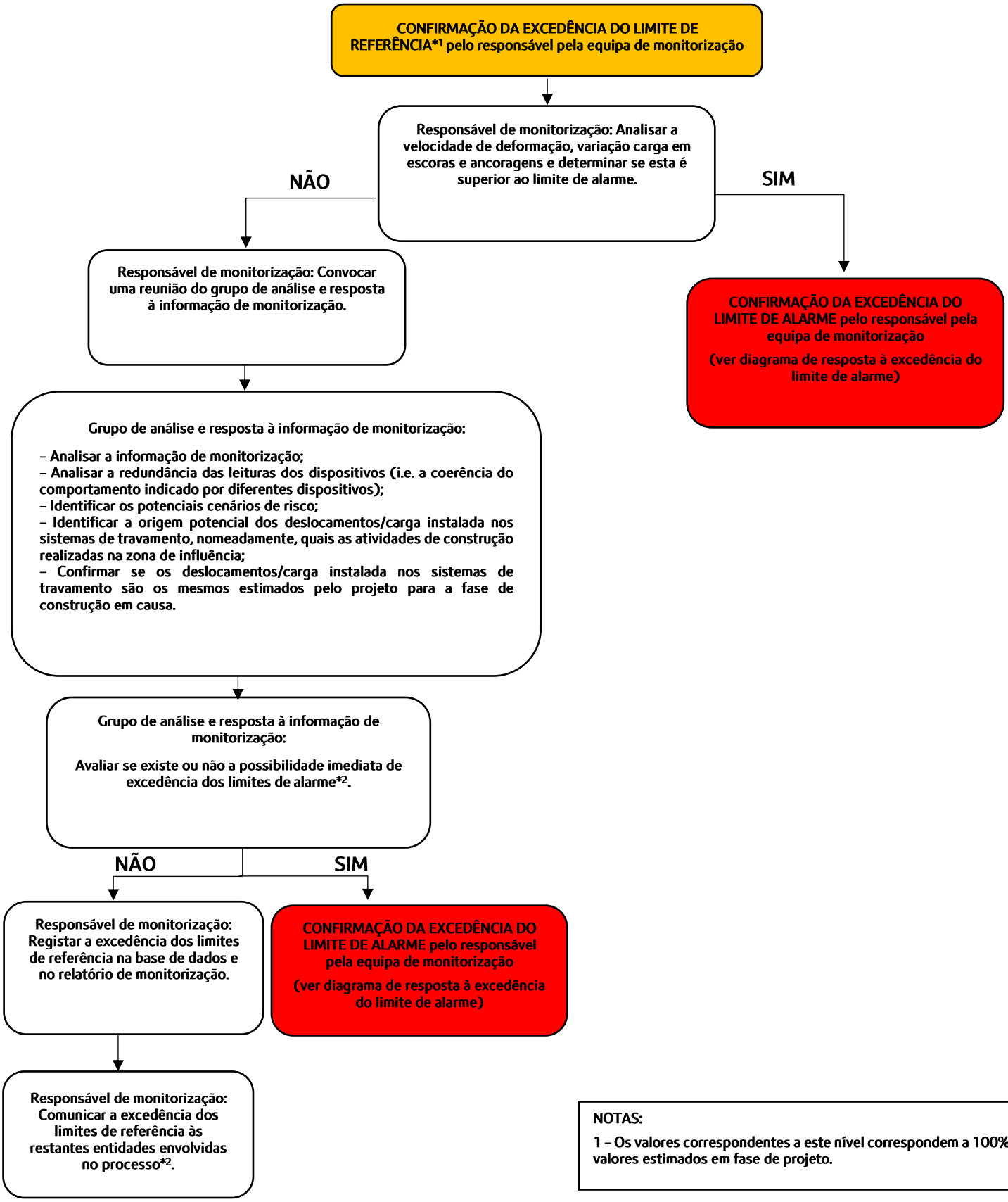
DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- Analisar a informação de monitorização;
- Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);
- Identificar os potenciais cenários de risco;
- Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;
- Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- Quadro A – Túnel NATM

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*3.

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 – As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – Túnel NATM

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Redução da distância de avanço de escavação;
- Aumento da densidade de pregagens de fibra de vidro na frente de escavação;
- Realização de chapéu de enfilagens nos avanços intermédios;
- Realização de furos de drenagem adicionais na frente e/ou nos hasteais;
- Aplicação de betão projetado na frente de escavação;
- Aumento da parcialização da escavação da frente;
- Inclusão de rede electrossoldada entre cambotas;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da frente de escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-10	Emissão inicial

Metropolitano de Lisboa

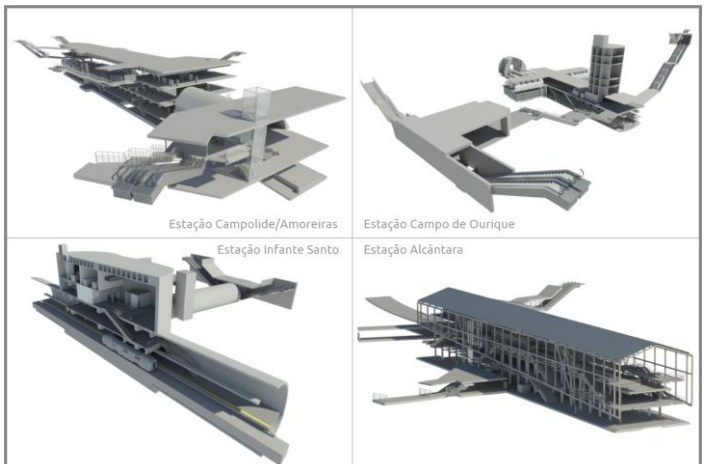
METRO DE LISBOA

LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

TOMO I – GERAL

PROJETO DE EXECUÇÃO



VOLUME 40 – PLANO DE OBSERVAÇÃO

OBRA ESPECIAL 6 – TÚNEL ZONA DO ALVITO

PLANO DE OBSERVAÇÃO

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS TUN OE6 ME 088001 0

	Nome	**Assinatura**	**Data**
Elaborado	José Bernardo Lobo		2024-10-03
Revisto	Afonso Marques		2024-10-03
Verificado	Sergio Notarianni		2024-10-03
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		
Aprovado	Raúl Pistone		

Metropolitano de Lisboa

MOTA-ENGIL ENGENHARIA spie batignolles international efacec coba Portugal JET SJ JLCM PINI GROUP TAL S+A

1 OBJETIVO E ÂMBITO 6

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 8

3 GRANDEZAS A MEDIR 10

3.1 Escavações subterrâneas 10
3.2 Escavações a céu aberto 11
3.3 Edificações 11

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 12

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 12

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 12
5.2 Prisma topográfico para pavimento 13
5.3 Extensómetro multiponto 13
5.4 Inclinómetros 15
5.5 Sensor de nível líquido 17
5.6 Piezómetro elétrico 17
5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC 18
5.8 Piezómetro do tipo Casagrande - câmara simples, dupla ou tripla 19
5.9 Prisma topográfico para carril 20
5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* 21
5.11 Fissurómetros 22
5.12 Células de carga 22
5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas 23
5.14 Sismógrafo 24
5.15 Clinómetro 25
5.16 Prisma topográfico de referência 26
5.17 Estação total robotizada 27

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 27

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 30

7.1 Critérios de alerta e alarme 30

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 31

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 33

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 33

11 ANEXOS 34

11.1 Anexo A - Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 34

11.2 Anexo B - Medidas de atuação/ plano de contingência 38

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Projeto de Execução**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação**, desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo **III** do **Volume 1 – OE6**.

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça ”dinâmica” e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume específico. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

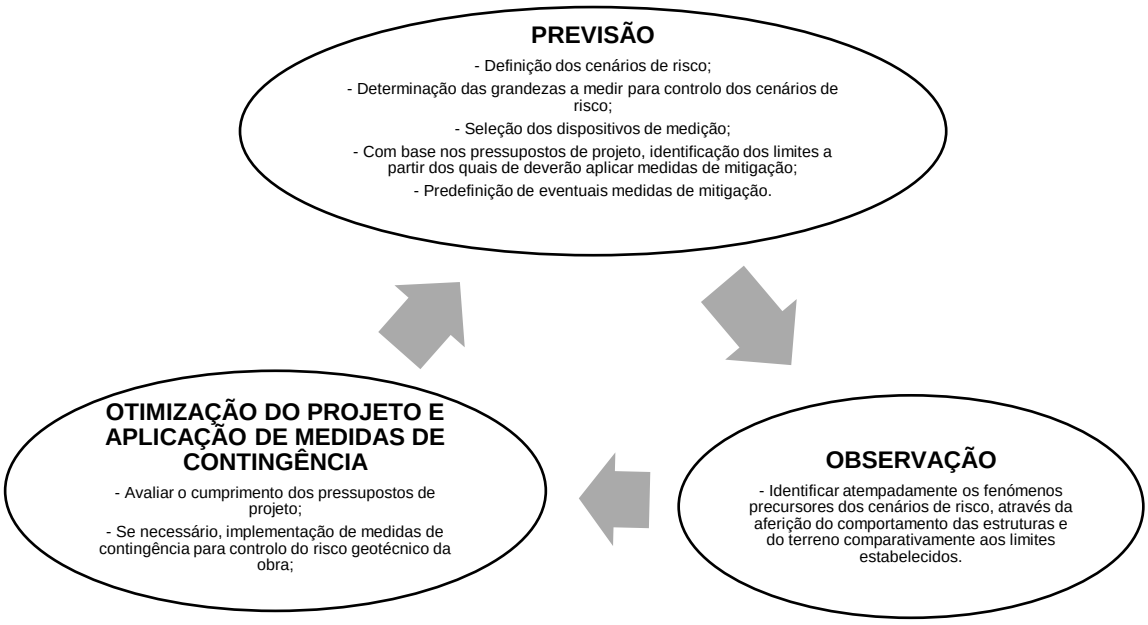


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência. Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada a escavações a céu aberto, contenções periféricas, nomeadamente o Túnel do Alvito (OE6).

Os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
Túnel do Alvito (OE6)	X			X					X		X					

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais e convergências no interior de galerias subterrâneas recorrendo a prismas topográficos.
- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros.
- Medição da abertura de fendas em edifícios, utilizando fissurómetros.
- Medições de deslocamentos verticais internos do maciço e à superfície, com extensómetros multiponto.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições de deslocamentos verticais e horizontais nos pavimentos e carris utilizando prismas de pavimento e de carris.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.
- Medições de deslocamentos axiais de elementos estruturais recorrendo a extensómetros (tipo *strain gauges*).
- Medição de deslocamentos de precisão na estrutura interior de edifícios, utilizando sensores de nível líquido.

3.1 Escavações subterrâneas

A avaliação da evolução do comportamento das obras subterrâneas será realizada através do registo dos deslocamentos do terreno e observação de eventuais fissurações no revestimento primário. Para tal serão criadas secções de medição de convergências e deslocamentos, onde serão instalados, em geral, 3 prismas para secções cuja maior dimensão seja menor ou igual a 10 m e 5 prismas para secções com a maior dimensão superior a 10 m. Para a secções com 3 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 1 em cada hasteal, que permitirão para além dos deslocamentos nesses pontos, o controlo de 3 cordas diferentes. Para a secções com 5 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 2 em cada hasteal, acima e abaixo do eixo da galeria, que permitirão o controlo de 6 cordas diferentes.

No terreno e à superfície serão executados extensómetros multiponto, inclinómetros e prismas topográficos no pavimento, em carris e em edifícios.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, para além dos deslocamentos será também avaliada a variação/presença de água através da instalação de piezómetros.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes. Quando necessário, assumem particular destaque aos drenos longitudinais realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

3.2 Escavações a céu aberto

O plano de observação proposto contempla a medição dos deslocamentos, em particular, durante a execução dos trabalhos, à superfície e em profundidade, nomeadamente assentamentos e deslocamentos horizontais. Para este efeito será necessário recorrer à colocação de prismas topográficos e inclinómetros. A força nos escoramentos metálicos será controlada através de extensómetros (*strain–gauge*), posicionados em redundância em cada seção.

A evolução da tração instalada nas ancoragens será medida recorrendo a células de carga.

A medição da evolução do nível de água será obtida recorrendo a piezómetros.

3.3 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

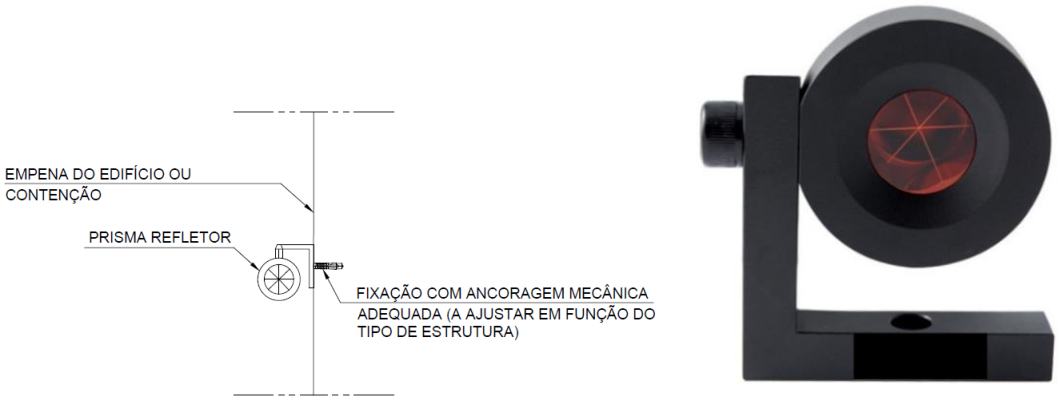


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Prisma topográfico para pavimento

Os prismas topográficos para pavimento consistem num elemento adequadamente fixo ao pavimento com elevada resistência ao tráfego pedonal e rodoviário, materializado por meio de uma placa metálica que permite a realização leituras dos deslocamentos verticais.

As leituras serão efetuadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

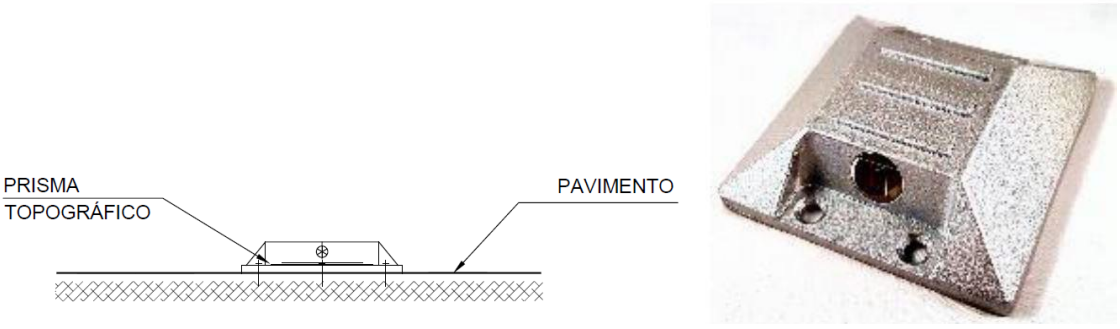


Figura 3 - Prisma topográfico para pavimento

5.3 Extensómetro multiponto

Os extensómetros permitem o controlo dos deslocamentos verticais em profundidade e encontram-se definidos nas seções de monitorização onde também estão previstas medições de deslocamentos e convergências no interior das galerias subterrâneas (Figura 4).

Os extensómetros terão 1 ou 2 ancoragens fixadas a diferentes profundidades. O sensor de deslocamento deverá ser do tipo corda vibrante dotado com sensor de temperatura.

Do conjunto deste dispositivo deverá fazer parte integrante:

- Barras/varas em aço inoxidável ou fibra de vidro

- Ancoragem (injetável com calda de cimento ou tipo *packer*)
- Bainha de encamisamento das barras/varas
- Cabeça de referência do elétrico

O extensómetro será instalado em furo previamente executado de diâmetro, no mínimo, de Ø76 mm (furação destrutiva), que terá um comprimento superior à profundidade de instalação de cerca de 1,00 m.

As cabeças dos extensómetros deverão ser equipadas com um prisma topográfico que permita obter as leituras à superfície. Aos valores das leituras das ancoragens deverão ser adicionados os assentamentos de superfície obtidos através dos prismas.

Os componentes serão montados de acordo às indicações do fabricante e instalados no furo nas cotas previstas função do seu comprimento total. Existirá uma ancoragem na extremidade correspondente à base do furo e uma segunda a 1/3 do seu comprimento total.

Uma vez finalizado o posicionamento do dispositivo, proceder-se-á a sua selagem por meio de calda de cimento.

As cabeças dos extensómetros serão protegidas por caixas com tampas metálicas adequadas.

O dispositivo será de leitura elétrica, o sensor de deslocamento ou transdutor, será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20ºC e +80ºC), possuindo no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura ≥ 100mm
- Precisão < 0,30% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,0066% da capacidade de leitura

O dispositivo será calibrado antes de ser utilizado e as leituras serão realizadas a partir da superfície. Após a realização da medição, os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

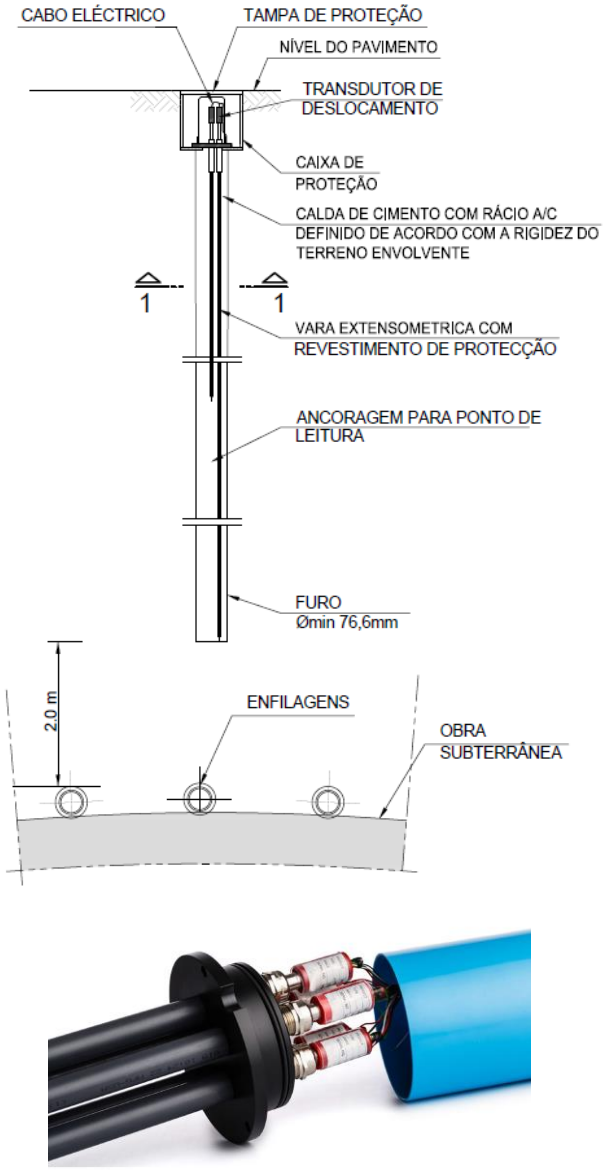


Figura 4 – Extensómetro multiponto

5.4 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90º. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma

escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

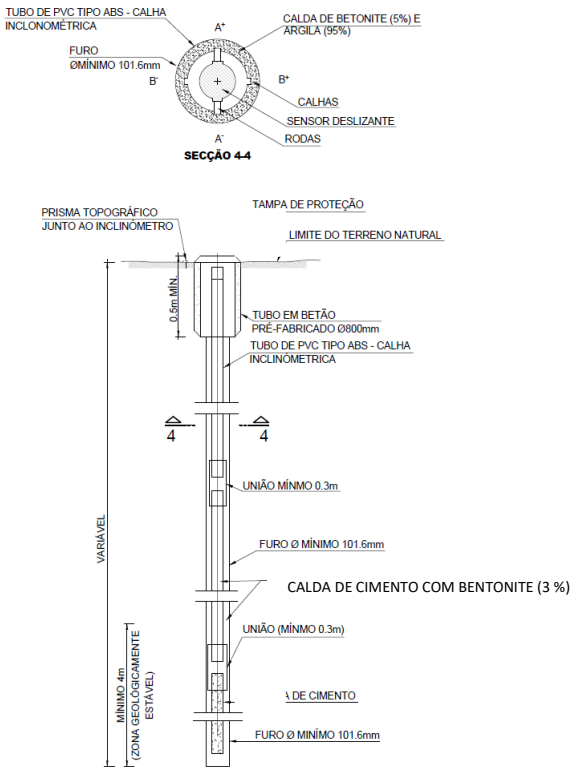


Figura 5 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.5 Sensor de nível líquido

O sensor de nível líquido permite medir deslocamentos diferenciais e totais entre diversos pontos de uma estrutura. É constituído por um conjunto de sensores de elevada precisão que medem continuamente a variação de nível de um líquido num circuito fechado. O conjunto de sensores encontra-se ligado a um depósito que constitui o nível de referência do sistema (Figura 6). Os deslocamentos totais podem ser obtidos através da soma dos deslocamentos diferenciais com os deslocamentos totais do nível de referência, no caso de este último estar sujeito a movimentos.

As leituras serão realizadas automaticamente e enviadas para a base de dados de monitorização.

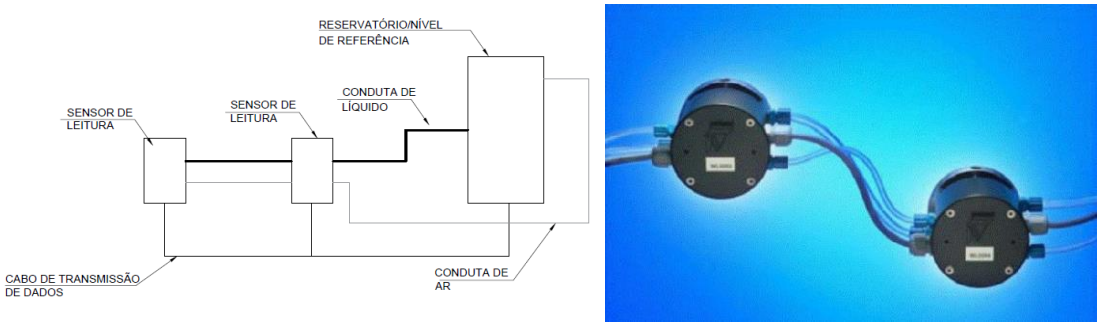


Figura 6 – Sensor de nível líquido

5.6 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 7).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa
- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

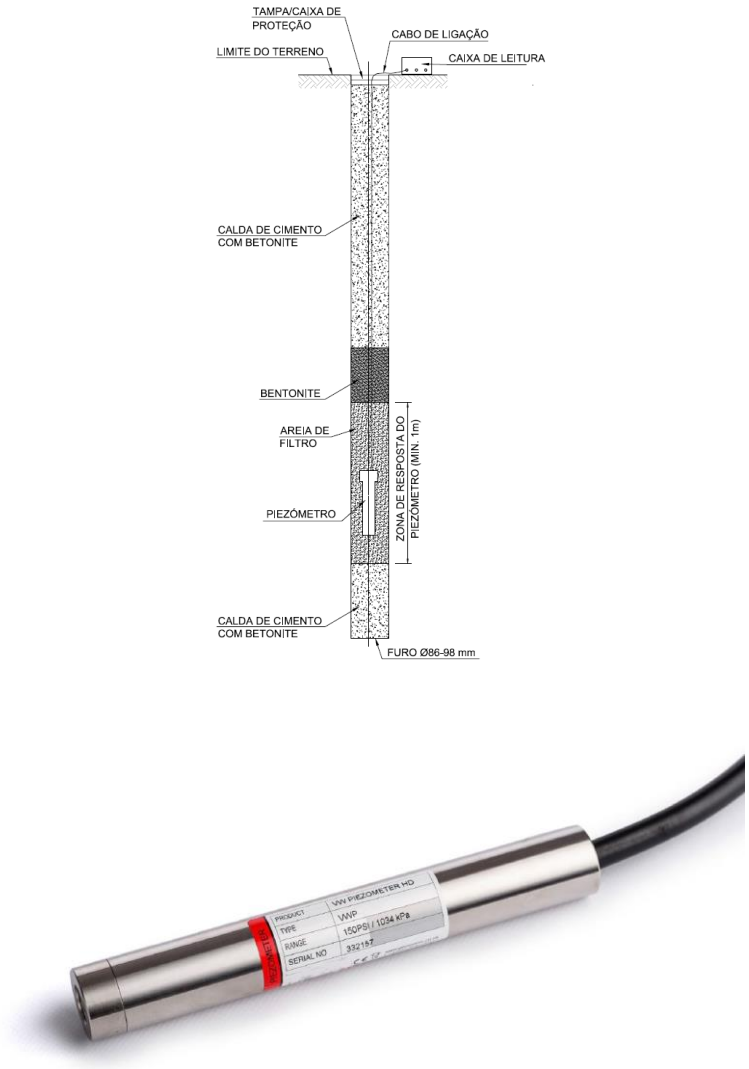


Figura 7 - Piezómetro elétrico com uma câmara

5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC

Os piezómetros com ponteira do tipo LNEC são um tipo de piezómetro recomendado para medição do nível de água em formações de muito baixa permeabilidade, cuja zona de resposta se localiza na extremidade inferior do piezómetro (ponteira) (Figura 8). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

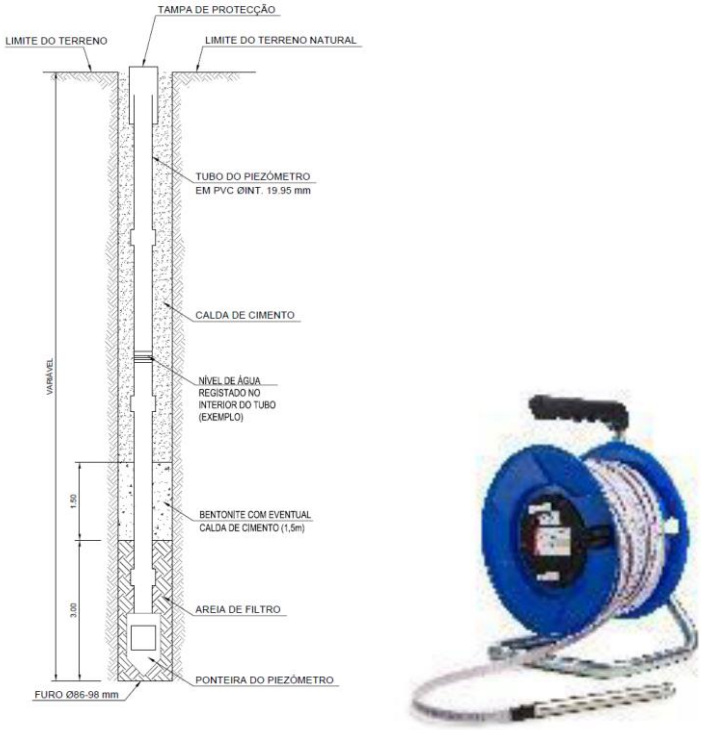


Figura 8 - Piezómetro com ponteira do tipo LNEC

5.8 Piezómetro do tipo Casagrande - câmara simples, dupla ou tripla

Os piezómetros do tipo Casagrande permitem a aferição de aquíferos a diferentes profundidades. São constituídos por troços tubos com 75 mm de diâmetro, solidarizados entre si através de uniões exteriores. Na zona onde se pretende efetuar a leitura do nível piezométrico esses tubos apresentam ranhuras com 4,5mm de espessura sendo a sua zona envolvente preenchida com areia (Figura 9 – piezómetro duplo). O número de tubos ou zonas de resposta dita a sua designação, ou seja de câmara simples – 1 tubo, câmara dupla – 2 tubos ou de câmara tripla – 3 tubos.

Na sua extremidade esses tubos são envoltos com geotêxtil (Figura 9). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

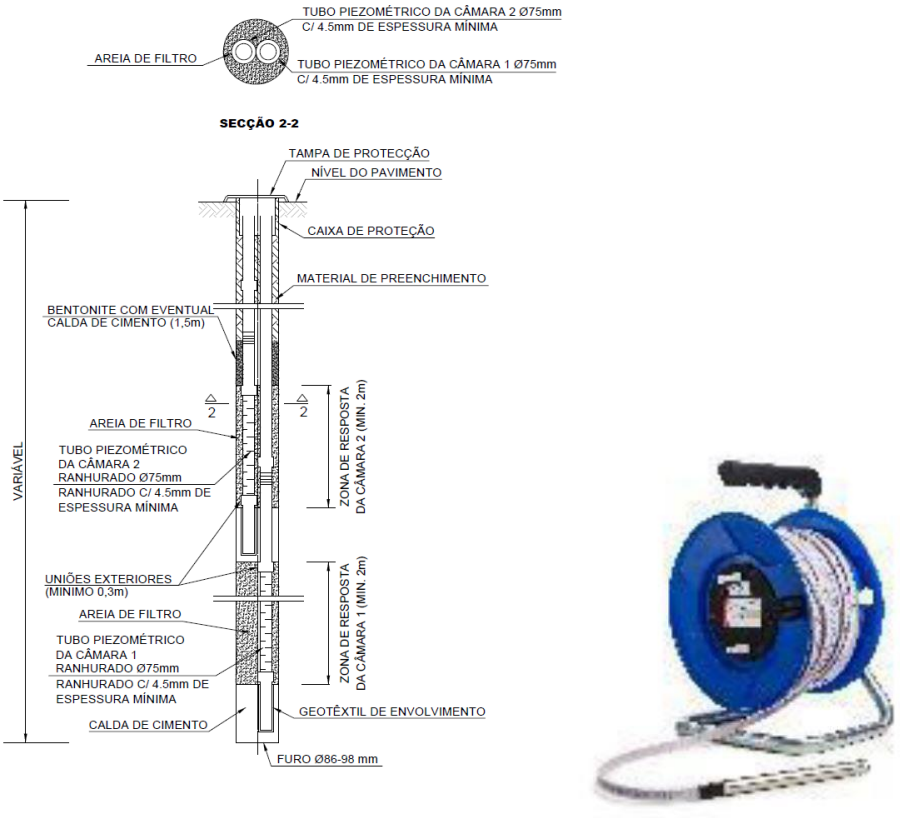


Figura 9 - Piezómetro do tipo Casagrande – Câmara dupla

5.9 Prisma topográfico para carril

Os prismas topográficos para carril, consistem num prisma instalado nas travessas das linhas do comboio da IP (Figura 10) ou num prisma para pavimento fixo entre os carris para as linhas da Carris (Figura 11). Este elementos permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X,Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada.

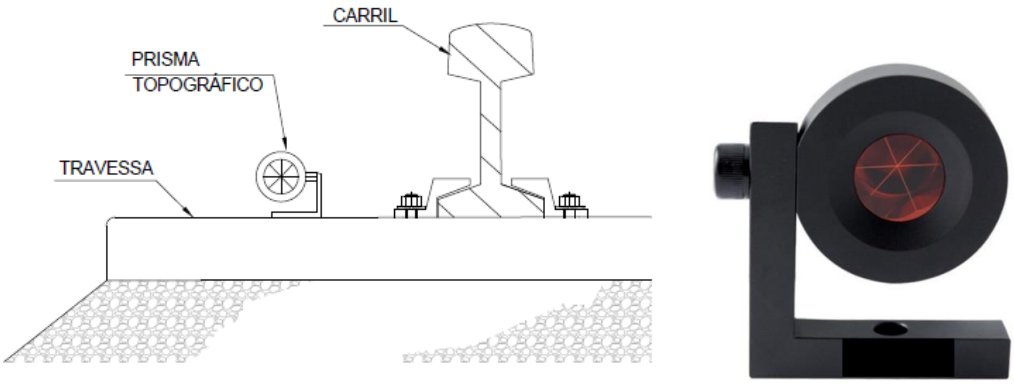


Figura 10 – Prisma topográfico para carril – Linhas IP

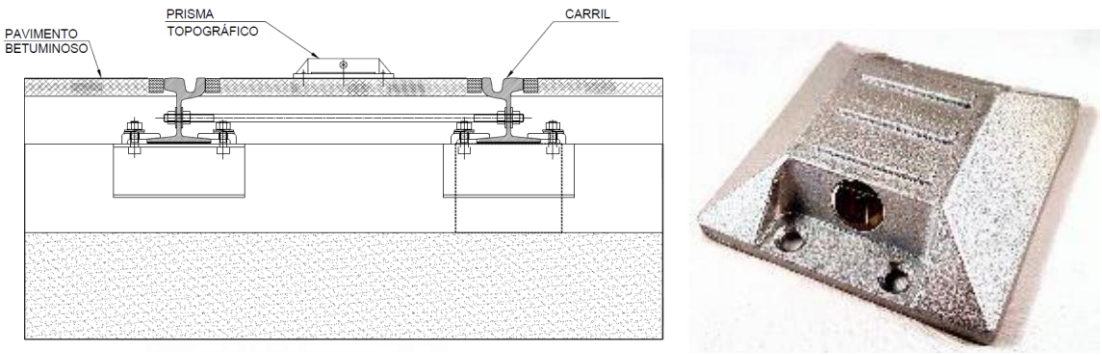


Figura 11 – Prisma topográfico para carril – Linhas Carris

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge*

Os extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* permitem a medição indireta de deslocamentos muito pequenos por intermédio de sensores de corda vibrante que medem a extensão dos elementos estruturais aos quais se encontram ligados através de soldadura (Figura 12). Estes dispositivos serão instalados nas escoras metálicas que constituem a solução de travamento da contenção, permitindo medir a extensão acomodada pelas mesmas e consequentemente a força instalada aquando da execução dos trabalhos de escavação.

Deverão ser utilizados *strain-gauges* de corda vibrante, com campo de leitura não inferior a 3000με, resolução < 1,0με e precisão de ordem inferior a ± 0,5% da capacidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20ºC e +80ºC). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

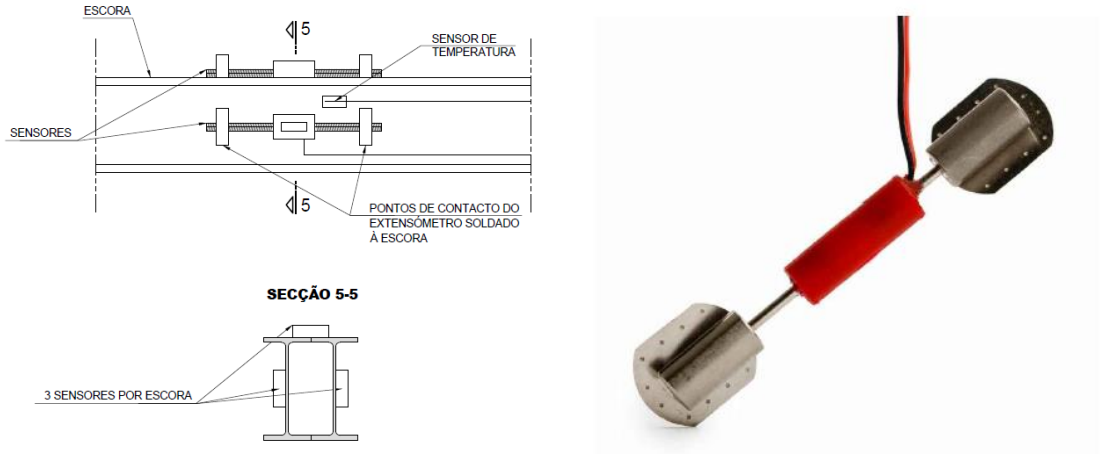


Figura 12 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge*

5.11 Fissurómetros

Este tipo de diapositivos permitirá acompanhar a evolução da abertura de uma determinada fissura.

Os fissurómetros a utilizar deverão ser planos e deverão permitir a realização de leituras de deslocamentos na horizontal e na vertical. Será ainda necessário que possuam capacidade resistente adequada às intempéries, devendo ser fixos de forma adequada (mecanicamente).

O seu alcance máximo será, no mínimo de 25 mm, na horizontal e 10 mm na vertical, devendo a sua resolução ser, no mínimo, de 0,1 mm (Figura 13). Para garantir esta resolução será necessário recorrer no ato da medição a uma craveira digital que se acopla ao fissurómetro.

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

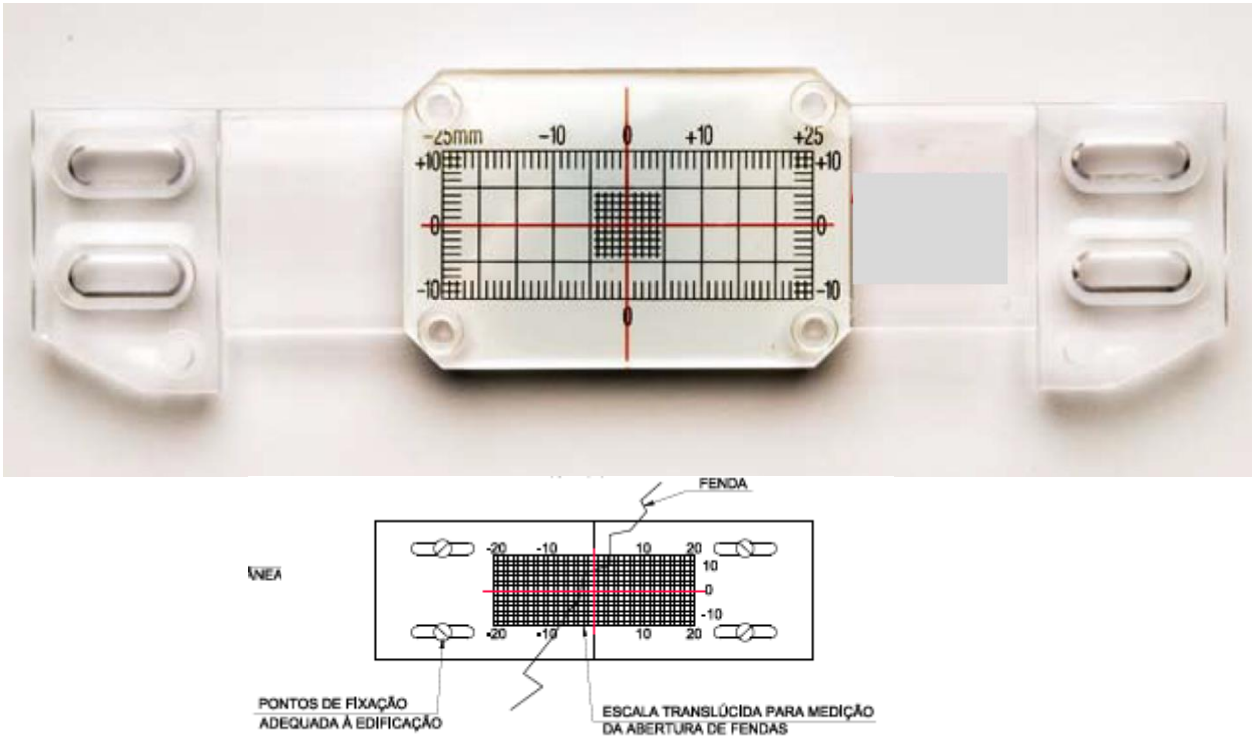


Figura 13 – Fissurómetro

5.12 Células de carga

O recurso a células de carga em ancoragens permitirá o acompanhamento da evolução e magnitude da tração instalada nestes elementos em fase de obra.

As células de carga a adotar nas ancoragens provisórias serão do tipo elétrico.

Em condições normais de leitura, o erro associado a estes dispositivos não deverá ultrapassar os ± 0,1% da capacidade máxima de leitura. A sua capacidade máxima de leitura deverá ser superior aos 1500 kN.

A instalação das células de carga será efetuada antes da realização do ensaio de receção detalhado da ancoragem. As células serão posicionadas sobre a chapa de apoio da ancoragem, sendo posteriormente colocada uma chapa metálica rígida adicional e posteriormente a placa de distribuição das cunhas.

A superfície de contacto com a célula deve estar plana e limpa. A colocação da célula deve ser criteriosa, de forma a que a mesma fique centrada com o eixo da aplicação da carga, evitando-se assim excentricidades, com consequência no rigor das leituras (Figura 14). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

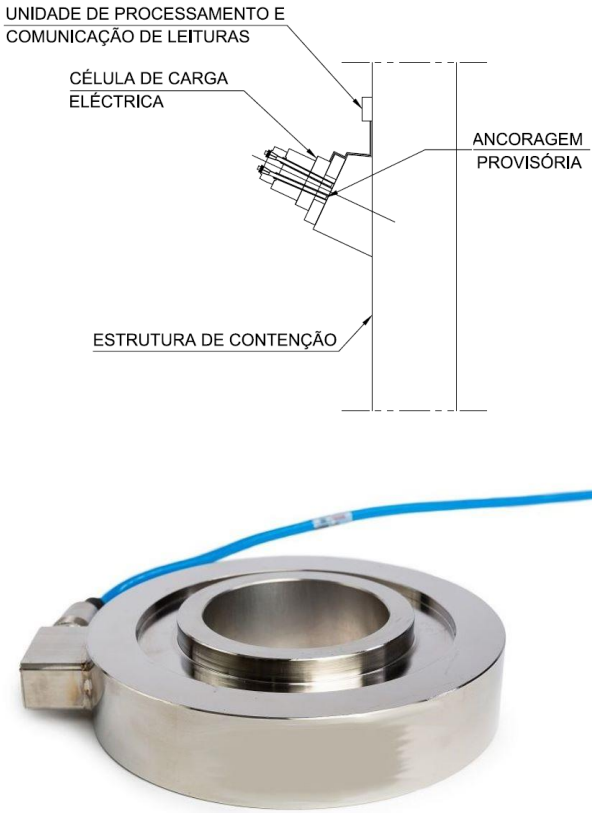


Figura 14 – Célula de carga em ancoragens

5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas

Face aos condicionamentos associados à necessidade de monitorizar as galerias subterrâneas durante a sua execução, a medição das convergências será materializada recorrendo a elemento ótico que permitirá, em condições mais adversas obter com maior precisão leituras de deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A instalação destes dispositivos de forma sistemática e em vários pontos de leitura em seção transversal de cada galeria a executar, permitirá ler não só os deslocamentos do ponto monitorizado, mas também criar secções de medição de convergências, através do controlo de diferentes cordas.

O sistema de fixação destes dispositivos é mecânico e deverá ser realizado ao betão projetado do suporte primário (através de resina epóxi ou de calda de cimento de presa rápida). Na sua extremidade visível a barra é roscada, de forma a permitir acoplar o prisma (Figura 15).

A sua colocação não deverá ultrapassar o primeiro dia após a realização total do suporte primário. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

De modo a permitir a instalação dos prismas o mais rápido possível, antes que a espessura total do suporte primário esteja aplicada, serão utilizados dispositivos de proteção da fixação que permitirão proteger o elemento de fixação do prisma durante a aplicação das sucessivas camadas de betão projetado (Figura 15).

Figura 15 – Prisma de convergência

5.14 Sismógrafo

Preconiza-se durante a fase de construção o posicionamento de sismógrafos junto às edificações mais vulneráveis. Pretende-se o registo das velocidades e frequências de vibrações eventualmente provocadas pela execução dos trabalhos de construção (Figura 16).

As medições de vibrações serão feitas através de um geofone triaxial com uma capacidade de leitura de 2-250 Hz (janela de calibração mínima 1-160 Hz). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

No caso dos sismógrafos utilizados simultaneamente para a monitorização dos limites de integridade estrutural e de vibrações de incomodidade humana, serão adotados dispositivos com a sensibilidade necessária à monitorização dos respetivos limites (conforme Plano de Monitorização Ambiental).

Figura 16 – Sismógrafo

5.15 Clinómetro

Os clinómetros permitiram a medição da variação de inclinação das paredes dos edifícios. Quando possível, estes fornecerão leituras remotamente, sendo constituídos por bases de leitura em bronze, concebidas para garantir o posicionamento preciso e repetitivo do equipamento de leitura (Figura 17).

As bases de leitura serão fixas de forma mecânica e permanente à estrutura, sendo instaladas diretamente, normalmente na vertical, ou soldadas numa chapa em T, de dimensões adequadas para permitir a sua instalação na horizontal em elementos verticais.

O equipamento de leitura será constituído por sensor instalado num elemento em aço inoxidável, permitindo a realização de leituras nas bases instaladas em superfície verticais ou horizontais, através de uma unidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -30ºC e +70ºC).

O equipamento de leitura possuirá no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura: ± 15º a partir da vertical
- Resolução: 0,0013º
- Precisão: < 0,06% da capacidade máxima de leitura

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

Figura 17 – Clinómetro

5.16 Prisma topográfico de referência

Para garantir a adequada leitura dos vários dispositivos topográficos instalados será necessário posicionar elementos adicionais que constituirão a sua referência. Constituem dispositivos de precisão de leitura ótica, sendo utlizados para a realização de leituras nos eixos X, Y e Z (Figura 18). À semelhança dos anteriores também estes dispositivos têm uma importância crítica na criação de uma rede de instrumentação, pois permitem ter um conjunto de coordenadas de referência invariáveis e não-suscetíveis a deslocamentos. Nesse sentido, a escolha da sua localização deve ser realizada de forma criteriosa.

Procurou-se distribuir este tipo de dispositivos de forma a garantir que possuem alcance até cerca de 200 metros, sendo necessário garantir visibilidade direta entre este elemento e aquele que se pretende ler. Cada dispositivo a ler (prisma topográfico) deverá estar referenciado, no mínimo, a 3 unidades de referência, de forma a permitir a existência de redundância e consequentemente, o controlo cruzado entre os vários dispositivos.

O prisma ótico encontra-se acoplado a uma haste metálica robusta que será adequadamente fixa à parede do elemento que será considerado como fixo.

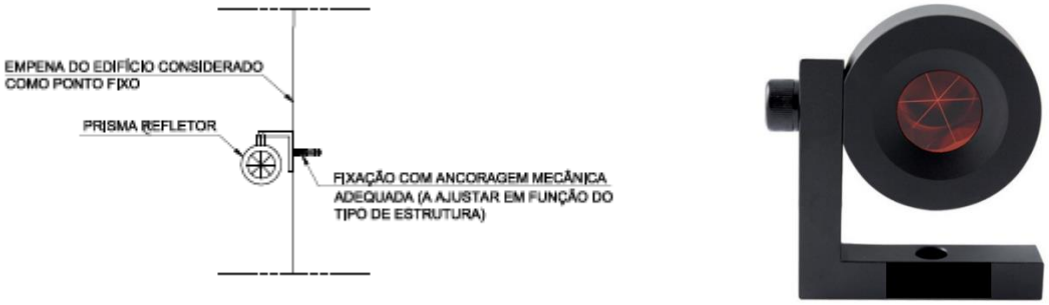


Figura 18 – Prisma topográfico de referência

5.17 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5” e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 19).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

Figura 19 – Estação total robotizada

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 11.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 20).

Figura 20 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 21).

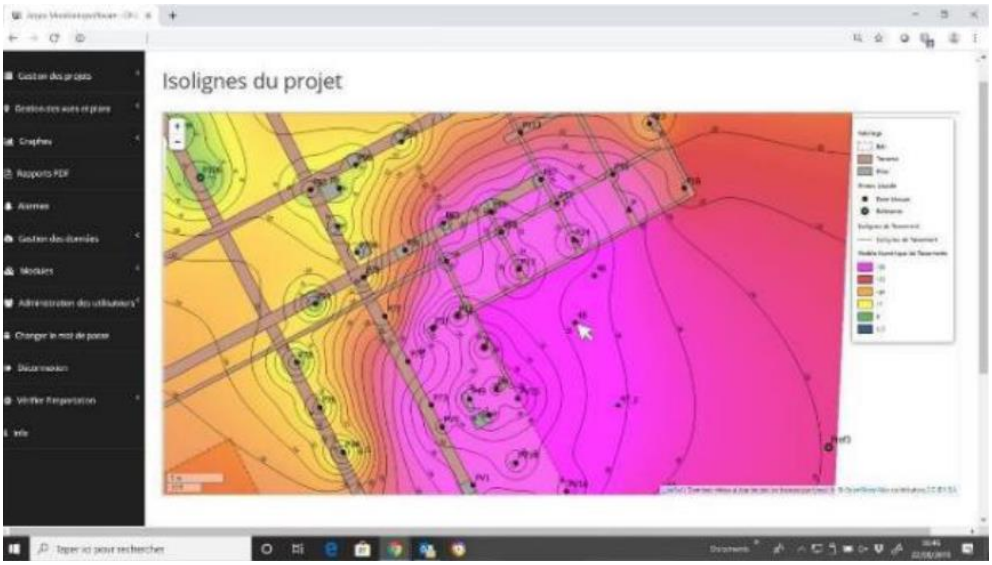


Figura 21 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 22).

Figura 22 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

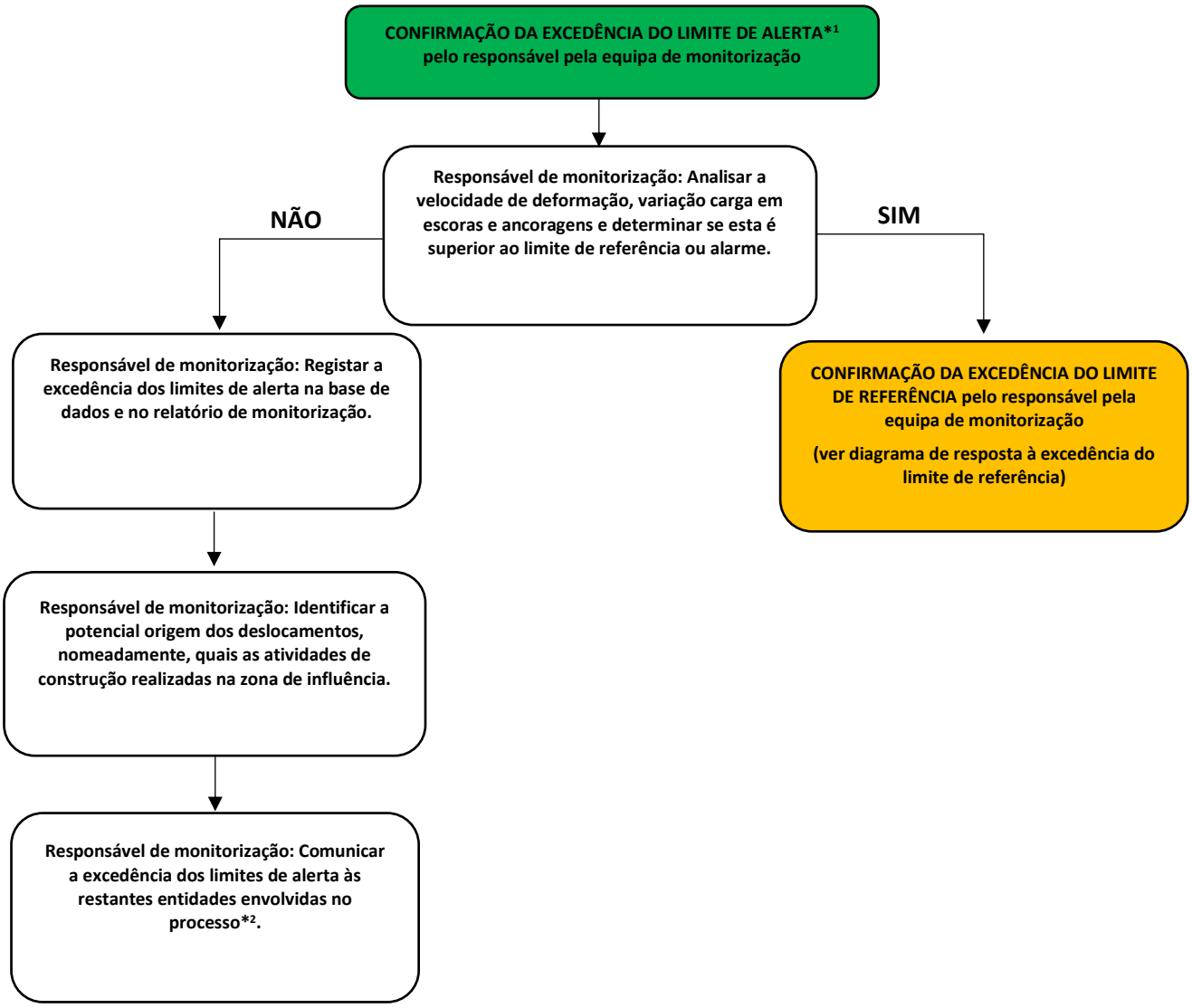
Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 11.2.

11 ANEXOS

11.1 Anexo A - Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE REFERÊNCIA*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Analisar a velocidade de deformação, variação carga em escoras e ancoragens e determinar se esta é superior ao limite de alarme.

NÃO

SIM

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- **Analisar a informação de monitorização;**
- **Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);**
- **Identificar os potenciais cenários de risco;**
- **Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;**
- **Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.**

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de excedência dos limites de alarme*2.

NÃO

SIM

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de referência na base de dados e no relatório de monitorização.

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de referência às restantes entidades envolvidas no processo*2.

NOTAS:

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- **Analisar a informação de monitorização;**
- **Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);**
- **Identificar os potenciais cenários de risco;**
- **Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;**
- **Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.**

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- **Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;**
- **Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;**
- **Realização de inspeções visuais à estrutura;**
- **Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;**
- **Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;**

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- **Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;**
- **Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;**
- **Realização de inspeções visuais à estrutura;**
- **Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;**
- **Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.**

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- **Quadro A – OE6 – Escavação a céu aberto com escoras e ancoragens**
- **Quadro B – OE6 – Escavação a céu aberto com escoras**
- **Quadro C – OE6 – Escavação a céu aberto com ancoragens**

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*[3].

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 - As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

11.2 Anexo B - Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – OE6 – Escavação a céu aberto com escoras e ancoragens

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Limitação da afluência de água por recalçamento da ficha das cortinas;
- Furos de drenagem/alívio de pressão adicionais no fundo da escavação;
- Instalação de escoras metálicas adicionais;
- Realização de ancoragens adicionais;
- Realização de vigas de distribuição adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da escavação.

Quadro B – OE6 – Escavação a céu aberto com escoras

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Limitação da afluência de água por recalçamento da ficha das cortinas;
- Furos de drenagem/alívio de pressão adicionais no fundo da escavação;
- Instalação de escoras metálicas adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Realização de injeções de selagem;
- Execução de colunas de calda de cimento para tratamento do terreno no tardoz da contenção;
- Aterro da escavação.

Quadro C – OE6 – Escavação a céu aberto com ancoragens

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Limitação da afluência de água por recalçamento da ficha das cortinas;
- Furos de drenagem/alívio de pressão adicionais no fundo da escavação;
- Realização de ancoragens adicionais;
- Realização de vigas de distribuição adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-03	Edição inicial

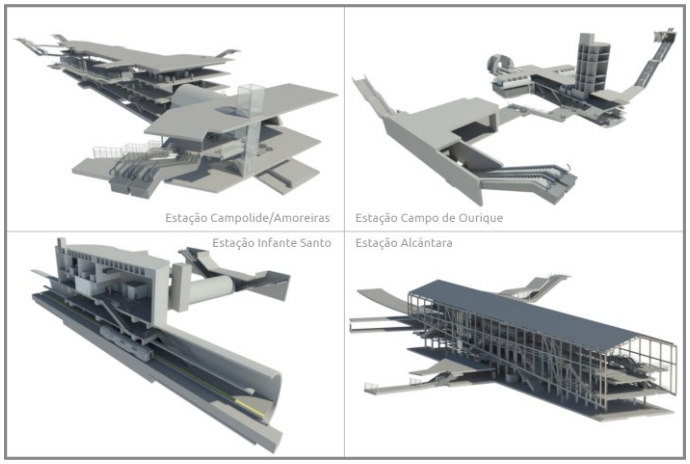
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

PROJETO DE EXECUÇÃO



TOMO I: GERAL

VOLUME 40 – PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

OE5: TÚNEL ZONA DO BALUARTE

MEMÓRIA DESCRITIVA

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS TUN OE5 MD 086000 0

	Nome	Assinatura	Data
Elaborado	Pedro Marques/ Carlos Martins		2024-10-04
Revisto	Rui Tomásio		2024-10-04
Verificado	Sandra Ferreira/ Gonçalo Mateus		2024-10-04
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-04
Aprovado	Raúl Pistone		2024-10-04

Índice

1 OBJETIVO E ÂMBITO 5

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 6

3 GRANDEZAS A MEDIR 8

3.1 Escavações a céu aberto 8
3.2 Edificações 8
4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 9

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 10

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 10
5.2 Inclinómetros 10
5.3 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* 11
5.4 Fissurómetros 12
5.5 Células de carga 12
5.6 Sismógrafo 13
5.7 Clinómetro 14
5.8 Estação total robotizada 15
6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 16

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 19

7.1 Critérios de alerta e alarme 19
8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 20

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 22

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 23

11 ANEXOS 24

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 24
11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência 28

Índice de Figuras

Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação 6
Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções 10
Figura 3 – Inclinómetro 11
Figura 4 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge* 12
Figura 5 – Fissurómetro 12
Figura 6 – Célula de carga em ancoragens 13
Figura 7 – Sismógrafo 14
Figura 8 – Clinómetro 14
Figura 9 – Estação total robotizada 15
Figura 10 – Interface de acesso aos dados de monitorização 20
Figura 11 – Processamento de dados de monitorização 21
Figura 12 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme 21

Índice de Tabelas

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto 17
Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas 18

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Projeto de Execução**, da **Memória Descritiva do Plano de Observação,** desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do **Tomo I – Geral** do **Volume 40 – Plano de Instrumentação e Observação**.

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça "dinâmica" e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

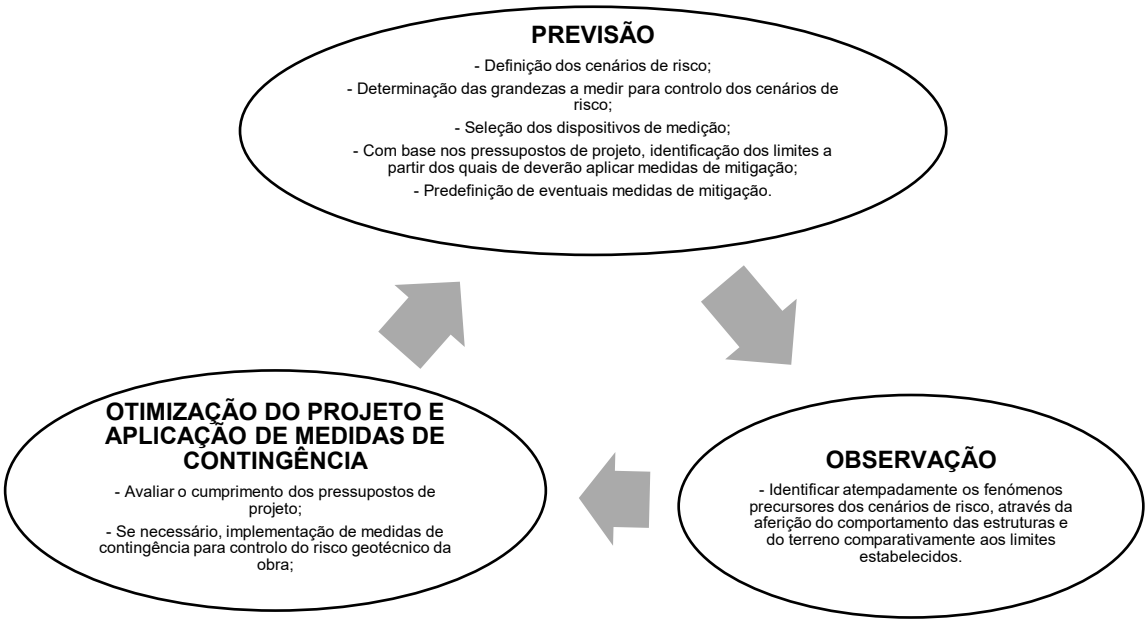


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência. Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada à Obra Especial 5, nomeadamente ao Túnel Zona do Baluarte.

Para cada um destes locais, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
Túnel Zona do Baluarte (OE5)	X			X					X	X	X		X	X		X

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros.
- Medição da abertura de fendas em edifícios, utilizando fissurómetros.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições de deslocamentos verticais e horizontais nos pavimentos e carris utilizando prismas de pavimento e de carris.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.
- Medições de deslocamentos axiais de elementos estruturais recorrendo a extensómetros (tipo *strain gauges*).

3.1 Escavações a céu aberto

O plano de observação proposto contempla a medição dos deslocamentos, em particular, durante a execução dos trabalhos, à superfície e em profundidade, nomeadamente assentamentos e deslocamentos horizontais. Para este efeito será necessário recorrer à colocação de prismas topográficos e inclinómetros. A força nos escoramentos metálicos será controlada através de extensómetros (*strain–gauge*), posicionados em redundância em cada seção.

A evolução da tração instalada nas ancoragens será medida recorrendo a células de carga.

A medição da evolução do nível de água será obtida recorrendo a piezómetros.

3.2 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

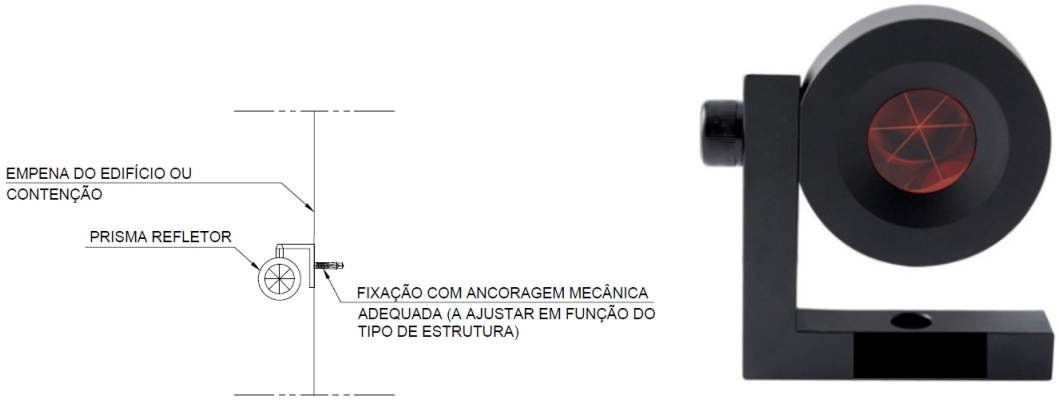


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90°. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

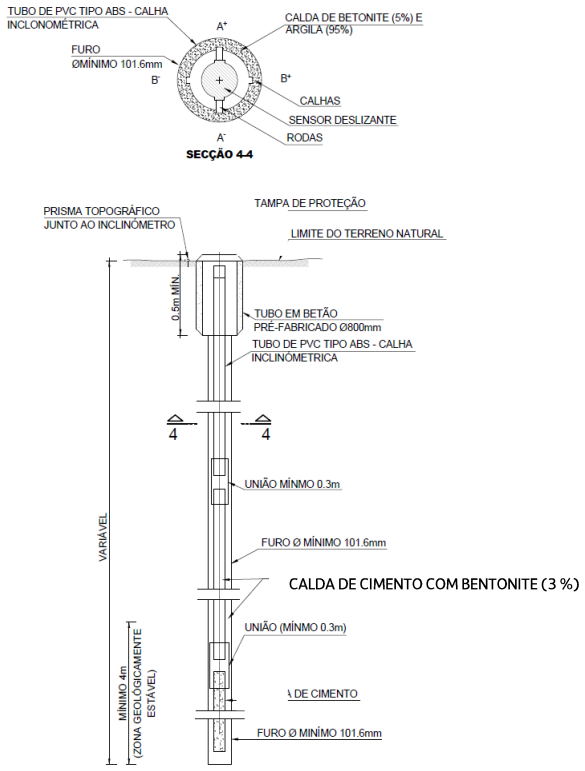


Figura 3 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.3 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge*

Os extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* permitem a medição indireta de deslocamentos muito pequenos por intermédio de sensores de corda vibrante que medem a extensão dos elementos estruturais aos quais se encontram ligados através de soldadura (Figura 4). Estes dispositivos serão instalados nas escoras metálicas que constituem a solução de travamento da contenção, permitindo medir a extensão acomodada pelas mesmas e consequentemente a força instalada aquando da execução dos trabalhos de escavação.

Deverão ser utilizados *strain-gauges* de corda vibrante, com campo de leitura não inferior a 3000$\mu\varepsilon$, resolução < 1,0$\mu\varepsilon$ e precisão de ordem inferior a ± 0,5% da capacidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20°C e +80°C). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

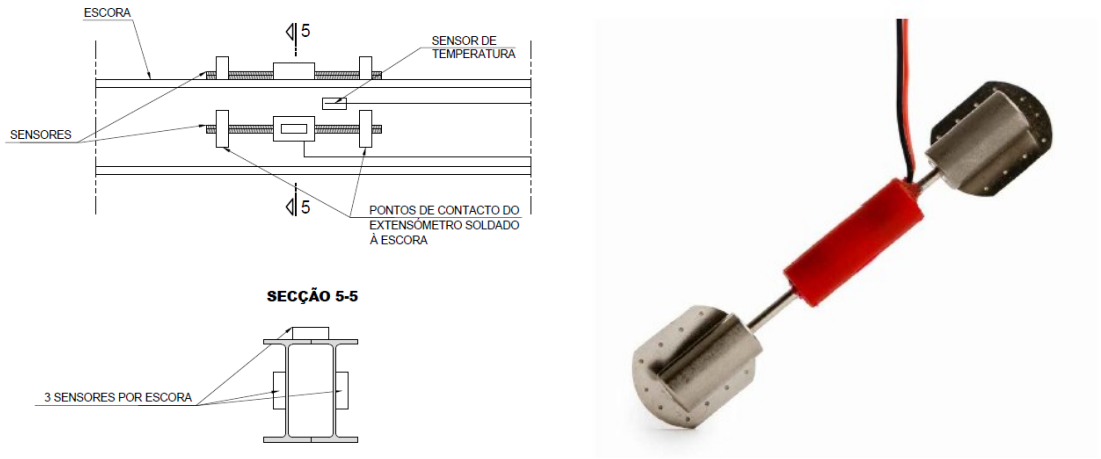


Figura 4 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge*

5.4 Fissurómetros

Este tipo de diapositivos permitirá acompanhar a evolução da abertura de uma determinada fissura.

Os fissurómetros a utilizar deverão ser planos e deverão permitir a realização de leituras de deslocamentos na horizontal e na vertical. Será ainda necessário que possuam capacidade resistente adequada às intempéries, devendo ser fixos de forma adequada (mecanicamente).

O seu alcance máximo será, no mínimo de 25 mm, na horizontal e 10 mm na vertical, devendo a sua resolução ser, no mínimo, de 0,1 mm (Figura 5). Para garantir esta resolução será necessário recorrer no ato da medição a uma craveira digital que se acopla ao fissurómetro.

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

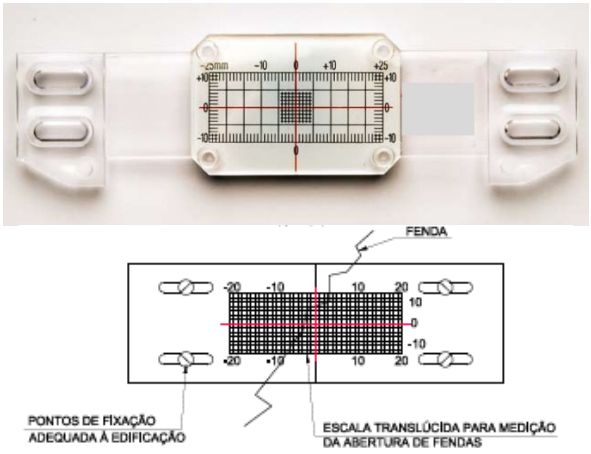


Figura 5 – Fissurómetro

5.5 Células de carga

O recurso a células de carga em ancoragens permitirá o acompanhamento da evolução e magnitude da tração instalada nestes elementos em fase de obra.

As células de carga a adotar nas ancoragens provisórias serão do tipo elétrico.

Em condições normais de leitura, o erro associado a estes dispositivos não deverá ultrapassar os ± 0,1% da capacidade máxima de leitura. A sua capacidade máxima de leitura deverá ser superior aos 1500 kN.

A instalação das células de carga será efetuada antes da realização do ensaio de receção detalhado da ancoragem. As células serão posicionadas sobre a chapa de apoio da ancoragem, sendo posteriormente colocada uma chapa metálica rígida adicional e posteriormente a placa de distribuição das cunhas.

A superfície de contacto com a célula deve estar plana e limpa. A colocação da célula deve ser criteriosa, de forma a que a mesma fique centrada com o eixo da aplicação da carga, evitando-se assim excentricidades, com consequência no rigor das leituras (Figura 6). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

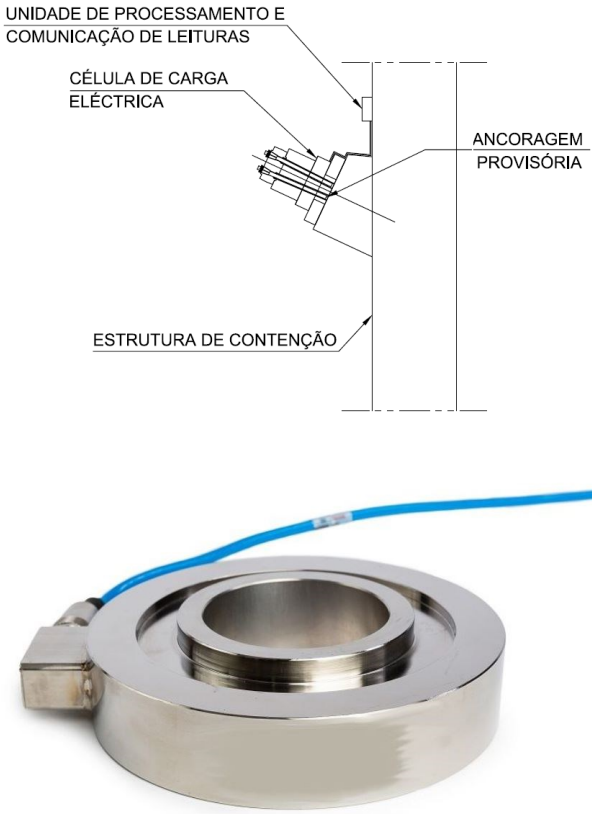


Figura 6 – Célula de carga em ancoragens

5.6 Sismógrafo

Preconiza-se durante a fase de construção o posicionamento de sismógrafos junto às edificações mais vulneráveis. Pretende-se o registo das velocidades e frequências de vibrações eventualmente provocadas pela execução dos trabalhos de construção (Figura 7).

As medições de vibrações serão feitas através de um geofone triaxial com uma capacidade de leitura de 2-250 Hz (janela de calibração mínima 1-160 Hz). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

No caso dos sismógrafos utilizados simultaneamente para a monitorização dos limites de integridade estrutural e de vibrações de incomodidade humana, serão adotados dispositivos com a sensibilidade necessária à monitorização dos respetivos limites (conforme Plano de Monitorização Ambiental).

Figura 7 – Sismógrafo

5.7 Clinómetro

Os clinómetros permitiram a medição da variação de inclinação das paredes dos edifícios. Quando possível, estes fornecerão leituras remotamente, sendo constituídos por bases de leitura em bronze, concebidas para garantir o posicionamento preciso e repetitivo do equipamento de leitura (Figura 8).

As bases de leitura serão fixas de forma mecânica e permanente à estrutura, sendo instaladas diretamente, normalmente na vertical, ou soldadas numa chapa em T, de dimensões adequadas para permitir a sua instalação na horizontal em elementos verticais.

O equipamento de leitura será constituído por sensor instalado num elemento em aço inoxidável, permitindo a realização de leituras nas bases instaladas em superfície verticais ou horizontais, através de uma unidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -30°C e +70°C).

O equipamento de leitura possuirá no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura: ± 15° a partir da vertical
- Resolução: 0,0013°
- Precisão: < 0,06% da capacidade máxima de leitura

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

Figura 8 – Clinómetro

5.8 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5" e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 9).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

Figura 9 – Estação total robotizada

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 11.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 10).

Figura 10 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 11).

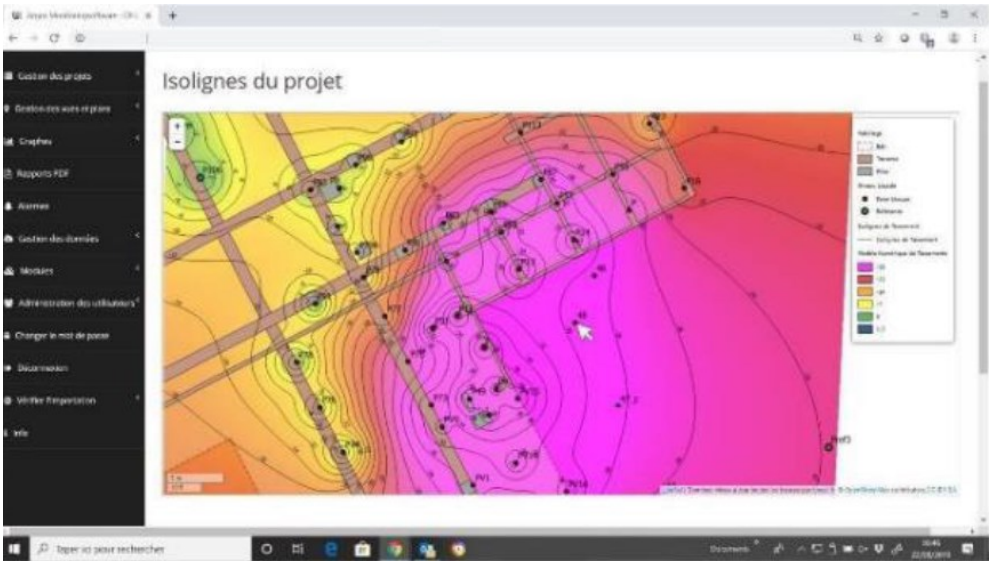


Figura 11 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 12).

Figura 12 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

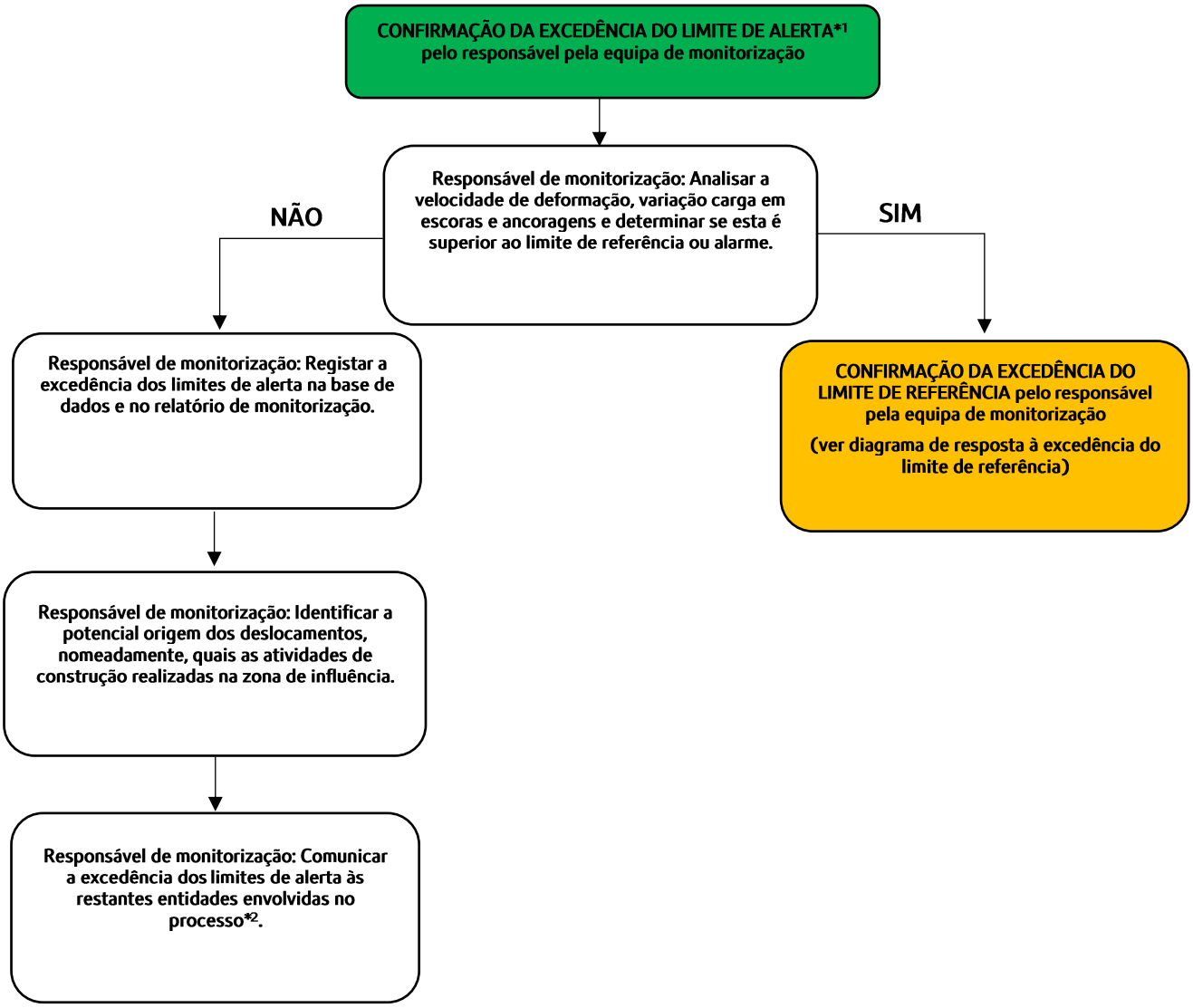
Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 11.2.

11 ANEXOS

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE REFERÊNCIA*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Analisar a velocidade de deformação, variação carga em escoras e ancoragens e determinar se esta é superior ao limite de alarme.

NÃO

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

SIM

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- **Analisar a informação de monitorização;**
- **Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);**
- **Identificar os potenciais cenários de risco;**
- **Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;**
- **Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.**

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de excedência dos limites de alarme*2.

NÃO

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de referência na base de dados e no relatório de monitorização.

SIM

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de referência às restantes entidades envolvidas no processo*2.

NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- Analisar a informação de monitorização;
- Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);
- Identificar os potenciais cenários de risco;
- Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;
- Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- Quadro I – OE5 – Escavação a céu aberto

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*3.

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 – As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro I – OE5 – Escavação a céu aberto

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Limitação da afluência de água por recalçamento da ficha das cortinas;
- Furos de drenagem/alívio de pressão adicionais no fundo da escavação;
- Instalação de escoras metálicas adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Realização de tratamentos do terreno para redução da percolação de água para o interior da escavação;
- Aterro da escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-04	Emissão Inicial

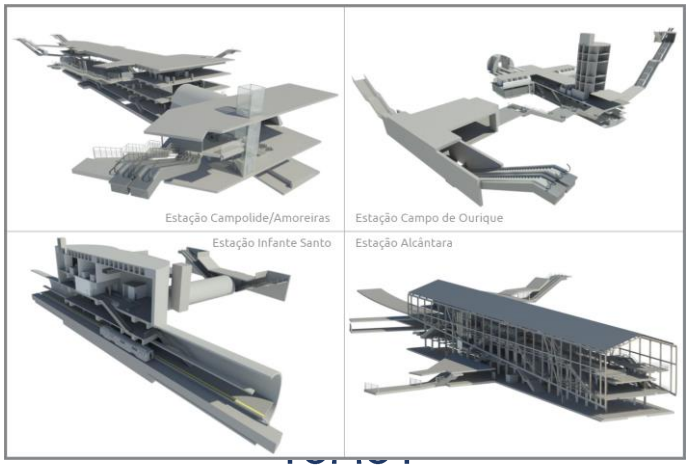
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

PROJETO DE EXECUÇÃO



VOLUME 40 – OBRA ESPECIAL 4

PLANO DE OBSERVAÇÃO

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS TUN OE4 MD 088001 0

	Nome	Assinatura	Data
Elaborado	Francisco Bernardo Pedro Nogueira		2024-10-10
Revisto	Sandra Ferreira		2024-10-10
Verificado	Rui Rodrigues		2024-10-10
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-10
Aprovado			

	Nome	Assinatura	Data
Gestor Projeto	Raúl Pistone		2024-10-10

Índice

1 OBJETIVO E ÂMBITO 4
2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 5
3 GRANDEZAS A MEDIR 8
3.1 Escavações subterrâneas 8
3.2 Edificações 9
4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 10
5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 10
5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 10
5.2 Prisma topográfico para pavimento 11
5.3 Extensómetro multiponto 11
5.4 Inclinómetros 13
5.5 Sensor de nível líquido 14
5.6 Piezómetro elétrico 14
5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC 15
5.8 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla 16
5.9 Prisma topográfico para carril 17
5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* 18
5.11 Fissurómetros 18
5.12 Células de carga 19
5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas 20
5.14 Sismógrafo 21
5.15 Clinómetro 23
5.16 Prisma topográfico de referência 23
5.17 Estação total robotizada 24
6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 25
7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 28
7.1 Critérios de alerta e alarme 28
8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 29
9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 31
10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 31

11 ANEXOS 32

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 32

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência 36

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Anteprojeto**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação,** desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo **III** do **Volume 4 – OE4.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça "dinâmica" e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

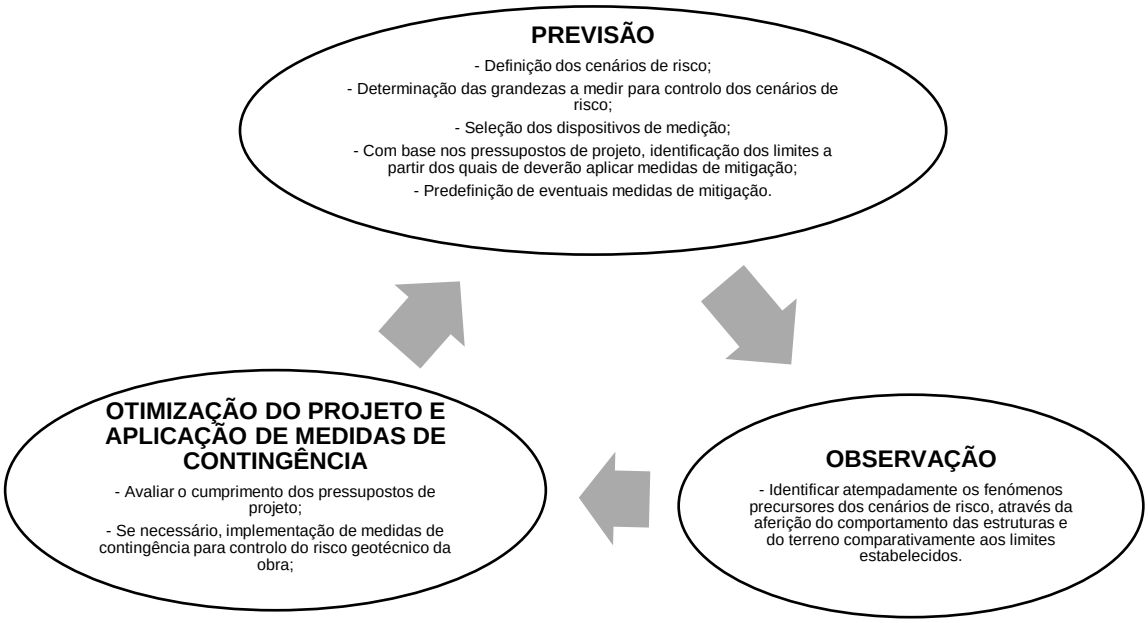


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência.

Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada aos túneis NATM, nomeadamente:

- Troço 81, 82, 83, 84 e 85;
- Tímpano de São Sebastião (OE1);
- Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3);
- Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4);
- Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7).

Para cada um destes locais, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
Túnel Troço 81, 82, 83, 84 e 85	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X
Tímpano de São Sebastião (OE1)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7)	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais e convergências no interior de galerias subterrâneas recorrendo a prismas topográficos.
- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros.
- Medição da abertura de fendas em edifícios, utilizando fissurómetros.
- Medições de deslocamentos verticais internos do maciço e à superfície, com extensómetros multiponto.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições de deslocamentos verticais e horizontais nos pavimentos e carris utilizando prismas de pavimento e de carris.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.
- Medições de deslocamentos axiais de elementos estruturais recorrendo a extensómetros (tipo *strain gauges*).
- Medição de deslocamentos de precisão na estrutura interior de edifícios, utilizando sensores de nível liquido.

3.1 Escavações subterrâneas

A avaliação da evolução do comportamento das obras subterrâneas será realizada através do registo dos deslocamentos do terreno e observação de eventuais fissurações no revestimento primário. Para tal serão criadas secções de medição de convergências e deslocamentos, onde serão instalados, em geral, 3 prismas para secções cuja maior dimensão seja menor ou igual a 10 m e 5 prismas para secções com a maior dimensão superior a 10 m. Para a secções com 3 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 1 em cada hasteal, que permitirão para além dos deslocamentos nesses pontos, o controlo de 3 cordas diferentes. Para a secções com 5 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 2 em cada hasteal, acima e abaixo do eixo da galeria, que permitirão o controlo de 6 cordas diferentes.

No terreno e à superfície serão executados extensómetros multiponto, inclinómetros e prismas topográficos no pavimento, em carris e em edifícios.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, para além dos deslocamentos será também avaliada a variação/presença de água através da instalação de piezómetros.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes. Quando necessário, assumem particular destaque aos drenos longitudinais realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

3.2 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

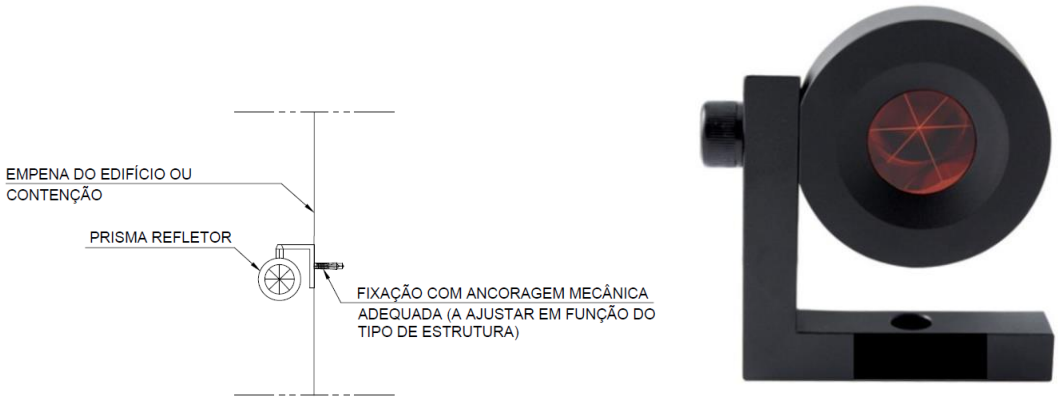


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Prisma topográfico para pavimento

Os prismas topográficos para pavimento consistem num elemento adequadamente fixo ao pavimento com elevada resistência ao tráfego pedonal e rodoviário, materializado por meio de uma placa metálica que permite a realização leituras dos deslocamentos verticais.

As leituras serão efetuadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

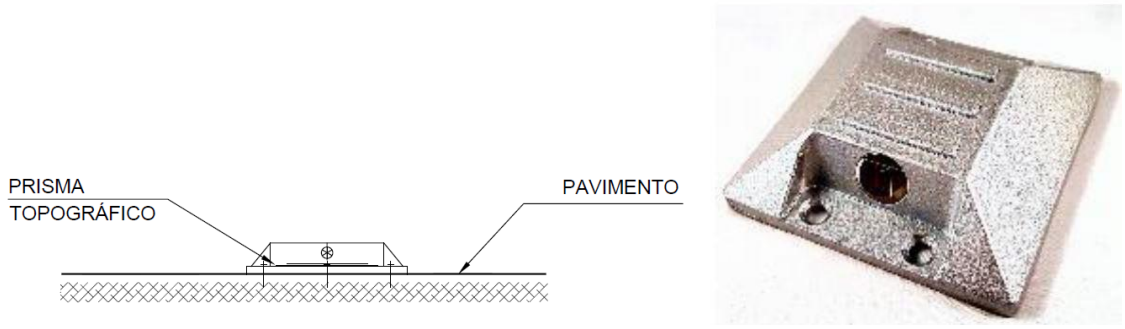


Figura 3 - Prisma topográfico para pavimento

5.3 Extensómetro multiponto

Os extensómetros permitem o controlo dos deslocamentos verticais em profundidade e encontram-se definidos nas seções de monitorização onde também estão previstas medições de deslocamentos e convergências no interior das galerias subterrâneas (Figura 4).

Os extensómetros terão 1 ou 2 ancoragens fixadas a diferentes profundidades. O sensor de deslocamento deverá ser do tipo corda vibrante dotado com sensor de temperatura.

Do conjunto deste dispositivo deverá fazer parte integrante:

- Barras/varas em aço inoxidável ou fibra de vidro
- Ancoragem (injetável com calda de cimento ou tipo *packer*)
- Bainha de encamisamento das barras/varas
- Cabeça de referência do elétrico

O extensómetro será instalado em furo previamente executado de diâmetro, no mínimo, de Ø76 mm (furação destrutiva), que terá um comprimento superior à profundidade de instalação de cerca de 1,00 m.

As cabeças dos extensómetros deverão ser equipadas com um prisma topográfico que permita obter as leituras à superfície. Aos valores das leituras das ancoragens deverão ser adicionados os assentamentos de superfície obtidos através dos prismas.

Os componentes serão montados de acordo às indicações do fabricante e instalados no furo nas cotas previstas função do seu comprimento total. Existirá uma ancoragem na extremidade correspondente à base do furo e uma segunda a 1/3 do seu comprimento total.

Uma vez finalizado o posicionamento do dispositivo, proceder-se-á a sua selagem por meio de calda de cimento.

As cabeças dos extensómetros serão protegidas por caixas com tampas metálicas adequadas.

O dispositivo será de leitura elétrica, o sensor de deslocamento ou transdutor, será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20°C e +80°C), possuindo no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura ≥ 100mm
- Precisão < 0,30% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,0066% da capacidade de leitura

O dispositivo será calibrado antes de ser utilizado e as leituras serão realizadas a partir da superfície. Após a realização da medição, os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

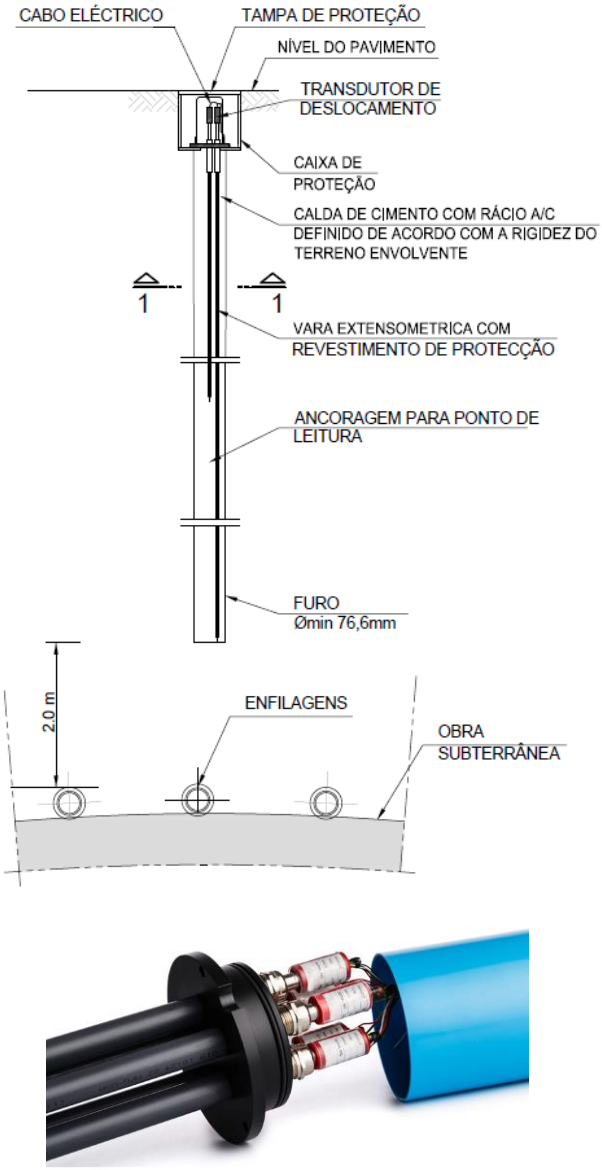


Figura 4 – Extensómetro multiponto

5.4 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90°. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

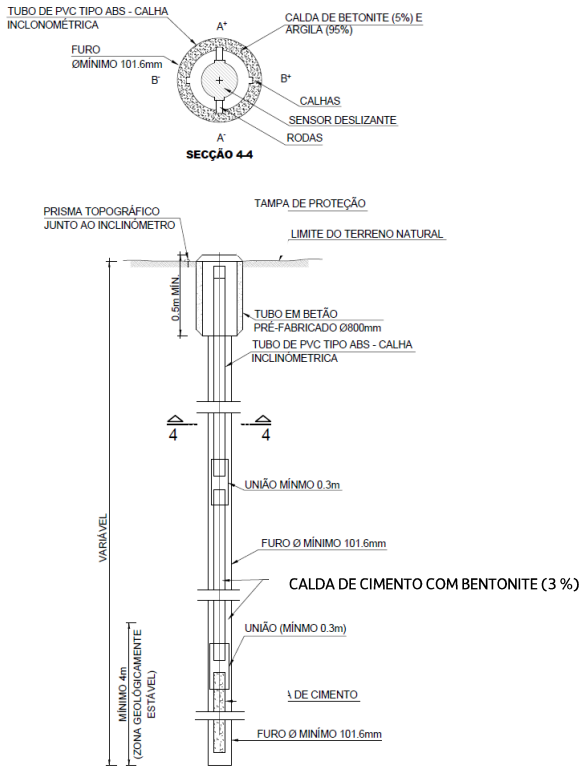


Figura 5 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.5 Sensor de nível líquido

O sensor de nível líquido permite medir deslocamentos diferenciais e totais entre diversos pontos de uma estrutura. É constituído por um conjunto de sensores de elevada precisão que medem continuamente a variação de nível de um líquido num circuito fechado. O conjunto de sensores encontra-se ligado a um depósito que constitui o nível de referência do sistema (Figura 6). Os deslocamentos totais podem ser obtidos através da soma dos deslocamentos diferenciais com os deslocamentos totais do nível de referência, no caso de este último estar sujeito a movimentos.

As leituras serão realizadas automaticamente e enviadas para a base de dados de monitorização.

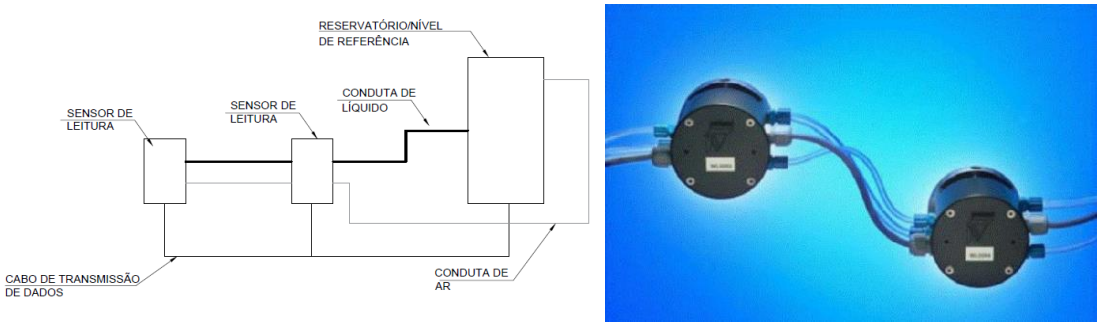


Figura 6 – Sensor de nível líquido

5.6 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 7).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa
- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

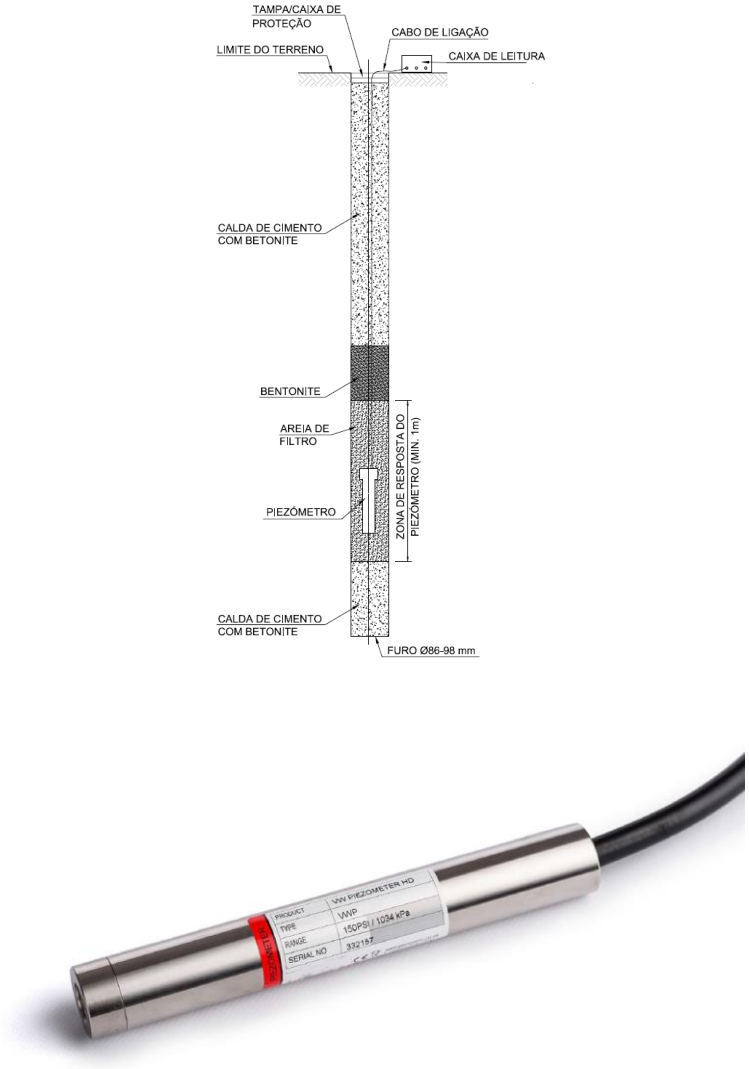


Figura 7 - Piezómetro elétrico com uma câmara

5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC

Os piezómetros com ponteira do tipo LNEC são um tipo de piezómetro recomendado para medição do nível de água em formações de muito baixa permeabilidade, cuja zona de resposta se localiza na extremidade inferior do piezómetro (ponteira) (Figura 8). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

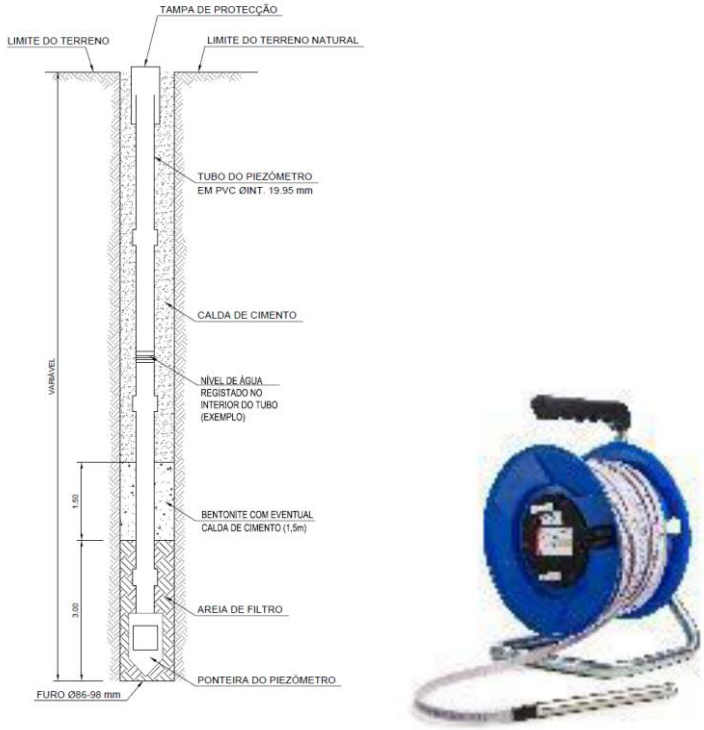


Figura 8 - Piezómetro com ponteira do tipo LNEC

5.8 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla

Os piezómetros do tipo Casagrande permitem a aferição de aquíferos a diferentes profundidades. São constituídos por troços tubos com 75 mm de diâmetro, solidarizados entre si através de uniões exteriores. Na zona onde se pretende efetuar a leitura do nível piezométrico esses tubos apresentam ranhuras com 4,5mm de espessura sendo a sua zona envolvente preenchida com areia (Figura 9 – piezómetro duplo). O número de tubos ou zonas de resposta dita a sua designação, ou seja de câmara simples – 1 tubo, câmara dupla – 2 tubos ou de câmara tripla – 3 tubos.

Na sua extremidade esses tubos são envoltos com geotêxtil (Figura 9). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

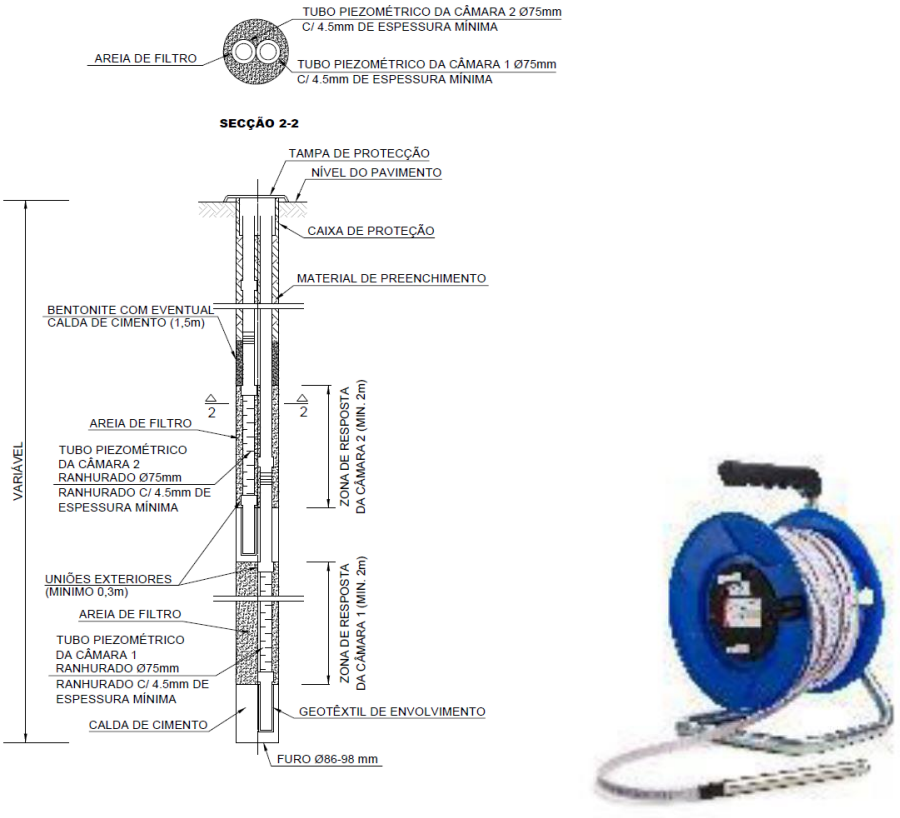


Figura 9 - Piezómetro do tipo Casagrande – Câmara dupla

5.9 Prisma topográfico para carril

Os prismas topográficos para carril, consistem num prisma instalado nas travessas das linhas do comboio da IP (Figura 10) ou num prisma para pavimento fixo entre os carris para as linhas da Carris (Figura 11). Este elementos permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X,Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada.

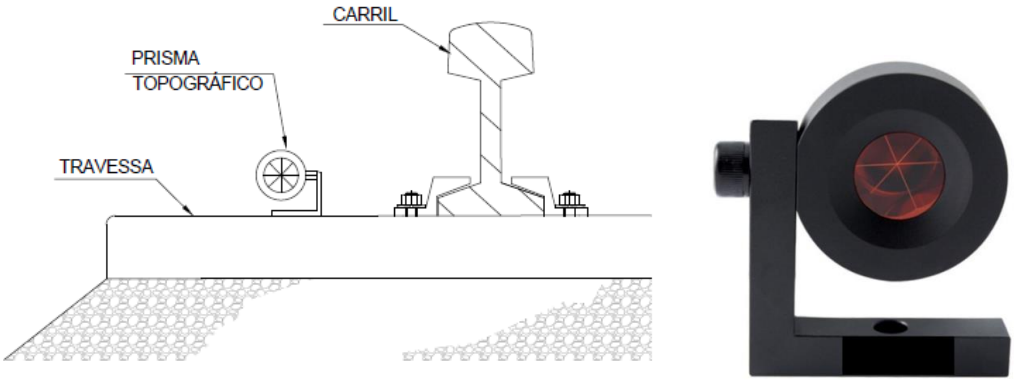


Figura 10 – Prisma topográfico para carril – Linhas IP

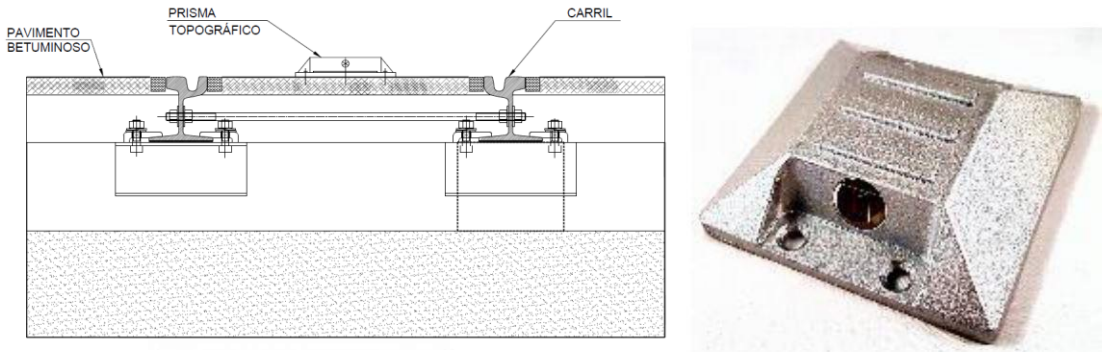


Figura 11 – Prisma topográfico para carril – Linhas Carris

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge*

Os extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* permitem a medição indireta de deslocamentos muito pequenos por intermédio de sensores de corda vibrante que medem a extensão dos elementos estruturais aos quais se encontram ligados através de soldadura (Figura 12). Estes dispositivos serão instalados nas escoras metálicas que constituem a solução de travamento da contenção, permitindo medir a extensão acomodada pelas mesmas e consequentemente a força instalada aquando da execução dos trabalhos de escavação.

Deverão ser utilizados *strain-gauges* de corda vibrante, com campo de leitura não inferior a 3000$\mu\varepsilon$, resolução < 1,0$\mu\varepsilon$ e precisão de ordem inferior a ± 0,5% da capacidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20°C e +80°C). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

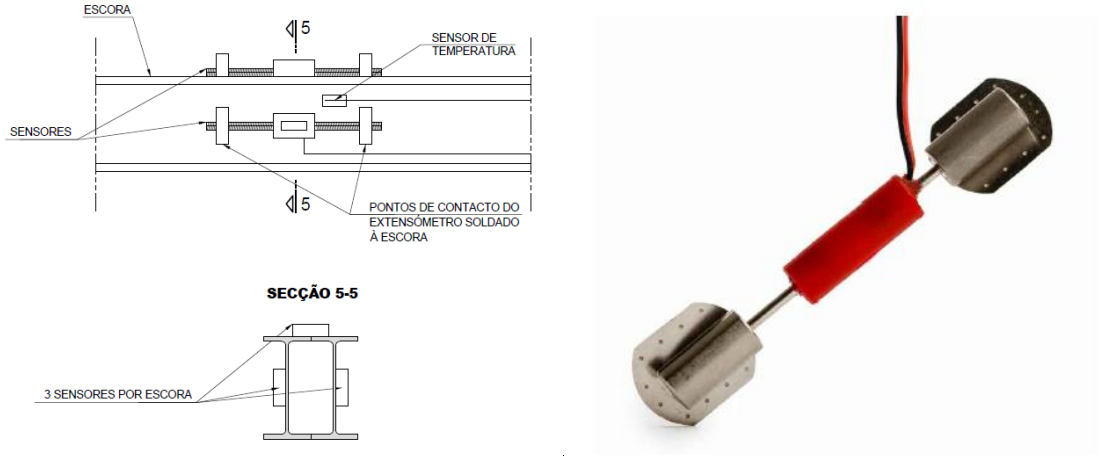


Figura 12 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge*

5.11 Fissurómetros

Este tipo de diapositivos permitirá acompanhar a evolução da abertura de uma determinada fissura.

Os fissurómetros a utilizar deverão ser planos e deverão permitir a realização de leituras de deslocamentos na horizontal e na vertical. Será ainda necessário que possuam capacidade resistente adequada às intempéries, devendo ser fixos de forma adequada (mecanicamente).

O seu alcance máximo será, no mínimo de 25 mm, na horizontal e 10 mm na vertical, devendo a sua resolução ser, no mínimo, de 0,1 mm (Figura 13). Para garantir esta resolução será necessário recorrer no ato da medição a uma craveira digital que se acopla ao fissurómetro.

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

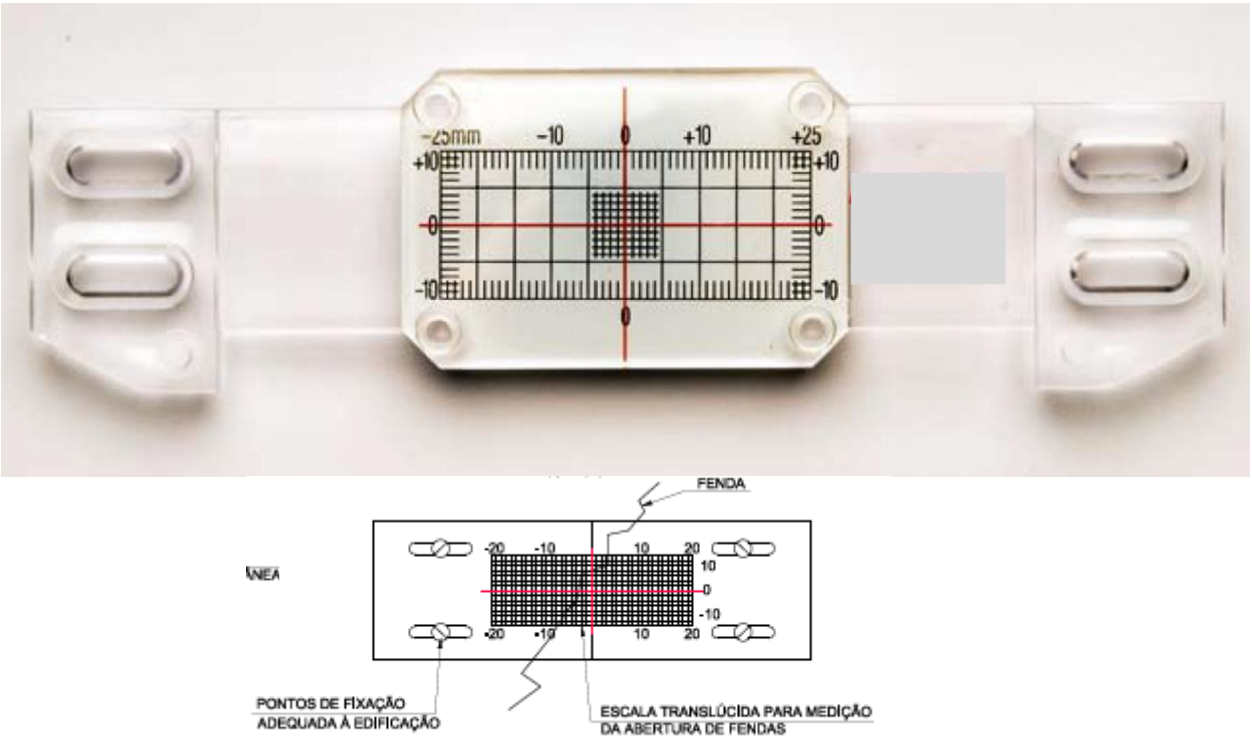


Figura 13 – Fissurómetro

5.12 Células de carga

O recurso a células de carga em ancoragens permitirá o acompanhamento da evolução e magnitude da tração instalada nestes elementos em fase de obra.

As células de carga a adotar nas ancoragens provisórias serão do tipo elétrico.

Em condições normais de leitura, o erro associado a estes dispositivos não deverá ultrapassar os ± 0,1% da capacidade máxima de leitura. A sua capacidade máxima de leitura deverá ser superior aos 1500 kN.

A instalação das células de carga será efetuada antes da realização do ensaio de receção detalhado da ancoragem. As células serão posicionadas sobre a chapa de apoio da ancoragem, sendo posteriormente colocada uma chapa metálica rígida adicional e posteriormente a placa de distribuição das cunhas.

A superfície de contacto com a célula deve estar plana e limpa. A colocação da célula deve ser criteriosa, de forma a que a mesma fique centrada com o eixo da aplicação da carga, evitando-se

assim excentricidades, com consequência no rigor das leituras (Figura 14). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

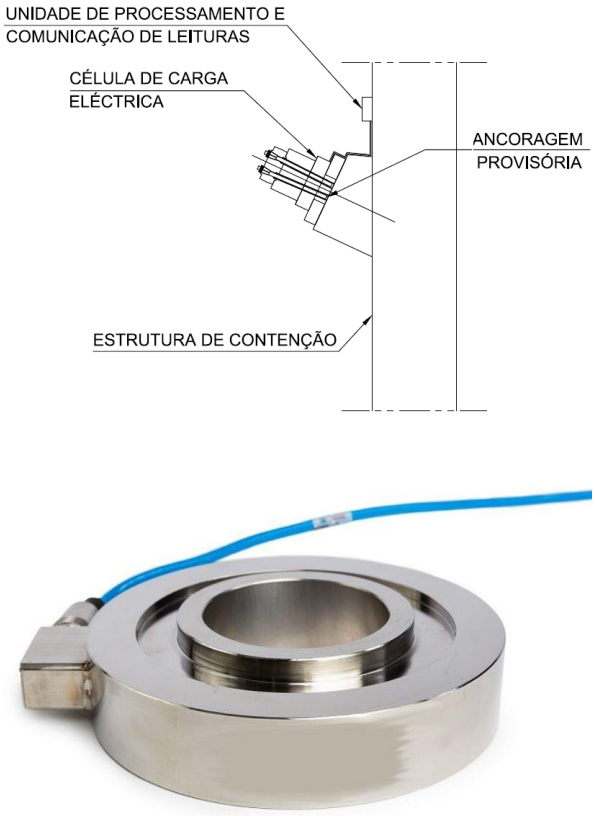


Figura 14 – Célula de carga em ancoragens

5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas

Face aos condicionamentos associados à necessidade de monitorizar as galerias subterrâneas durante a sua execução, a medição das convergências será materializada recorrendo a elemento ótico que permitirá, em condições mais adversas obter com maior precisão leituras de deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A instalação destes dispositivos de forma sistemática e em vários pontos de leitura em seção transversal de cada galeria a executar, permitirá ler não só os deslocamentos do ponto monitorizado, mas também criar secções de medição de convergências, através do controlo de diferentes cordas.

O sistema de fixação destes dispositivos é mecânico e deverá ser realizado ao betão projetado do suporte primário (através de resina epóxi ou de calda de cimento de presa rápida). Na sua extremidade visível a barra é roscada, de forma a permitir acoplar o prisma (Figura 15).

A sua colocação não deverá ultrapassar o primeiro dia após a realização total do suporte primário. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

De modo a permitir a instalação dos prismas o mais rápido possível, antes que a espessura total do suporte primário esteja aplicada, serão utilizados dispositivos de proteção da fixação que

permitirão proteger o elemento de fixação do prisma durante a aplicação das sucessivas camadas de betão projetado (Figura 15).

Figura 15 – Prisma de convergência

5.14 Sismógrafo

Preconiza-se durante a fase de construção o posicionamento de sismógrafos junto às edificações mais vulneráveis. Pretende-se o registo das velocidades e frequências de vibrações eventualmente provocadas pela execução dos trabalhos de construção (Figura 16).

As medições de vibrações serão feitas através de um geofone triaxial com uma capacidade de leitura de 2-250 Hz (janela de calibração mínima 1-160 Hz). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

No caso dos sismógrafos utilizados simultaneamente para a monitorização dos limites de integridade estrutural e de vibrações de incomodidade humana, serão adotados dispositivos com a sensibilidade necessária à monitorização dos respetivos limites (conforme Plano de Monitorização Ambiental).

Figura 16 – Sismógrafo

5.15 Clinómetro

Os clinómetros permitiram a medição da variação de inclinação das paredes dos edifícios. Quando possível, estes fornecerão leituras remotamente, sendo constituídos por bases de leitura em bronze, concebidas para garantir o posicionamento preciso e repetitivo do equipamento de leitura (Figura 17).

As bases de leitura serão fixas de forma mecânica e permanente à estrutura, sendo instaladas diretamente, normalmente na vertical, ou soldadas numa chapa em T, de dimensões adequadas para permitir a sua instalação na horizontal em elementos verticais.

O equipamento de leitura será constituído por sensor instalado num elemento em aço inoxidável, permitindo a realização de leituras nas bases instaladas em superfície verticais ou horizontais, através de uma unidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -30°C e +70°C).

O equipamento de leitura possuirá no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura: ± 15° a partir da vertical
- Resolução: 0,0013°
- Precisão: < 0,06% da capacidade máxima de leitura

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

Figura 17 – Clinómetro

5.16 Prisma topográfico de referência

Para garantir a adequada leitura dos vários dispositivos topográficos instalados será necessário posicionar elementos adicionais que constituirão a sua referência. Constituem dispositivos de precisão de leitura ótica, sendo utlizados para a realização de leituras nos eixos X, Y e Z (Figura 18). À semelhança dos anteriores também estes dispositivos têm uma importância crítica na criação de uma rede de instrumentação, pois permitem ter um conjunto de coordenadas de referência invariáveis e não-suscetíveis a deslocamentos. Nesse sentido, a escolha da sua localização deve ser realizada de forma criteriosa.

Procurou-se distribuir este tipo de dispositivos de forma a garantir que possuem alcance até cerca de 200 metros, sendo necessário garantir visibilidade direta entre este elemento e aquele que se pretende ler. Cada dispositivo a ler (prisma topográfico) deverá estar referenciado, no

mínimo, a 3 unidades de referência, de forma a permitir a existência de redundância e consequentemente, o controlo cruzado entre os vários dispositivos.

O prisma ótico encontra-se acoplado a uma haste metálica robusta que será adequadamente fixa à parede do elemento que será considerado como fixo.

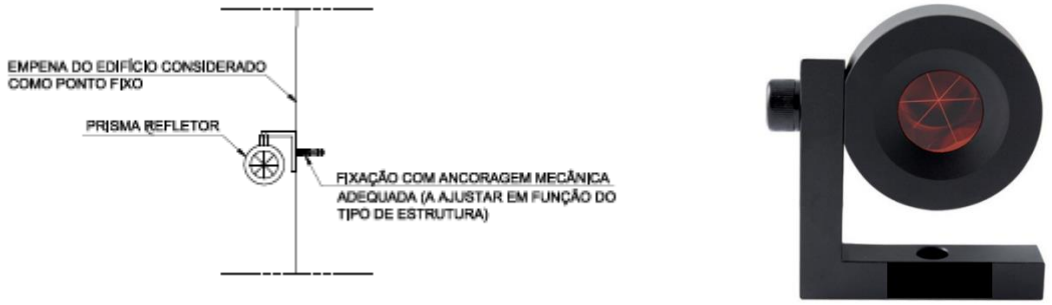


Figura 18 – Prisma topográfico de referência

5.17 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5" e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 19).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

Figura 19 – Estação total robotizada

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 11.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 20).

Figura 20 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 21).

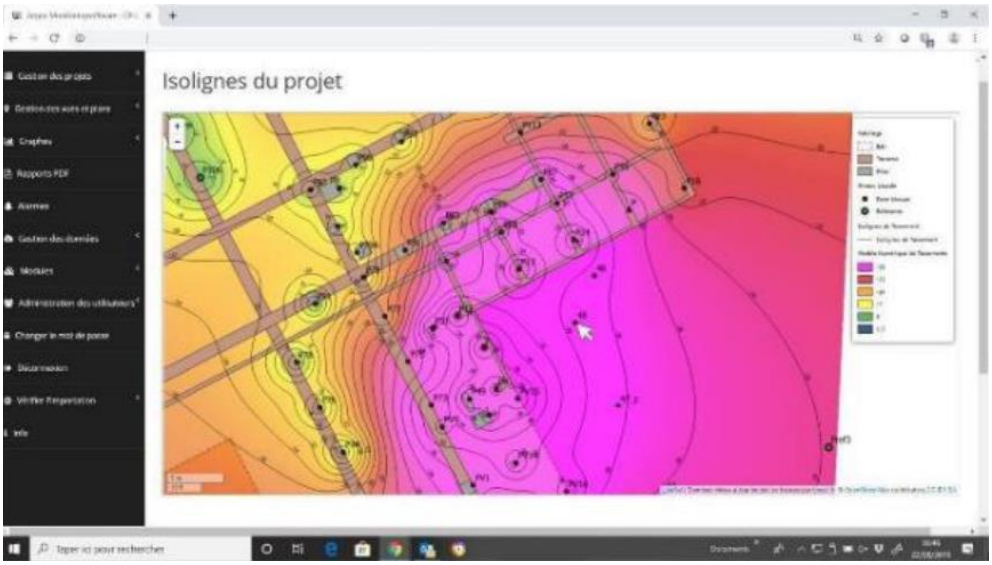


Figura 21 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 22).

Figura 22 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

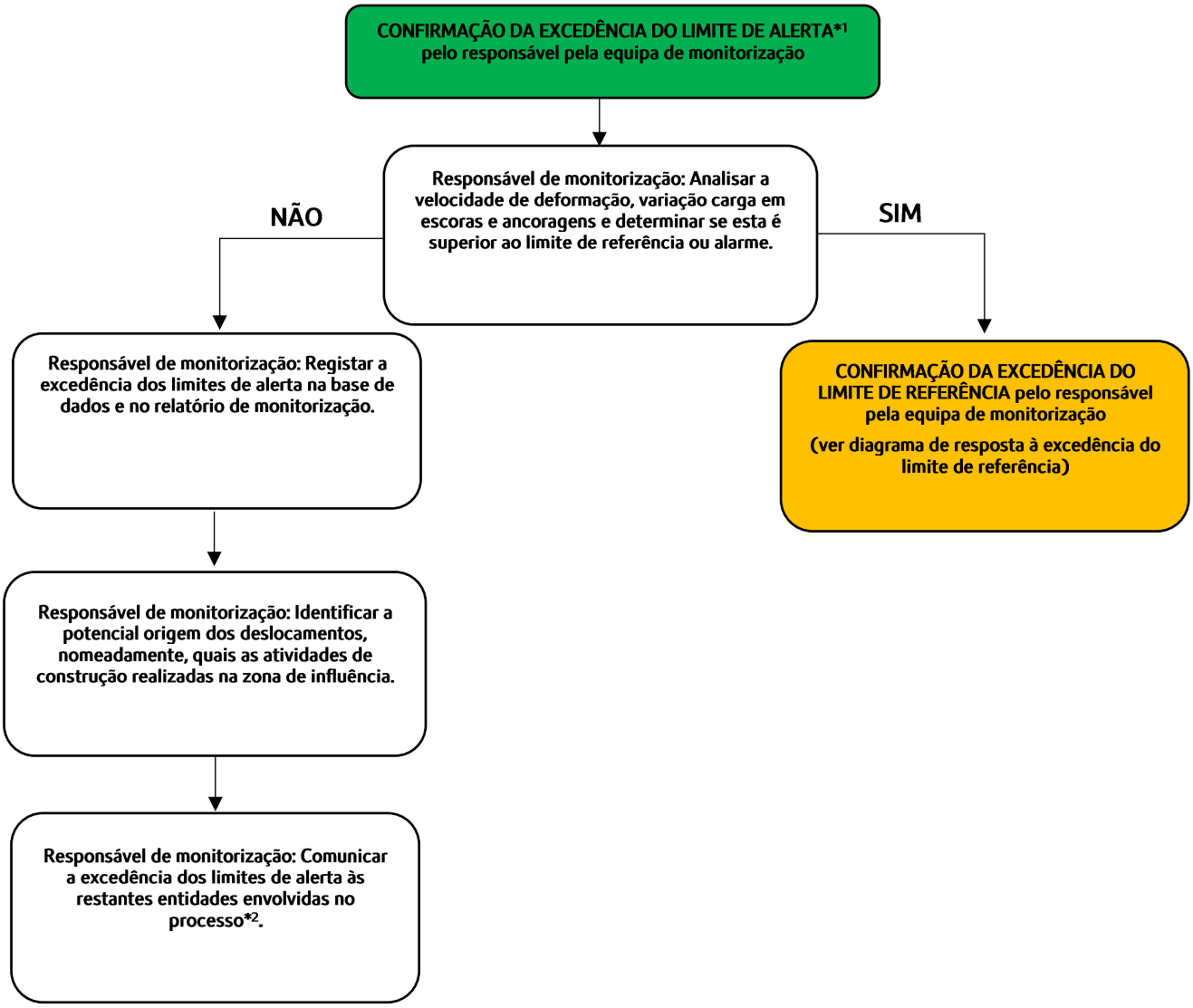
Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 11.2.

11 ANEXOS

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE REFERÊNCIA*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Analisar a velocidade de deformação, variação carga em escoras e ancoragens e determinar se esta é superior ao limite de alarme.

NÃO

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

SIM

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- **Analisar a informação de monitorização;**
- **Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);**
- **Identificar os potenciais cenários de risco;**
- **Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;**
- **Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.**

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de excedência dos limites de alarme*2.

NÃO

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de referência na base de dados e no relatório de monitorização.

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de referência às restantes entidades envolvidas no processo*2.

SIM

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- Analisar a informação de monitorização;
- Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);
- Identificar os potenciais cenários de risco;
- Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;
- Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- Quadro A – Túnel NATM

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*3.

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 – As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – Túnel NATM

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Redução da distância de avanço de escavação;
- Aumento da densidade de pregagens de fibra de vidro na frente de escavação;
- Realização de chapéu de enfilagens nos avanços intermédios;
- Realização de furos de drenagem adicionais na frente e/ou nos hasteais;
- Aplicação de betão projetado na frente de escavação;
- Aumento da parcialização da escavação da frente;
- Inclusão de rede electrossoldada entre cambotas;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da frente de escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-10	Emissão inicial

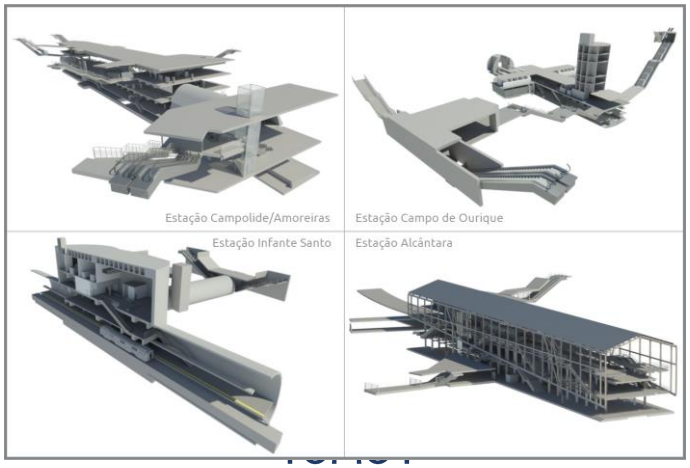
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

PROJETO DE EXECUÇÃO



VOLUME 40 – PLANO DE OBSERVAÇÃO

OBRA ESPECIAL 3 – VIA DE RESGUARDO 1

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS TUN OE3 MD 088001 0

	Nome	Assinatura	Data
Elaborado	Francisco Bernardo Pedro Nogueira		2024-10-10
Revisto	Sandra Ferreira		2024-10-10
Verificado	Rui Rodrigues		2024-10-10
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-10
Aprovado			

	Nome	Assinatura	Data
Gestor Projeto	Raúl Pistone		2024-10-10

Índice

1 OBJETIVO E ÂMBITO 5

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 6

3 GRANDEZAS A MEDIR 9

3.1 Escavações subterrâneas 9
3.2 Edificações 10
4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 11

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 11

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 11
5.2 Prisma topográfico para pavimento 12
5.3 Extensómetro multiponto 12
5.4 Inclinómetros 14
5.5 Sensor de nível líquido 15
5.6 Piezómetro elétrico 15
5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC 16
5.8 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla 17
5.9 Prisma topográfico para carril 18
5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* 19
5.11 Fissurómetros 19
5.12 Células de carga 20
5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas 21
5.14 Sismógrafo 22
5.15 Clinómetro 24
5.16 Prisma topográfico de referência 24
5.17 Estação total robotizada 25
6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 26

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 29

7.1 Critérios de alerta e alarme 29
8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 30

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 32

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 32

11 ANEXOS 33

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 33

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência 37

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Anteprojeto**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação,** desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo **III** do **Volume 3 – OE3.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça "dinâmica" e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

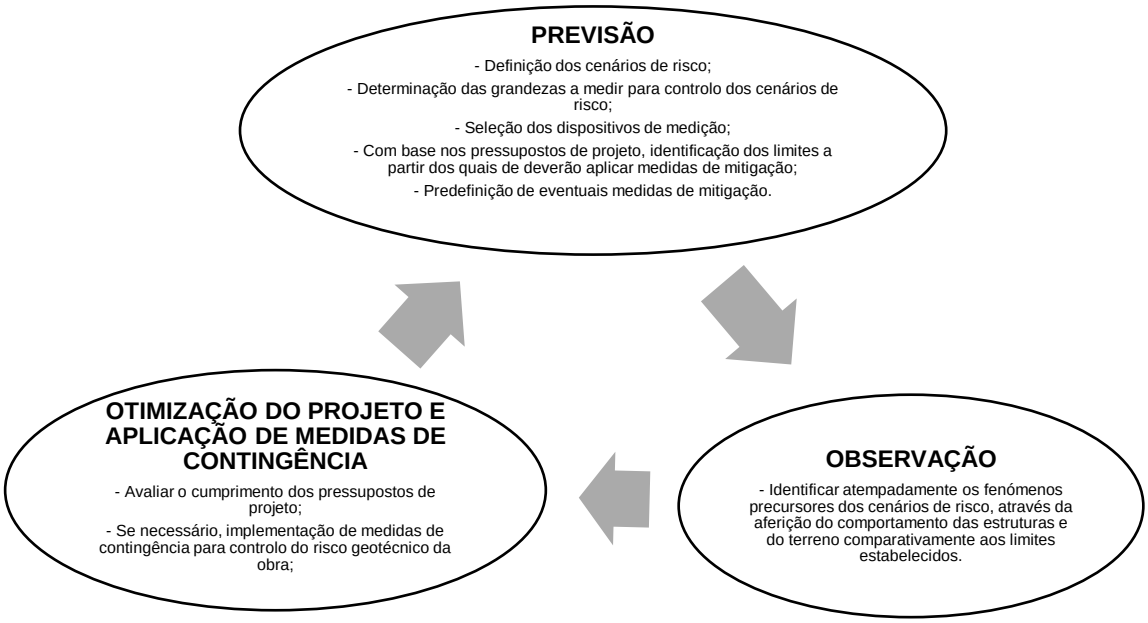


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência.

Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada aos túneis NATM, nomeadamente:

- Troço 81, 82, 83, 84 e 85;
- Tímpano de São Sebastião (OE1);
- Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3);
- Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4);
- Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7).

Para cada um destes locais, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
Túnel Troço 81, 82, 83, 84 e 85	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X
Tímpano de São Sebastião (OE1)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7)	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais e convergências no interior de galerias subterrâneas recorrendo a prismas topográficos.
- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros.
- Medição da abertura de fendas em edifícios, utilizando fissurómetros.
- Medições de deslocamentos verticais internos do maciço e à superfície, com extensómetros multiponto.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições de deslocamentos verticais e horizontais nos pavimentos e carris utilizando prismas de pavimento e de carris.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.
- Medições de deslocamentos axiais de elementos estruturais recorrendo a extensómetros (tipo *strain gauges*).
- Medição de deslocamentos de precisão na estrutura interior de edifícios, utilizando sensores de nível liquido.

3.1 Escavações subterrâneas

A avaliação da evolução do comportamento das obras subterrâneas será realizada através do registo dos deslocamentos do terreno e observação de eventuais fissurações no revestimento primário. Para tal serão criadas secções de medição de convergências e deslocamentos, onde serão instalados, em geral, 3 prismas para secções cuja maior dimensão seja menor ou igual a 10 m e 5 prismas para secções com a maior dimensão superior a 10 m. Para a secções com 3 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 1 em cada hasteal, que permitirão para além dos deslocamentos nesses pontos, o controlo de 3 cordas diferentes. Para a secções com 5 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 2 em cada hasteal, acima e abaixo do eixo da galeria, que permitirão o controlo de 6 cordas diferentes.

No terreno e à superfície serão executados extensómetros multiponto, inclinómetros e prismas topográficos no pavimento, em carris e em edifícios.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, para além dos deslocamentos será também avaliada a variação/presença de água através da instalação de piezómetros.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes. Quando necessário, assumem particular destaque aos drenos longitudinais realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

3.2 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

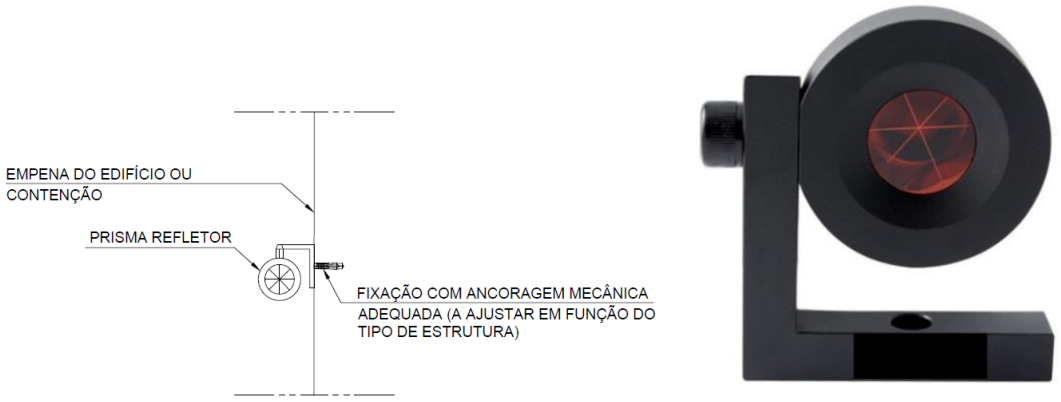


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Prisma topográfico para pavimento

Os prismas topográficos para pavimento consistem num elemento adequadamente fixo ao pavimento com elevada resistência ao tráfego pedonal e rodoviário, materializado por meio de uma placa metálica que permite a realização leituras dos deslocamentos verticais.

As leituras serão efetuadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

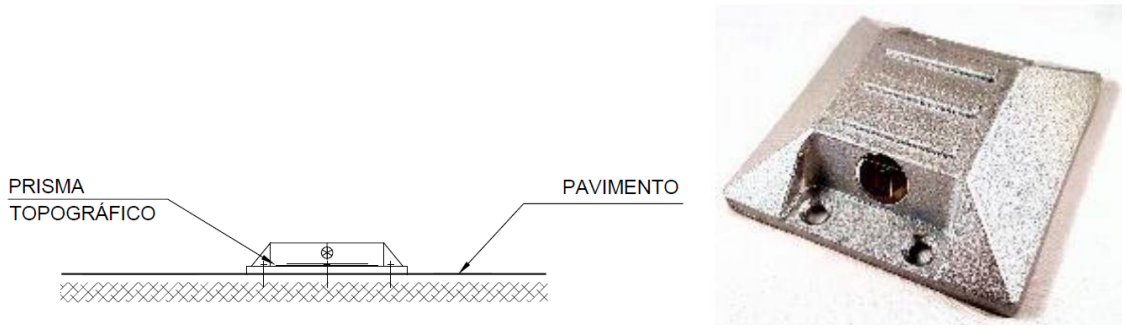


Figura 3 - Prisma topográfico para pavimento

5.3 Extensómetro multiponto

Os extensómetros permitem o controlo dos deslocamentos verticais em profundidade e encontram-se definidos nas seções de monitorização onde também estão previstas medições de deslocamentos e convergências no interior das galerias subterrâneas (Figura 4).

Os extensómetros terão 1 ou 2 ancoragens fixadas a diferentes profundidades. O sensor de deslocamento deverá ser do tipo corda vibrante dotado com sensor de temperatura.

Do conjunto deste dispositivo deverá fazer parte integrante:

- Barras/varas em aço inoxidável ou fibra de vidro
- Ancoragem (injetável com calda de cimento ou tipo *packer*)
- Bainha de encamisamento das barras/varas
- Cabeça de referência do elétrico

O extensómetro será instalado em furo previamente executado de diâmetro, no mínimo, de Ø76 mm (furação destrutiva), que terá um comprimento superior à profundidade de instalação de cerca de 1,00 m.

As cabeças dos extensómetros deverão ser equipadas com um prisma topográfico que permita obter as leituras à superfície. Aos valores das leituras das ancoragens deverão ser adicionados os assentamentos de superfície obtidos através dos prismas.

Os componentes serão montados de acordo às indicações do fabricante e instalados no furo nas cotas previstas função do seu comprimento total. Existirá uma ancoragem na extremidade correspondente à base do furo e uma segunda a 1/3 do seu comprimento total.

Uma vez finalizado o posicionamento do dispositivo, proceder-se-á a sua selagem por meio de calda de cimento.

As cabeças dos extensómetros serão protegidas por caixas com tampas metálicas adequadas.

O dispositivo será de leitura elétrica, o sensor de deslocamento ou transdutor, será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20°C e +80°C), possuindo no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura ≥ 100mm
- Precisão < 0,30% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,0066% da capacidade de leitura

O dispositivo será calibrado antes de ser utilizado e as leituras serão realizadas a partir da superfície. Após a realização da medição, os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

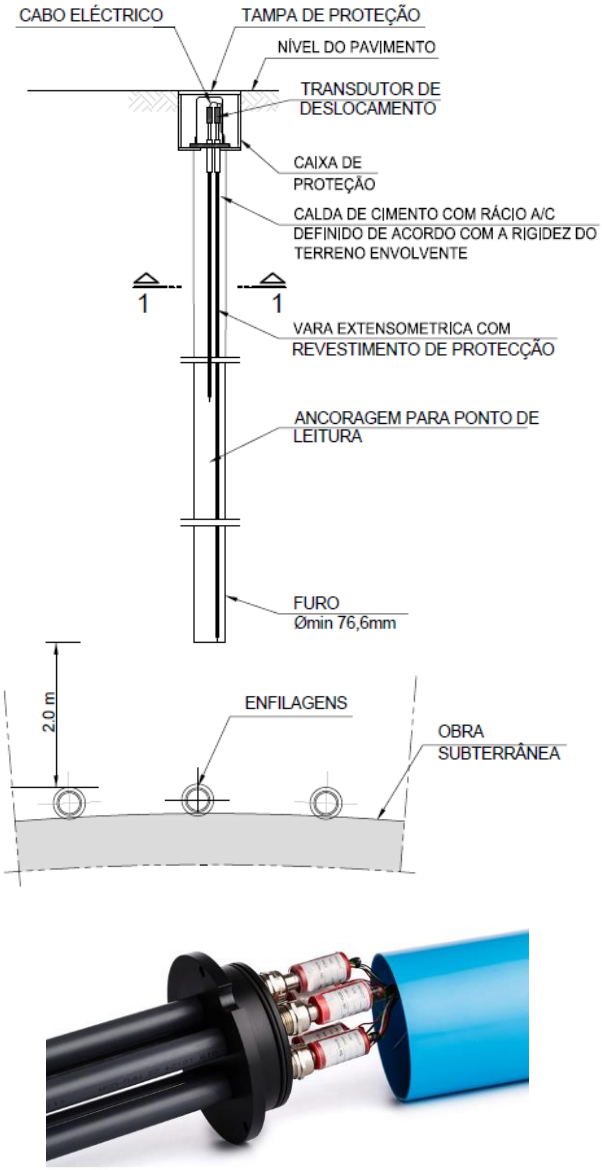


Figura 4 – Extensómetro multiponto

5.4 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90°. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

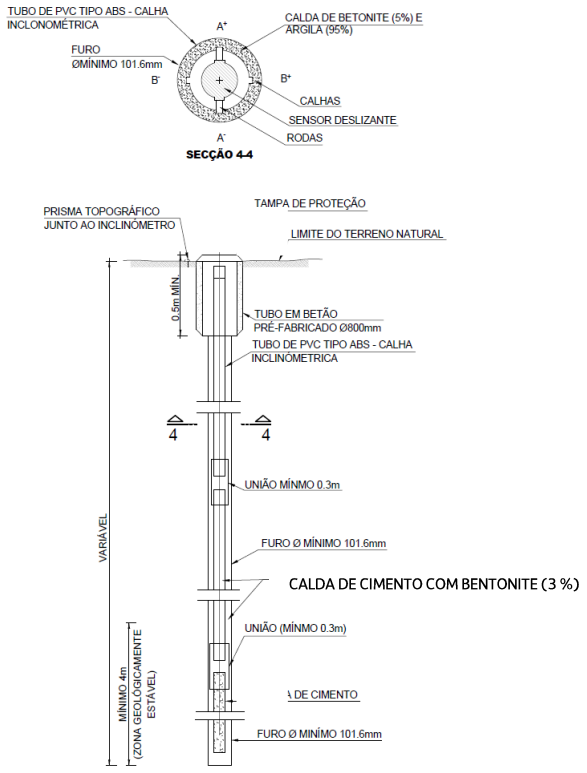


Figura 5 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.5 Sensor de nível líquido

O sensor de nível líquido permite medir deslocamentos diferenciais e totais entre diversos pontos de uma estrutura. É constituído por um conjunto de sensores de elevada precisão que medem continuamente a variação de nível de um líquido num circuito fechado. O conjunto de sensores encontra-se ligado a um depósito que constitui o nível de referência do sistema (Figura 6). Os deslocamentos totais podem ser obtidos através da soma dos deslocamentos diferenciais com os deslocamentos totais do nível de referência, no caso de este último estar sujeito a movimentos.

As leituras serão realizadas automaticamente e enviadas para a base de dados de monitorização.

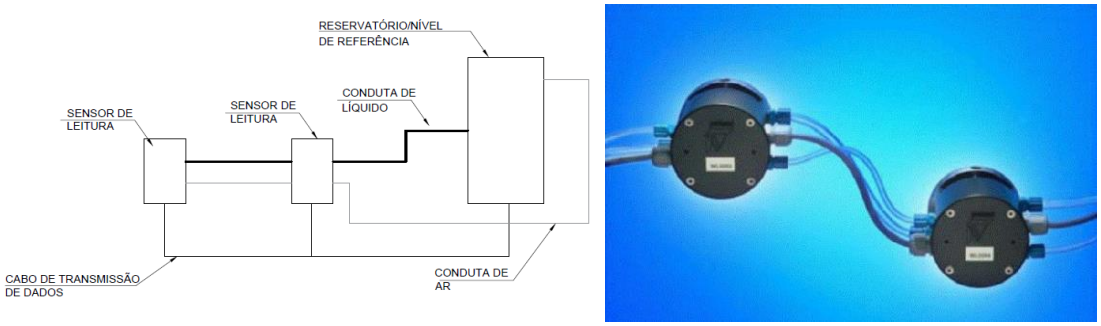


Figura 6 – Sensor de nível líquido

5.6 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 7).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa
- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

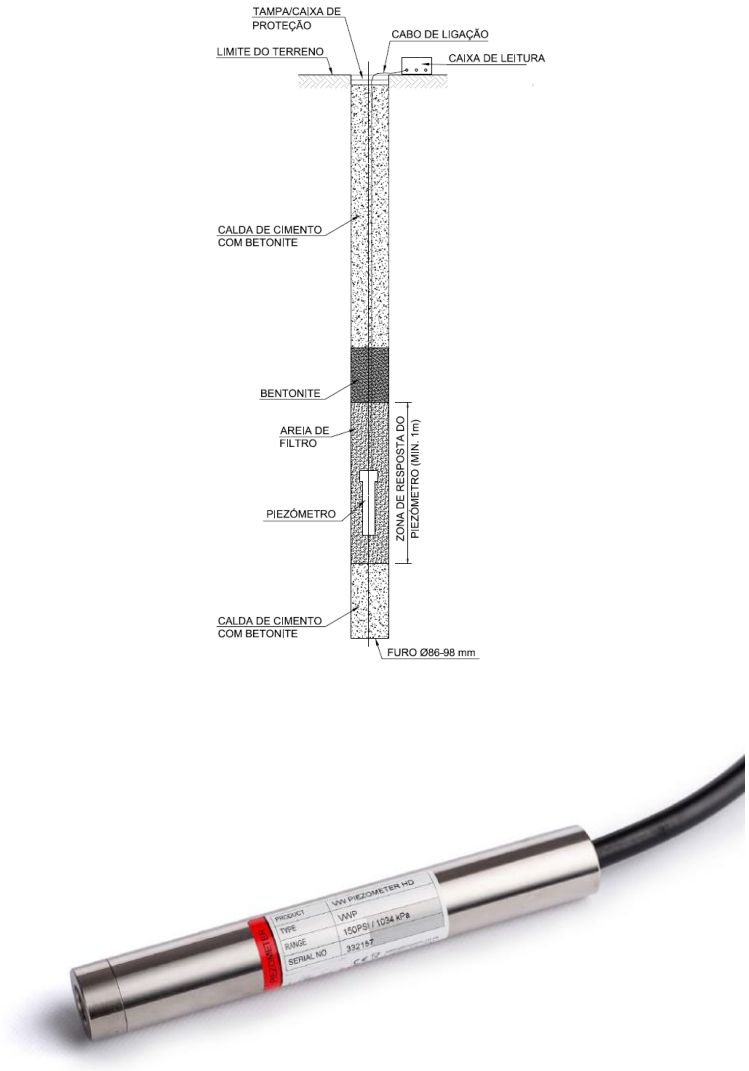


Figura 7 - Piezómetro elétrico com uma câmara

5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC

Os piezómetros com ponteira do tipo LNEC são um tipo de piezómetro recomendado para medição do nível de água em formações de muito baixa permeabilidade, cuja zona de resposta se localiza na extremidade inferior do piezómetro (ponteira) (Figura 8). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

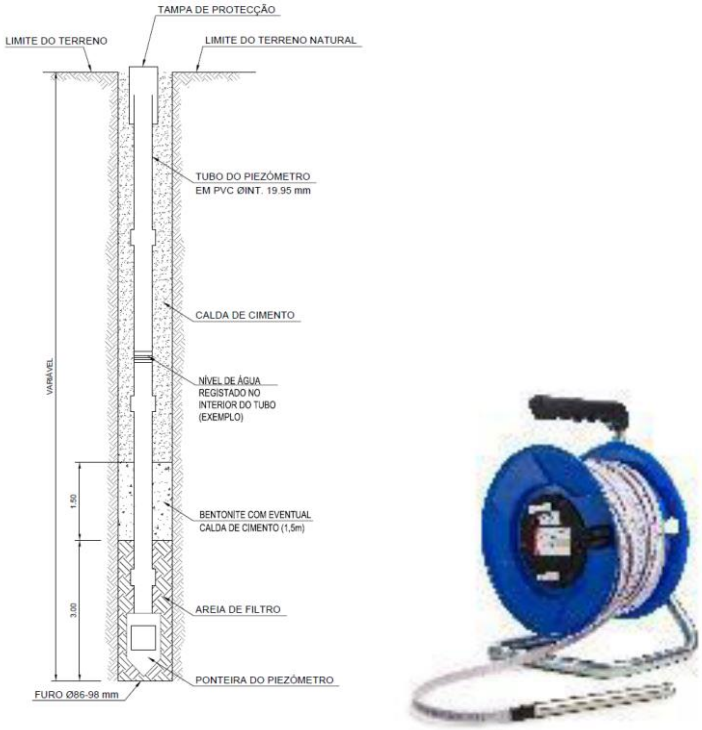


Figura 8 - Piezómetro com ponteira do tipo LNEC

5.8 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla

Os piezómetros do tipo Casagrande permitem a aferição de aquíferos a diferentes profundidades. São constituídos por troços tubos com 75 mm de diâmetro, solidarizados entre si através de uniões exteriores. Na zona onde se pretende efetuar a leitura do nível piezométrico esses tubos apresentam ranhuras com 4,5mm de espessura sendo a sua zona envolvente preenchida com areia (Figura 9 – piezómetro duplo). O número de tubos ou zonas de resposta dita a sua designação, ou seja de câmara simples – 1 tubo, câmara dupla – 2 tubos ou de câmara tripla – 3 tubos.

Na sua extremidade esses tubos são envoltos com geotêxtil (Figura 9). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

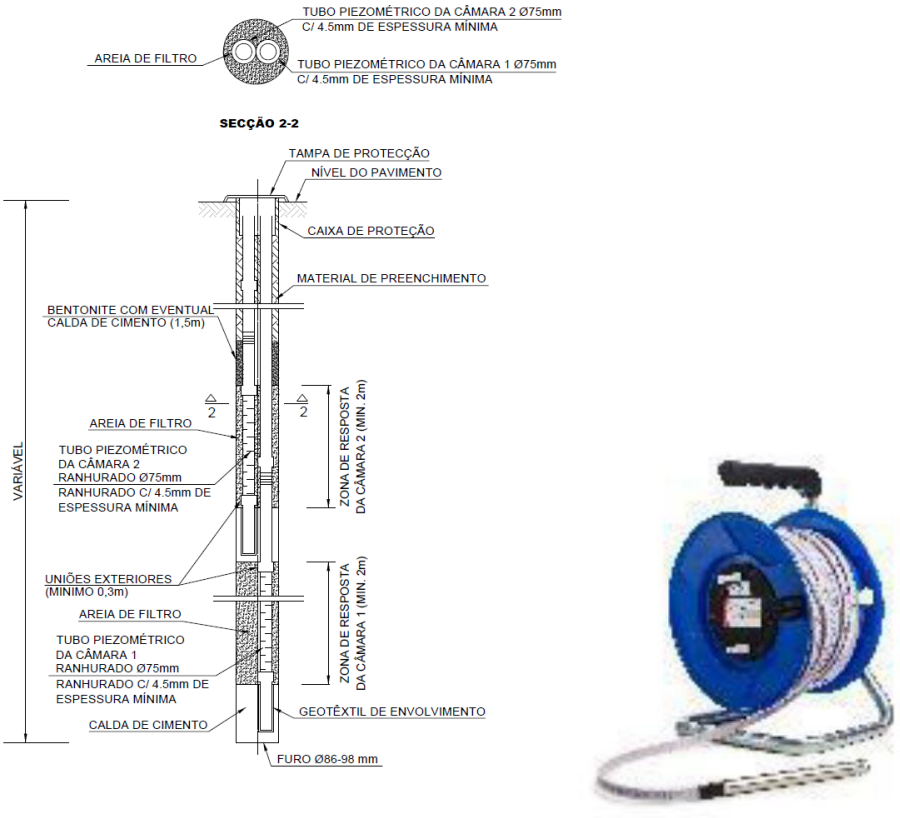


Figura 9 - Piezómetro do tipo Casagrande – Câmara dupla

5.9 Prisma topográfico para carril

Os prismas topográficos para carril, consistem num prisma instalado nas travessas das linhas do comboio da IP (Figura 10) ou num prisma para pavimento fixo entre os carris para as linhas da Carris (Figura 11). Este elementos permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X,Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada.

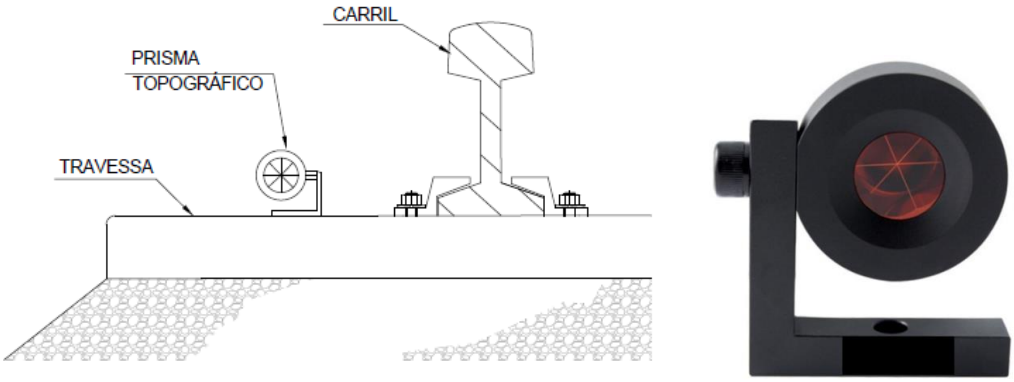


Figura 10 – Prisma topográfico para carril – Linhas IP

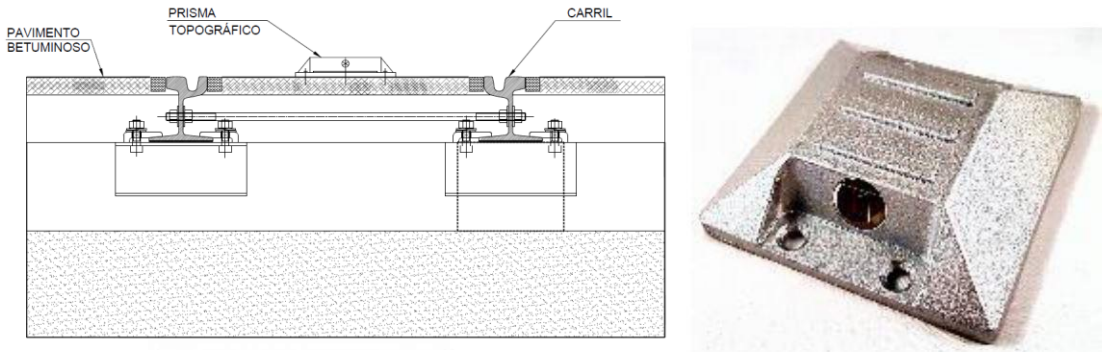


Figura 11 – Prisma topográfico para carril – Linhas Carris

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge*

Os extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* permitem a medição indireta de deslocamentos muito pequenos por intermédio de sensores de corda vibrante que medem a extensão dos elementos estruturais aos quais se encontram ligados através de soldadura (Figura 12). Estes dispositivos serão instalados nas escoras metálicas que constituem a solução de travamento da contenção, permitindo medir a extensão acomodada pelas mesmas e consequentemente a força instalada aquando da execução dos trabalhos de escavação.

Deverão ser utilizados *strain-gauges* de corda vibrante, com campo de leitura não inferior a 3000$\mu\varepsilon$, resolução < 1,0$\mu\varepsilon$ e precisão de ordem inferior a ± 0,5% da capacidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20°C e +80°C). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

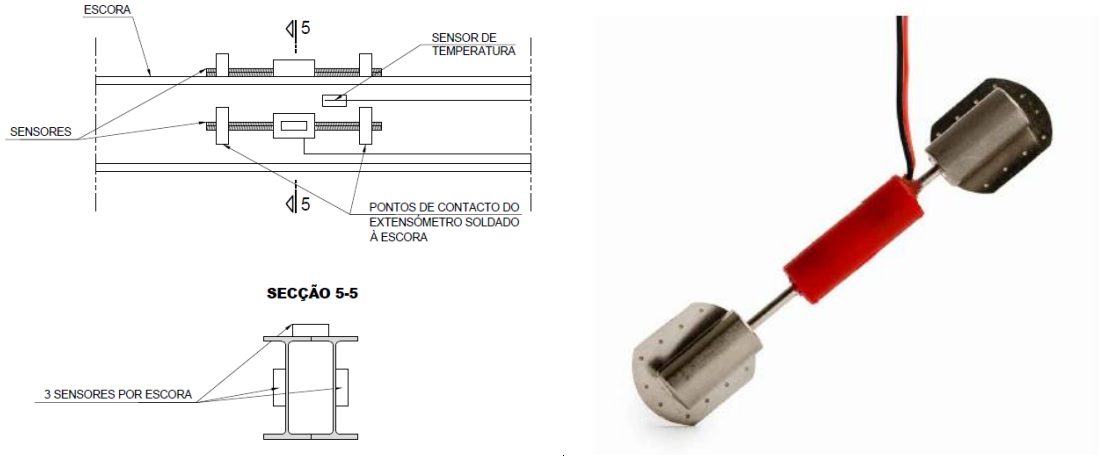


Figura 12 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge*

5.11 Fissurómetros

Este tipo de diapositivos permitirá acompanhar a evolução da abertura de uma determinada fissura.

Os fissurómetros a utilizar deverão ser planos e deverão permitir a realização de leituras de deslocamentos na horizontal e na vertical. Será ainda necessário que possuam capacidade resistente adequada às intempéries, devendo ser fixos de forma adequada (mecanicamente).

O seu alcance máximo será, no mínimo de 25 mm, na horizontal e 10 mm na vertical, devendo a sua resolução ser, no mínimo, de 0,1 mm (Figura 13). Para garantir esta resolução será necessário recorrer no ato da medição a uma craveira digital que se acopla ao fissurómetro.

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

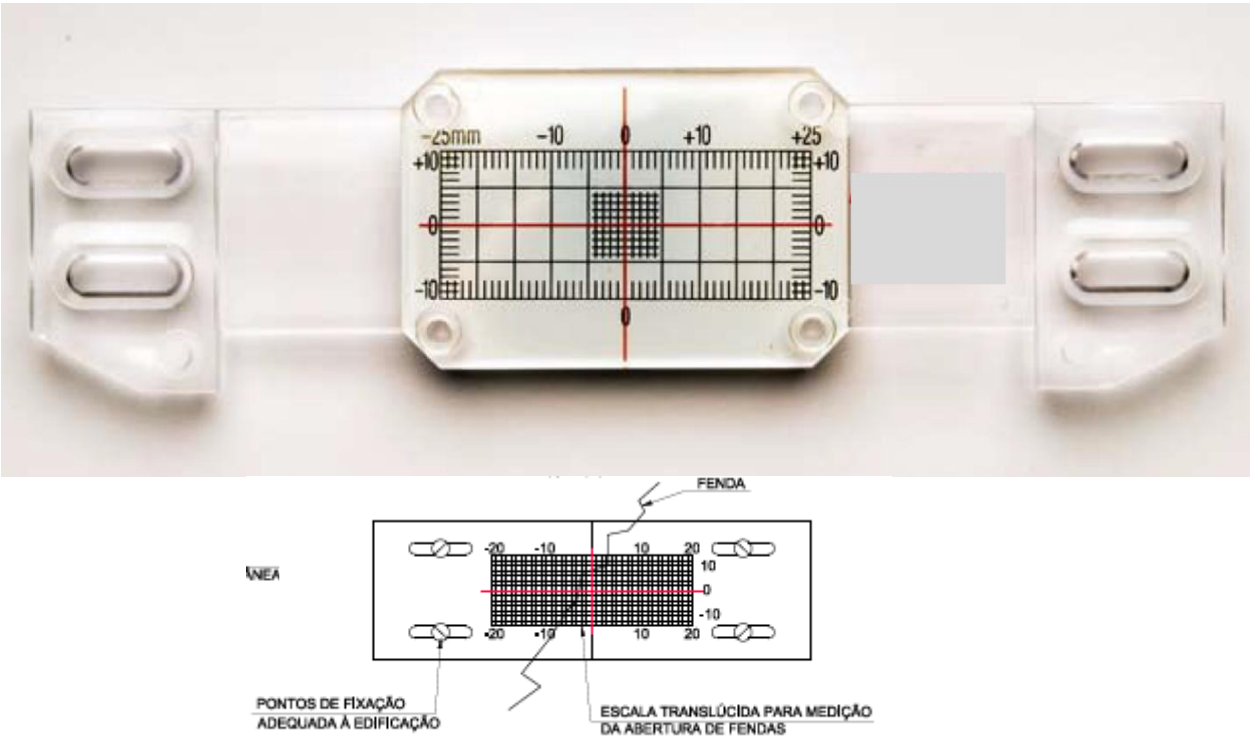


Figura 13 – Fissurómetro

5.12 Células de carga

O recurso a células de carga em ancoragens permitirá o acompanhamento da evolução e magnitude da tração instalada nestes elementos em fase de obra.

As células de carga a adotar nas ancoragens provisórias serão do tipo elétrico.

Em condições normais de leitura, o erro associado a estes dispositivos não deverá ultrapassar os ± 0,1% da capacidade máxima de leitura. A sua capacidade máxima de leitura deverá ser superior aos 1500 kN.

A instalação das células de carga será efetuada antes da realização do ensaio de receção detalhado da ancoragem. As células serão posicionadas sobre a chapa de apoio da ancoragem, sendo posteriormente colocada uma chapa metálica rígida adicional e posteriormente a placa de distribuição das cunhas.

A superfície de contacto com a célula deve estar plana e limpa. A colocação da célula deve ser criteriosa, de forma a que a mesma fique centrada com o eixo da aplicação da carga, evitando-se

assim excentricidades, com consequência no rigor das leituras (Figura 14). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

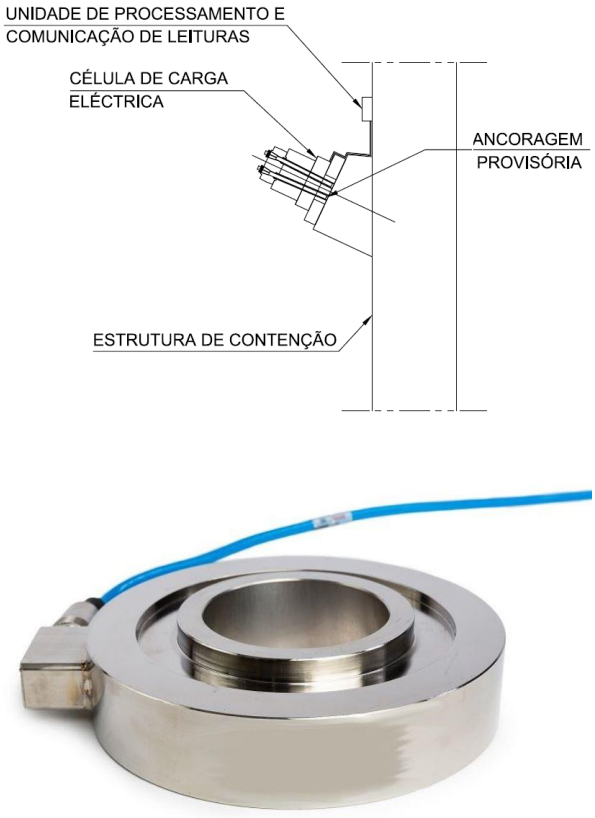


Figura 14 – Célula de carga em ancoragens

5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas

Face aos condicionamentos associados à necessidade de monitorizar as galerias subterrâneas durante a sua execução, a medição das convergências será materializada recorrendo a elemento ótico que permitirá, em condições mais adversas obter com maior precisão leituras de deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A instalação destes dispositivos de forma sistemática e em vários pontos de leitura em seção transversal de cada galeria a executar, permitirá ler não só os deslocamentos do ponto monitorizado, mas também criar secções de medição de convergências, através do controlo de diferentes cordas.

O sistema de fixação destes dispositivos é mecânico e deverá ser realizado ao betão projetado do suporte primário (através de resina epóxi ou de calda de cimento de presa rápida). Na sua extremidade visível a barra é roscada, de forma a permitir acoplar o prisma (Figura 15).

A sua colocação não deverá ultrapassar o primeiro dia após a realização total do suporte primário. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

De modo a permitir a instalação dos prismas o mais rápido possível, antes que a espessura total do suporte primário esteja aplicada, serão utilizados dispositivos de proteção da fixação que

permitirão proteger o elemento de fixação do prisma durante a aplicação das sucessivas camadas de betão projetado (Figura 15).

Figura 15 – Prisma de convergência

5.14 Sismógrafo

Preconiza-se durante a fase de construção o posicionamento de sismógrafos junto às edificações mais vulneráveis. Pretende-se o registo das velocidades e frequências de vibrações eventualmente provocadas pela execução dos trabalhos de construção (Figura 16).

As medições de vibrações serão feitas através de um geofone triaxial com uma capacidade de leitura de 2-250 Hz (janela de calibração mínima 1-160 Hz). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

No caso dos sismógrafos utilizados simultaneamente para a monitorização dos limites de integridade estrutural e de vibrações de incomodidade humana, serão adotados dispositivos com a sensibilidade necessária à monitorização dos respetivos limites (conforme Plano de Monitorização Ambiental).

Figura 16 – Sismógrafo

5.15 Clinómetro

Os clinómetros permitiram a medição da variação de inclinação das paredes dos edifícios. Quando possível, estes fornecerão leituras remotamente, sendo constituídos por bases de leitura em bronze, concebidas para garantir o posicionamento preciso e repetitivo do equipamento de leitura (Figura 17).

As bases de leitura serão fixas de forma mecânica e permanente à estrutura, sendo instaladas diretamente, normalmente na vertical, ou soldadas numa chapa em T, de dimensões adequadas para permitir a sua instalação na horizontal em elementos verticais.

O equipamento de leitura será constituído por sensor instalado num elemento em aço inoxidável, permitindo a realização de leituras nas bases instaladas em superfície verticais ou horizontais, através de uma unidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -30°C e +70°C).

O equipamento de leitura possuirá no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura: ± 15° a partir da vertical
- Resolução: 0,0013°
- Precisão: < 0,06% da capacidade máxima de leitura

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

Figura 17 – Clinómetro

5.16 Prisma topográfico de referência

Para garantir a adequada leitura dos vários dispositivos topográficos instalados será necessário posicionar elementos adicionais que constituirão a sua referência. Constituem dispositivos de precisão de leitura ótica, sendo utlizados para a realização de leituras nos eixos X, Y e Z (Figura 18). À semelhança dos anteriores também estes dispositivos têm uma importância crítica na criação de uma rede de instrumentação, pois permitem ter um conjunto de coordenadas de referência invariáveis e não-suscetíveis a deslocamentos. Nesse sentido, a escolha da sua localização deve ser realizada de forma criteriosa.

Procurou-se distribuir este tipo de dispositivos de forma a garantir que possuem alcance até cerca de 200 metros, sendo necessário garantir visibilidade direta entre este elemento e aquele que se pretende ler. Cada dispositivo a ler (prisma topográfico) deverá estar referenciado, no

mínimo, a 3 unidades de referência, de forma a permitir a existência de redundância e consequentemente, o controlo cruzado entre os vários dispositivos.

O prisma ótico encontra-se acoplado a uma haste metálica robusta que será adequadamente fixa à parede do elemento que será considerado como fixo.

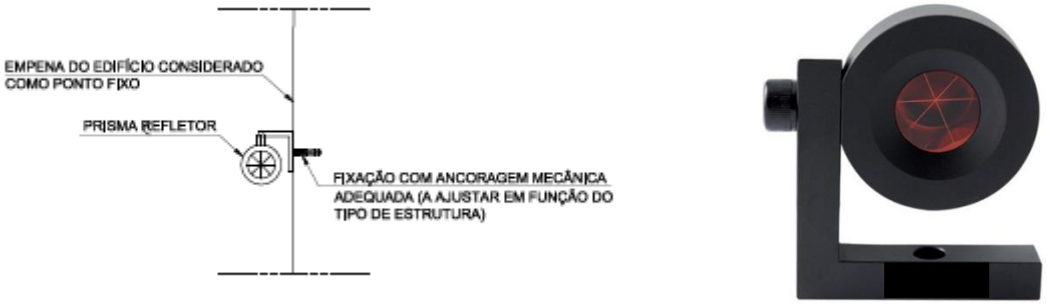


Figura 18 – Prisma topográfico de referência

5.17 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5" e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 19).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

Figura 19 – Estação total robotizada

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 11.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 20).

Figura 20 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 21).

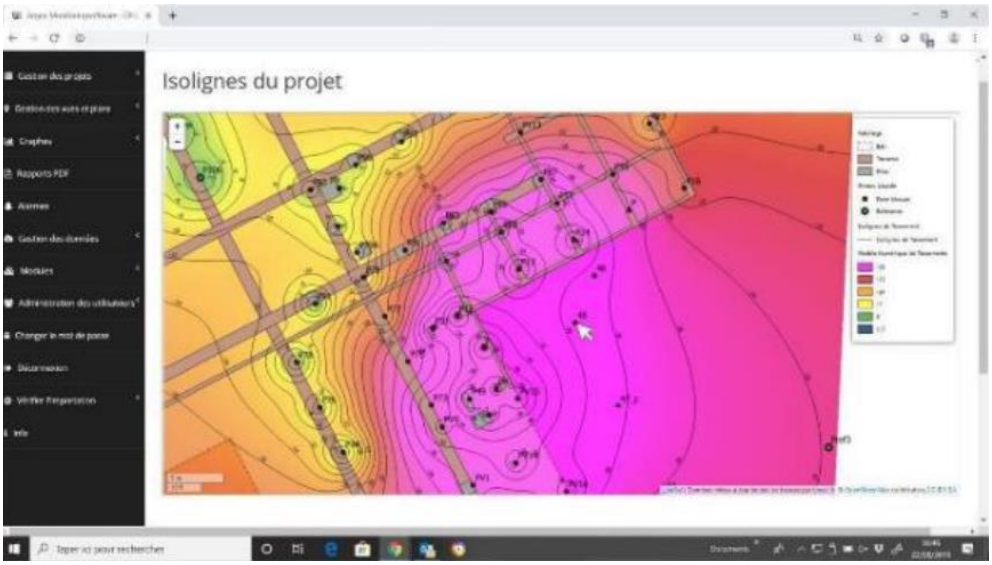


Figura 21 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 22).

Figura 22 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

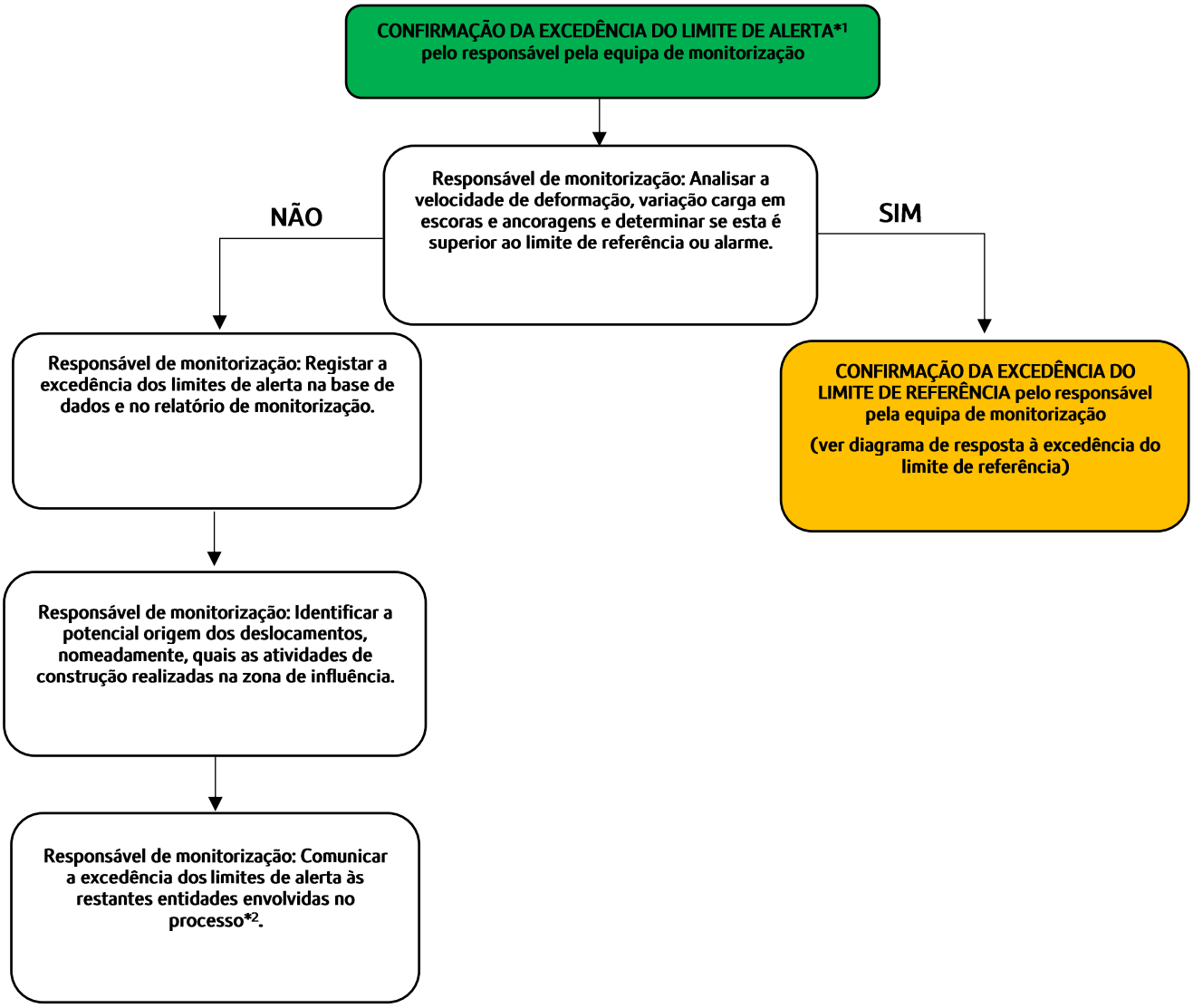
Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 11.2.

11 ANEXOS

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

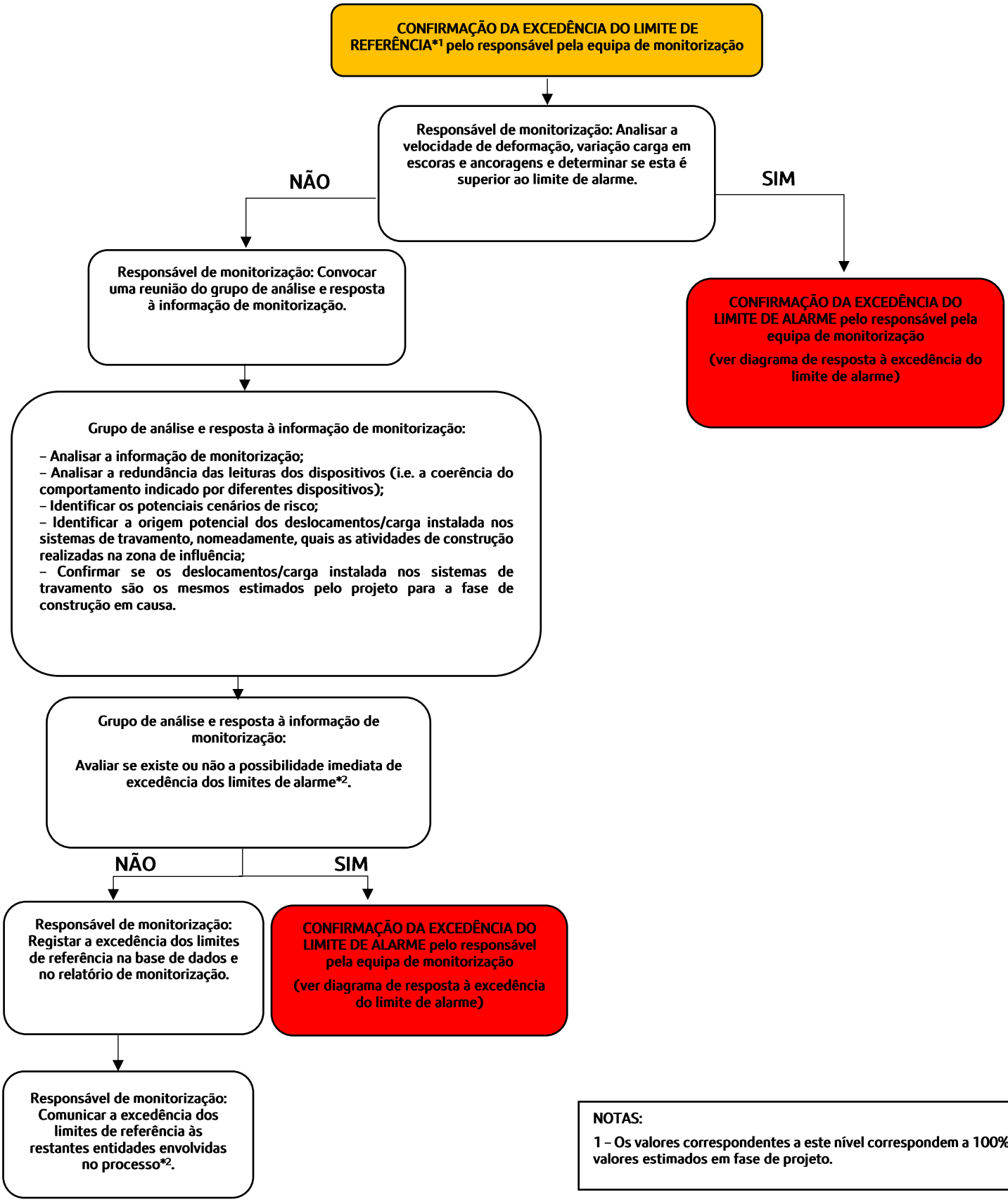
DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- Analisar a informação de monitorização;
- Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);
- Identificar os potenciais cenários de risco;
- Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;
- Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- Quadro A – Túnel NATM

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*3.

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 – As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – Túnel NATM

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Redução da distância de avanço de escavação;
- Aumento da densidade de pregagens de fibra de vidro na frente de escavação;
- Realização de chapéu de enfilagens nos avanços intermédios;
- Realização de furos de drenagem adicionais na frente e/ou nos hasteais;
- Aplicação de betão projetado na frente de escavação;
- Aumento da parcialização da escavação da frente;
- Inclusão de rede electrossoldada entre cambotas;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da frente de escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-10	Emissão inicial

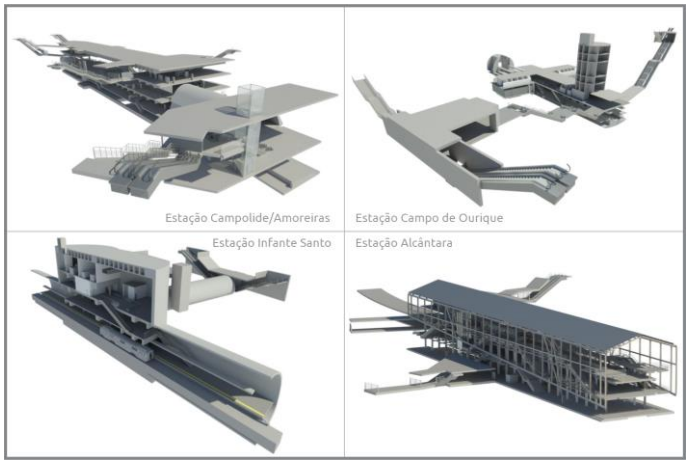
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

PROJETO DE EXECUÇÃO



PLANO DE OBSERVAÇÃO – ESTAÇÕES – ESTAÇÃO CAMPOLIDE AMOREIRAS (CE)

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS TUN OE2 ME 088000 0

	Nome	**Assinatura**	**Data**
Elaborado	André Sousa		2024-10-04
Revisto	Rui Tomásio		2024-10-04
Verificado	Sandra Ferreira/ Gonçalo Mateus		2024-10-04
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-04
Aprovado	Raúl Pistone		2024-10-04

1 OBJETIVO E ÂMBITO 3

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 4

3 GRANDEZAS A MEDIR 5

3.1 Escavações subterrâneas 6
3.2 Escavações a céu aberto 6
3.3 Edificações 7

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 8

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 8

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 8
5.2 Prisma topográfico para pavimento 9
5.3 Inclinómetros 9
5.4 Piezómetro elétrico 10
5.5 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* 11
5.6 Prisma topográfico de referência 12
5.7 Estação total robotizada 12
5.8 Fissurómetros 13

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 14

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 17

7.1 Critérios de alerta e alarme 17

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 18

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 20

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 20

11 ANEXOS 21

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 21
11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência 25

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Projeto de Execução**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação**, desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo **II** do **Volume 2 – OC – Estação de Campo de Ourique.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça "dinâmica" e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

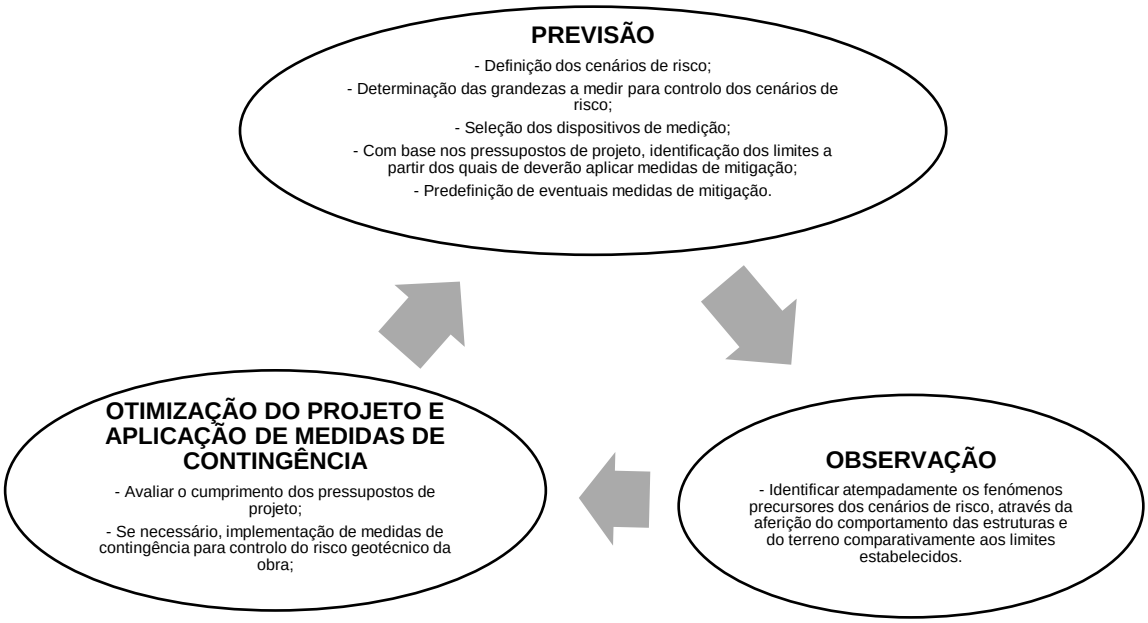


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão

realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência. Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Este documento aborda a instrumentação de monitorização associada à escavação do túnel da Obra Especial 2 que irá unir o corpo da Estação de Campolide Amoreiras com o respetivo Acesso 5.

Para cada um destes locais, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO (CARRIL)	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE (ESCORAS DE AÇO)	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
OE2	X	X		X						X		X				

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais e convergências no interior de galerias subterrâneas recorrendo a prismas topográficos.
- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros.
- Medição da abertura de fendas em edifícios, utilizando fissurómetros.
- Medições de deslocamentos verticais internos do maciço e à superfície, com extensómetros multiponto.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais nos pavimentos e carris utilizando prismas de pavimento e de carris.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.
- Medições de deslocamentos axiais de elementos estruturais recorrendo a extensómetros (tipo *strain gauges*).
- Medição de deslocamentos de precisão na estrutura interior de edifícios, utilizando sensores de nível líquido.

3.1 Escavações subterrâneas

A avaliação da evolução do comportamento das obras subterrâneas será realizada através do registo dos deslocamentos do terreno e observação de eventuais fissurações no revestimento primário. Para tal serão criadas secções de medição de convergências e deslocamentos, onde serão instalados, em geral, 3 prismas para secções cuja maior dimensão seja menor ou igual a 10 m e 5 prismas para secções com a maior dimensão superior a 10 m. Para a secções com 3 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 1 em cada hasteal, que permitirão para além dos deslocamentos nesses pontos, o controlo de 3 cordas diferentes. Para a secções com 5 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 2 em cada hasteal, acima e abaixo do eixo da galeria, que permitirão o controlo de 6 cordas diferentes.

No terreno e à superfície serão executados extensómetros multiponto, inclinómetros e prismas topográficos no pavimento, em carris e em edifícios.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, para além dos deslocamentos será também avaliada a variação/presença de água através da instalação de piezómetros.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes. Quando necessário, assumem particular destaque aos drenos longitudinais realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

3.2 Escavações a céu aberto

O plano de observação proposto contempla a medição dos deslocamentos, em particular, durante a execução dos trabalhos, à superfície e em profundidade, nomeadamente assentamentos e deslocamentos horizontais. Para este efeito será necessário recorrer à colocação de prismas topográficos e inclinómetros. A força nos escoramentos metálicos será controlada através de extensómetros (*strain–gauge*), posicionados em redundância em cada seção.

A evolução da tração instalada nas ancoragens será medida recorrendo a células de carga.

A medição da evolução do nível de água será obtida recorrendo a piezómetros.

3.3 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

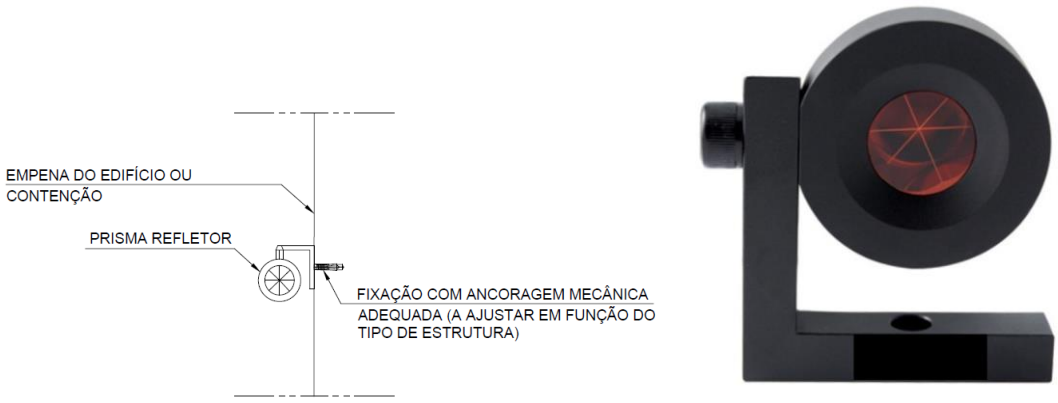


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Prisma topográfico para pavimento

Os prismas topográficos para pavimento consistem num elemento adequadamente fixo ao pavimento com elevada resistência ao tráfego pedonal e rodoviário, materializado por meio de uma placa metálica que permite a realização leituras dos deslocamentos verticais.

As leituras serão efetuadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

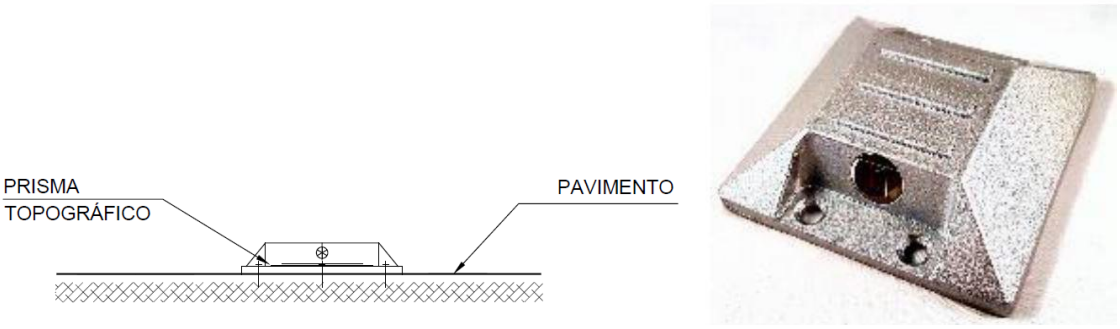


Figura 3 - Prisma topográfico para pavimento

5.3 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90°. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

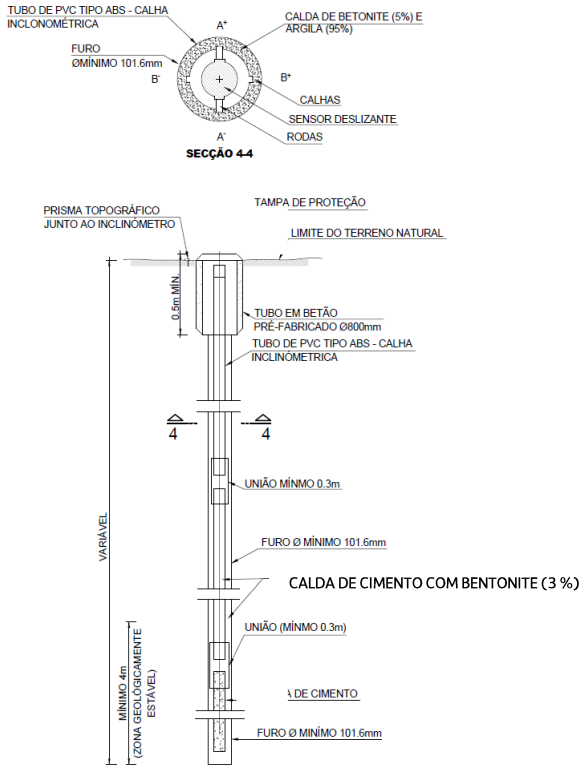


Figura 4 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.4 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 5).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa
- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

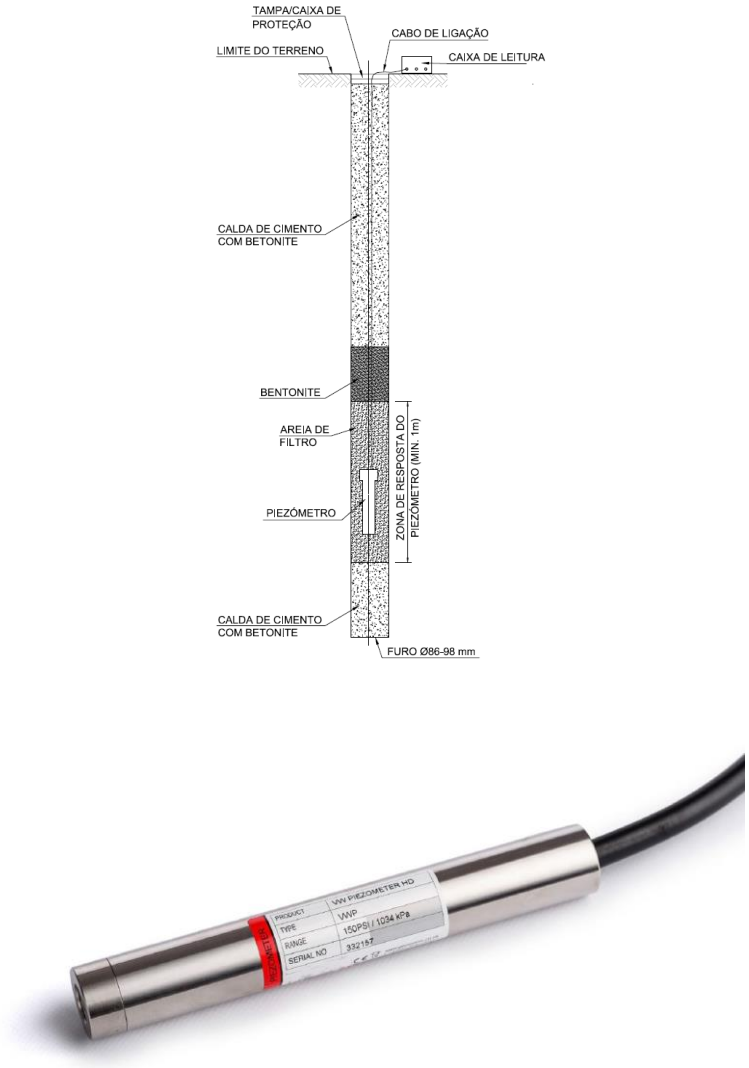


Figura 5 - Piezómetro elétrico com uma câmara

5.5 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge*

Os extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* permitem a medição indireta de deslocamentos muito pequenos por intermédio de sensores de corda vibrante que medem a extensão dos elementos estruturais aos quais se encontram ligados através de soldadura (Figura 6). Estes dispositivos serão instalados nas escoras metálicas que constituem a solução de travamento da contenção, permitindo medir a extensão acomodada pelas mesmas e consequentemente a força instalada aquando da execução dos trabalhos de escavação.

Deverão ser utilizados *strain-gauges* de corda vibrante, com campo de leitura não inferior a 3000$\mu\varepsilon$, resolução < 1,0$\mu\varepsilon$ e precisão de ordem inferior a ± 0,5% da capacidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20°C e +80°C). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

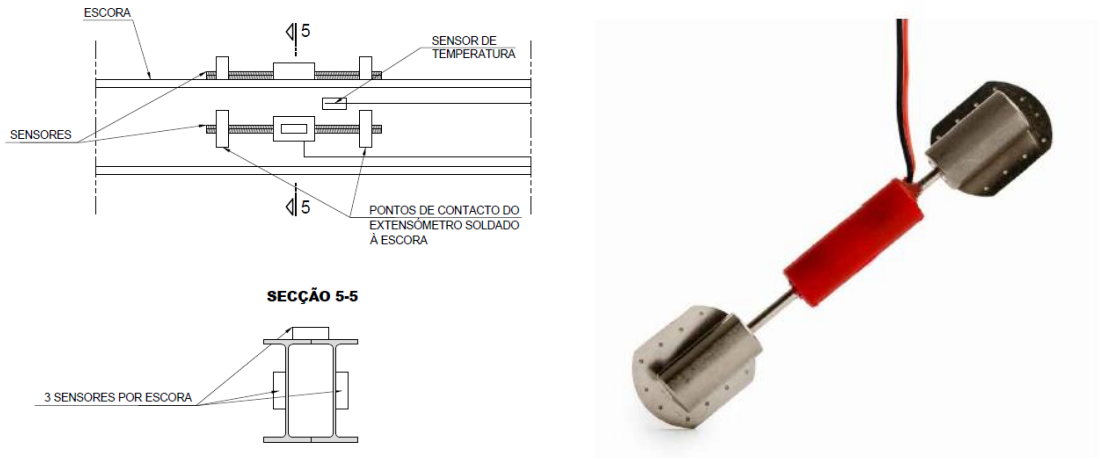


Figura 6 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge*

5.6 Prisma topográfico de referência

Para garantir a adequada leitura dos vários dispositivos topográficos instalados será necessário posicionar elementos adicionais que constituirão a sua referência. Constituem dispositivos de precisão de leitura ótica, sendo utlizados para a realização de leituras nos eixos X, Y e Z (Figura 7). À semelhança dos anteriores também estes dispositivos têm uma importância crítica na criação de uma rede de instrumentação, pois permitem ter um conjunto de coordenadas de referência invariáveis e não-suscetíveis a deslocamentos. Nesse sentido, a escolha da sua localização deve ser realizada de forma criteriosa.

Procurou-se distribuir este tipo de dispositivos de forma a garantir que possuem alcance até cerca de 200 metros, sendo necessário garantir visibilidade direta entre este elemento e aquele que se pretende ler. Cada dispositivo a ler (prisma topográfico) deverá estar referenciado, no mínimo, a 3 unidades de referência, de forma a permitir a existência de redundância e consequentemente, o controlo cruzado entre os vários dispositivos.

O prisma ótico encontra-se acoplado a uma haste metálica robusta que será adequadamente fixa à parede do elemento que será considerado como fixo.

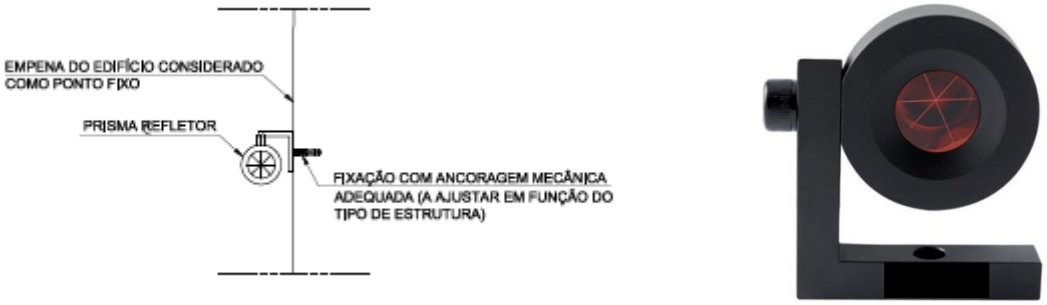


Figura 7 – Prisma topográfico de referência

5.7 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5" e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a

leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 8).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

Figura 8 – Estação total robotizada

5.8 Fissurómetros

Este tipo de diapositivos permitirá acompanhar a evolução da abertura de uma determinada fissura.

Os fissurómetros a utilizar deverão ser planos e deverão permitir a realização de leituras de deslocamentos na horizontal e na vertical. Será ainda necessário que possuam capacidade resistente adequada às intempéries, devendo ser fixos de forma adequada (mecanicamente).

O seu alcance máximo será, no mínimo de 25 mm, na horizontal e 10 mm na vertical, devendo a sua resolução ser, no mínimo, de 0,1 mm (Figura 9). Para garantir esta resolução será necessário recorrer no ato da medição a uma craveira digital que se acopla ao fissurómetro.

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

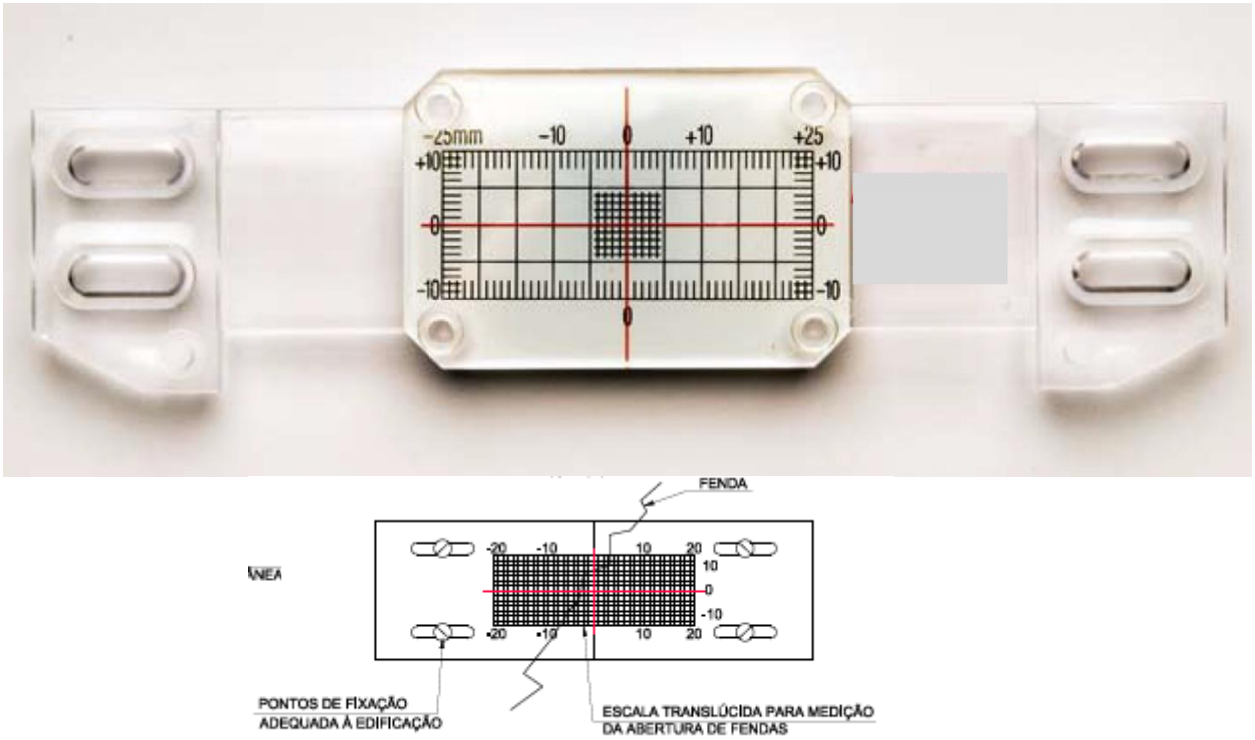


Figura 9 – Fissurómetro

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 11.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 10).

Figura 10 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 11).

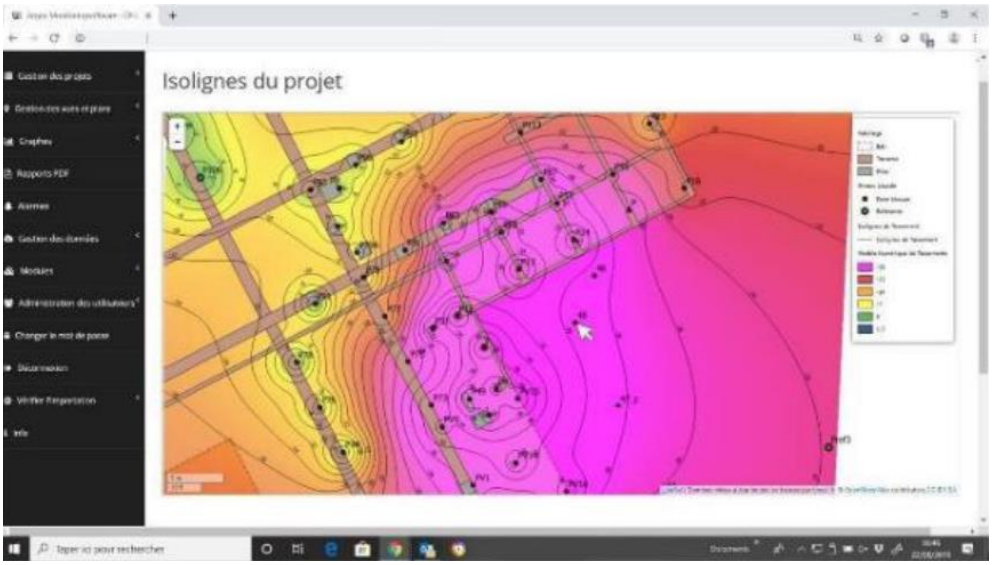


Figura 11 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 12).

Figura 12 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

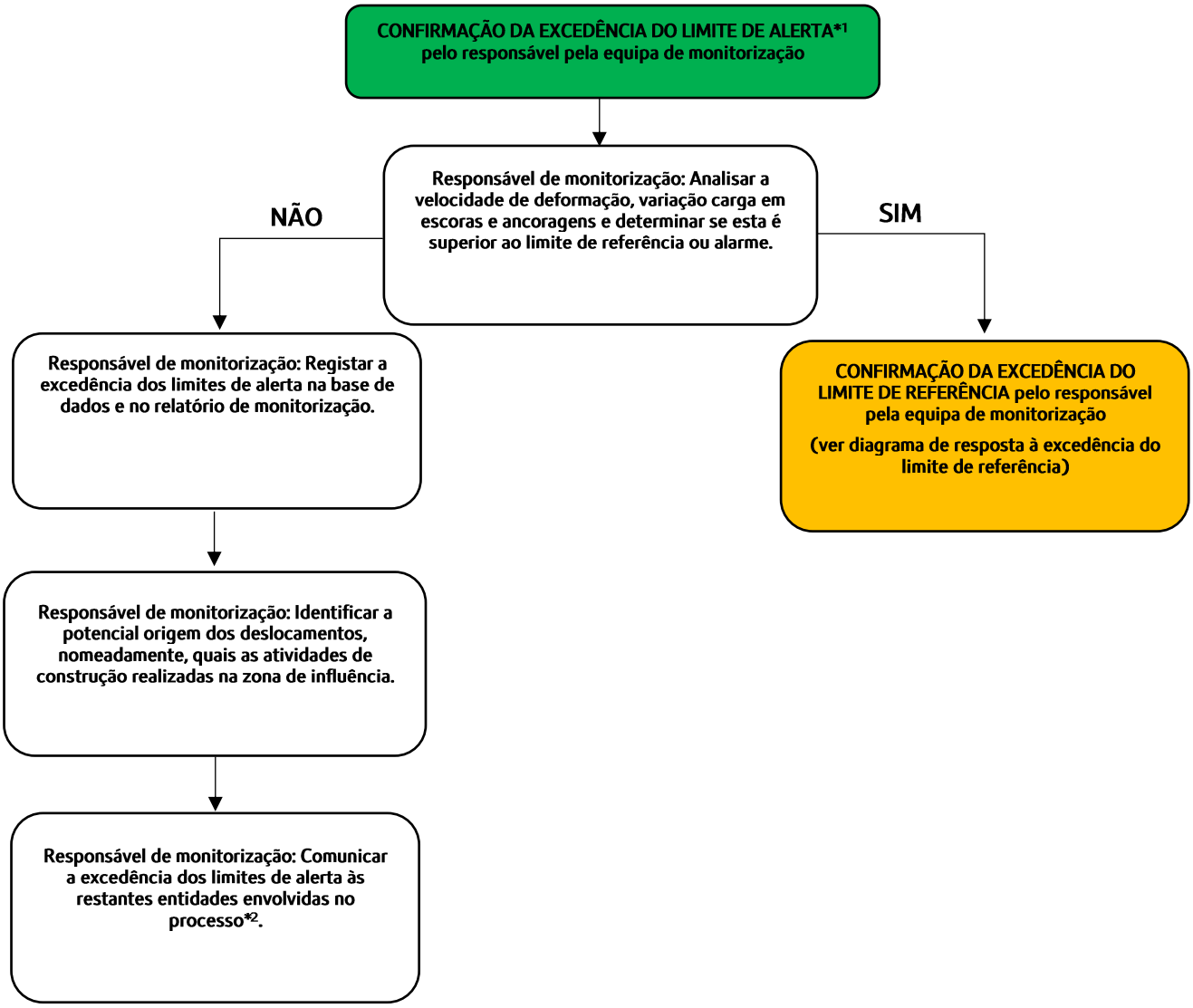
Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 11.2.

11 ANEXOS

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

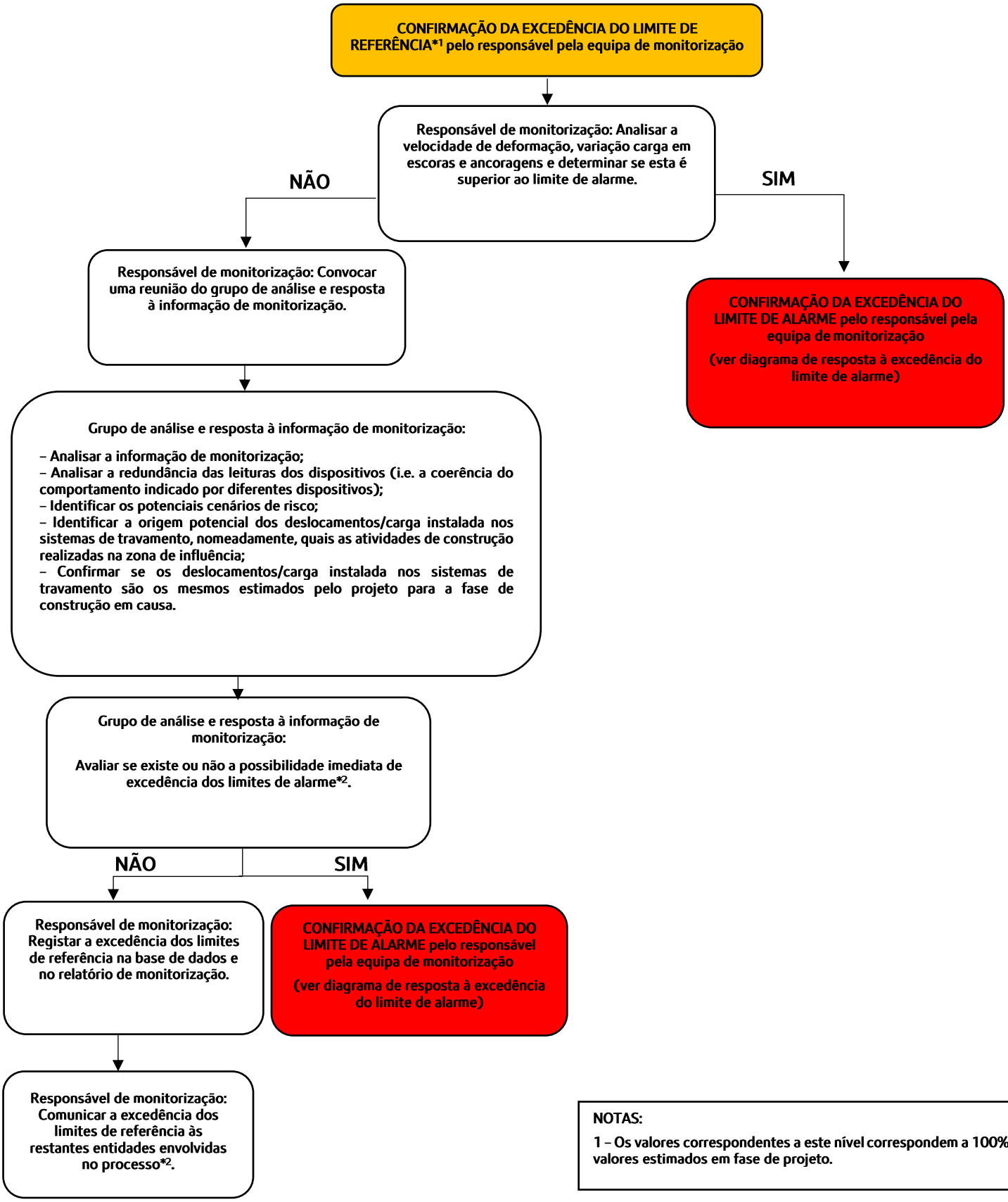
DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- Analisar a informação de monitorização;
- Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);
- Identificar os potenciais cenários de risco;
- Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;
- Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- Quadro A – Estação Campo de Ourique – Poço Central
- Quadro B – Estação Campo de Ourique – Galerias subterrâneas
- Quadro D – Estação Campo de Ourique – Escavação a céu aberto – Acesso Este
- Quadro E – Estação Campo de Ourique – Escavação a céu aberto – Acesso Oeste

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*3.

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 – As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – Estação Campo de Ourique – Poço Central

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Drenos adicionais nas paredes da contenção;
- Reforço da capacidade bombagem;
- Instalação de escoras metálicas adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Aumento da carga de blocagem nas ancoragens realizadas;
- Realização de ancoragens adicionais;
- Realização de vigas de distribuição adicionais;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da escavação.

Quadro B – Estação Campo de Ourique – Galerias subterrâneas & Túnel NATM

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Redução da distância de avanço de escavação;
- Aumento da densidade de pregagens de fibra de vidro na frente de escavação;
- Realização de chapéu de enfilagens nos avanços intermédios;
- Realização de furos de drenagem adicionais na frente e/ou nos hasteais;
- Aplicação de betão projetado na frente de escavação;
- Aumento da parcialização da escavação da frente;
- Inclusão de rede electrossoldada entre cambotas;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da frente de escavação.

Quadro D – Estação Campo de Ourique – Escavação a céu aberto – Acesso Este & Acesso Oeste

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Limitação da afluência de água por recalçamento da ficha das cortinas;
- Furos de drenagem/alívio de pressão adicionais no fundo da escavação;
- Instalação de escoras metálicas adicionais;
- Realização de ancoragens adicionais;
- Realização de vigas de distribuição adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-04	Emissão do Projeto de Execução

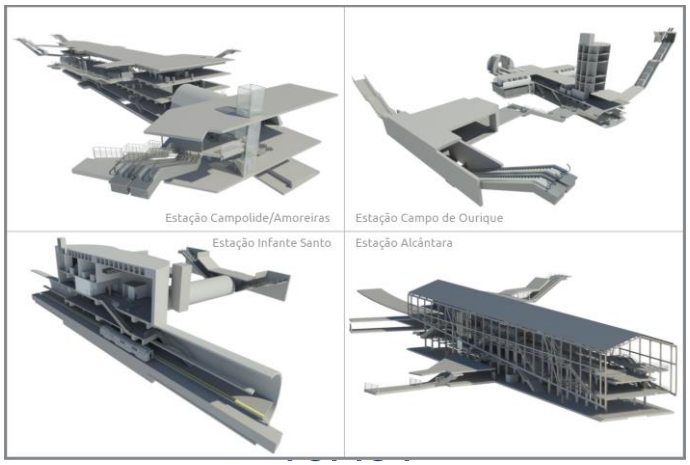
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

PROJETO DE EXECUÇÃO



VOLUME 40 – PLANO DE OBSERVAÇÃO – OE1

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS TUN OE1 MD 088001 0

	Nome	Assinatura	Data
Elaborado	Francisco Bernardo Pedro Nogueira		2024-10-10
Revisto	Sandra Ferreira		2024-10-10
Verificado	Rui Rodrigues		2024-10-10
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-10
Aprovado			

	Nome	Assinatura	Data
Gestor Projeto	Raúl Pistone		2024-10-10

Índice

1 OBJETIVO E ÂMBITO 5

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 6

3 GRANDEZAS A MEDIR 9

3.1 Escavações subterrâneas 9
3.2 Edificações 10
4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 11

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 11

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 11
5.2 Prisma topográfico para pavimento 12
5.3 Extensómetro multiponto 12
5.4 Inclinómetros 14
5.5 Sensor de nível líquido 15
5.6 Piezómetro elétrico 15
5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC 16
5.8 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla 17
5.9 Prisma topográfico para carril 18
5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* 19
5.11 Fissurómetros 19
5.12 Células de carga 20
5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas 21
5.14 Sismógrafo 22
5.15 Clinómetro 24
5.16 Prisma topográfico de referência 24
5.17 Estação total robotizada 25
6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 26

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 29

7.1 Critérios de alerta e alarme 29
8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 30

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 32

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 32

11 ANEXOS 33

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 33

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência 37

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Anteprojeto**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação,** desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo **III** do **Volume 1 – OE1.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça "dinâmica" e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

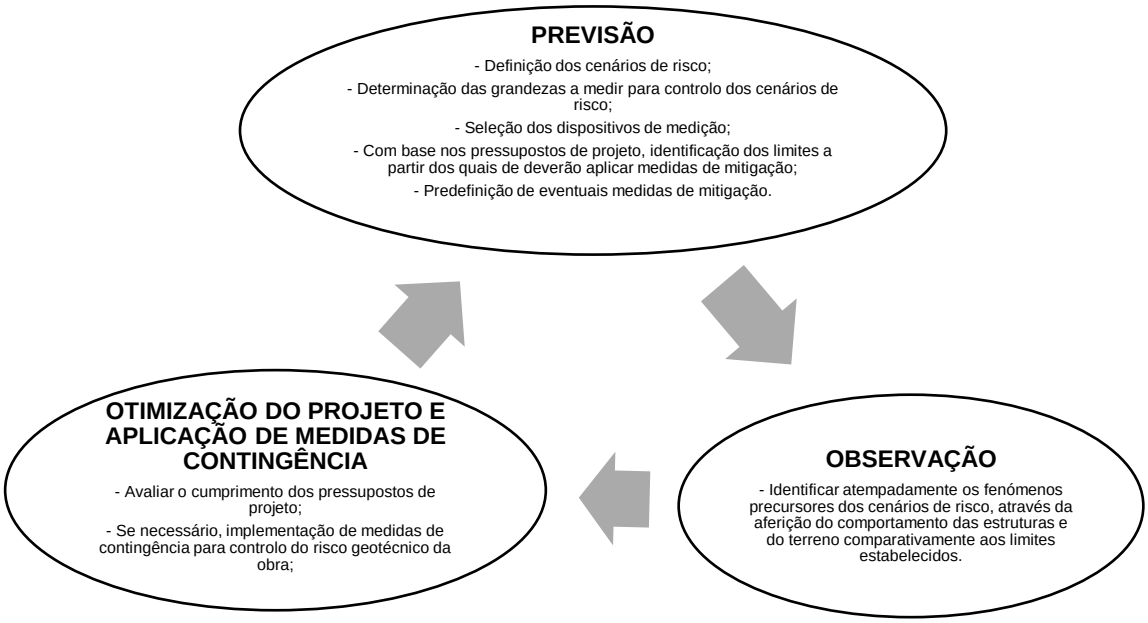


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência.

Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada aos túneis NATM, nomeadamente:

- Troço 81, 82, 83, 84 e 85;
- Tímpano de São Sebastião (OE1);
- Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3);
- Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4);
- Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7).

Para cada um destes locais, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
Túnel Troço 81, 82, 83, 84 e 85	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X
Tímpano de São Sebastião (OE1)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 1 (OE3)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel da Via de Resguardo 2 (OE4)	X	X				X	X			X		X	X		X	X
Túnel Término da Via de Resguardo 3 (OE7)	X	X	X			X	X			X		X	X		X	X

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais e convergências no interior de galerias subterrâneas recorrendo a prismas topográficos.
- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros.
- Medição da abertura de fendas em edifícios, utilizando fissurómetros.
- Medições de deslocamentos verticais internos do maciço e à superfície, com extensómetros multiponto.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições de deslocamentos verticais e horizontais nos pavimentos e carris utilizando prismas de pavimento e de carris.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.
- Medições de deslocamentos axiais de elementos estruturais recorrendo a extensómetros (tipo *strain gauges*).
- Medição de deslocamentos de precisão na estrutura interior de edifícios, utilizando sensores de nível liquido.

3.1 Escavações subterrâneas

A avaliação da evolução do comportamento das obras subterrâneas será realizada através do registo dos deslocamentos do terreno e observação de eventuais fissurações no revestimento primário. Para tal serão criadas secções de medição de convergências e deslocamentos, onde serão instalados, em geral, 3 prismas para secções cuja maior dimensão seja menor ou igual a 10 m e 5 prismas para secções com a maior dimensão superior a 10 m. Para a secções com 3 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 1 em cada hasteal, que permitirão para além dos deslocamentos nesses pontos, o controlo de 3 cordas diferentes. Para a secções com 5 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 2 em cada hasteal, acima e abaixo do eixo da galeria, que permitirão o controlo de 6 cordas diferentes.

No terreno e à superfície serão executados extensómetros multiponto, inclinómetros e prismas topográficos no pavimento, em carris e em edifícios.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, para além dos deslocamentos será também avaliada a variação/presença de água através da instalação de piezómetros.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes. Quando necessário, assumem particular destaque aos drenos longitudinais realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

3.2 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

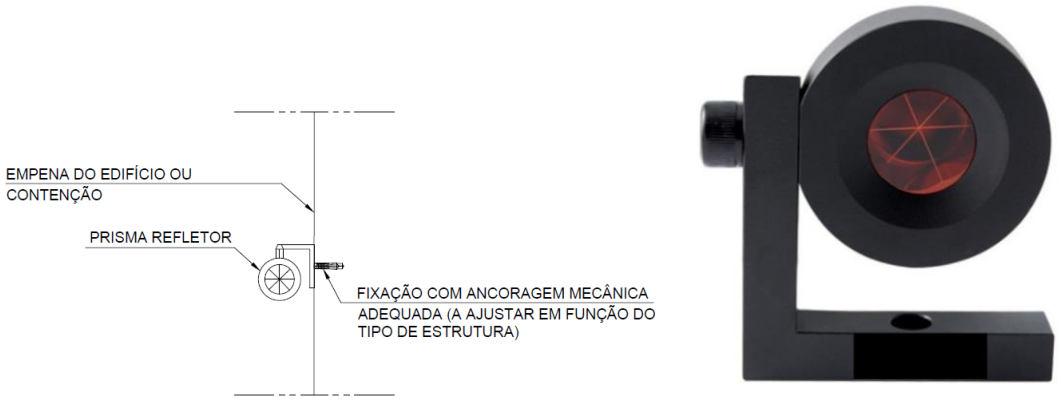


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Prisma topográfico para pavimento

Os prismas topográficos para pavimento consistem num elemento adequadamente fixo ao pavimento com elevada resistência ao tráfego pedonal e rodoviário, materializado por meio de uma placa metálica que permite a realização leituras dos deslocamentos verticais.

As leituras serão efetuadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

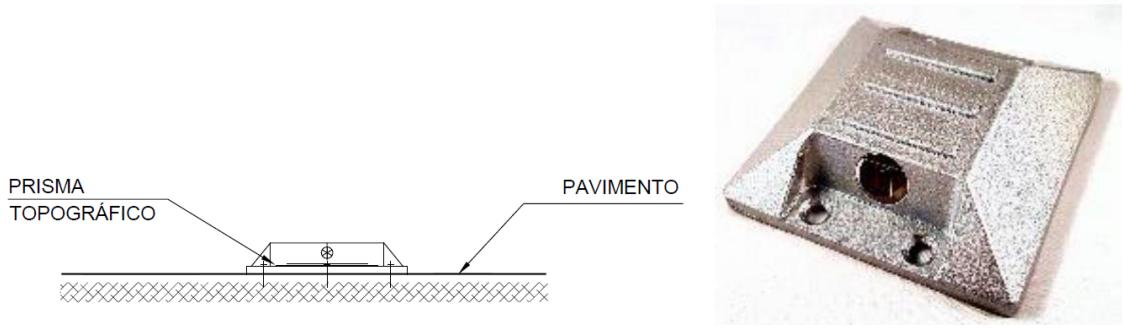


Figura 3 - Prisma topográfico para pavimento

5.3 Extensómetro multiponto

Os extensómetros permitem o controlo dos deslocamentos verticais em profundidade e encontram-se definidos nas seções de monitorização onde também estão previstas medições de deslocamentos e convergências no interior das galerias subterrâneas (Figura 4).

Os extensómetros terão 1 ou 2 ancoragens fixadas a diferentes profundidades. O sensor de deslocamento deverá ser do tipo corda vibrante dotado com sensor de temperatura.

Do conjunto deste dispositivo deverá fazer parte integrante:

- Barras/varas em aço inoxidável ou fibra de vidro
- Ancoragem (injetável com calda de cimento ou tipo *packer*)
- Bainha de encamisamento das barras/varas
- Cabeça de referência do elétrico

O extensómetro será instalado em furo previamente executado de diâmetro, no mínimo, de Ø76 mm (furação destrutiva), que terá um comprimento superior à profundidade de instalação de cerca de 1,00 m.

As cabeças dos extensómetros deverão ser equipadas com um prisma topográfico que permita obter as leituras à superfície. Aos valores das leituras das ancoragens deverão ser adicionados os assentamentos de superfície obtidos através dos prismas.

Os componentes serão montados de acordo às indicações do fabricante e instalados no furo nas cotas previstas função do seu comprimento total. Existirá uma ancoragem na extremidade correspondente à base do furo e uma segunda a 1/3 do seu comprimento total.

Uma vez finalizado o posicionamento do dispositivo, proceder-se-á a sua selagem por meio de calda de cimento.

As cabeças dos extensómetros serão protegidas por caixas com tampas metálicas adequadas.

O dispositivo será de leitura elétrica, o sensor de deslocamento ou transdutor, será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20°C e +80°C), possuindo no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura ≥ 100mm
- Precisão < 0,30% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,0066% da capacidade de leitura

O dispositivo será calibrado antes de ser utilizado e as leituras serão realizadas a partir da superfície. Após a realização da medição, os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

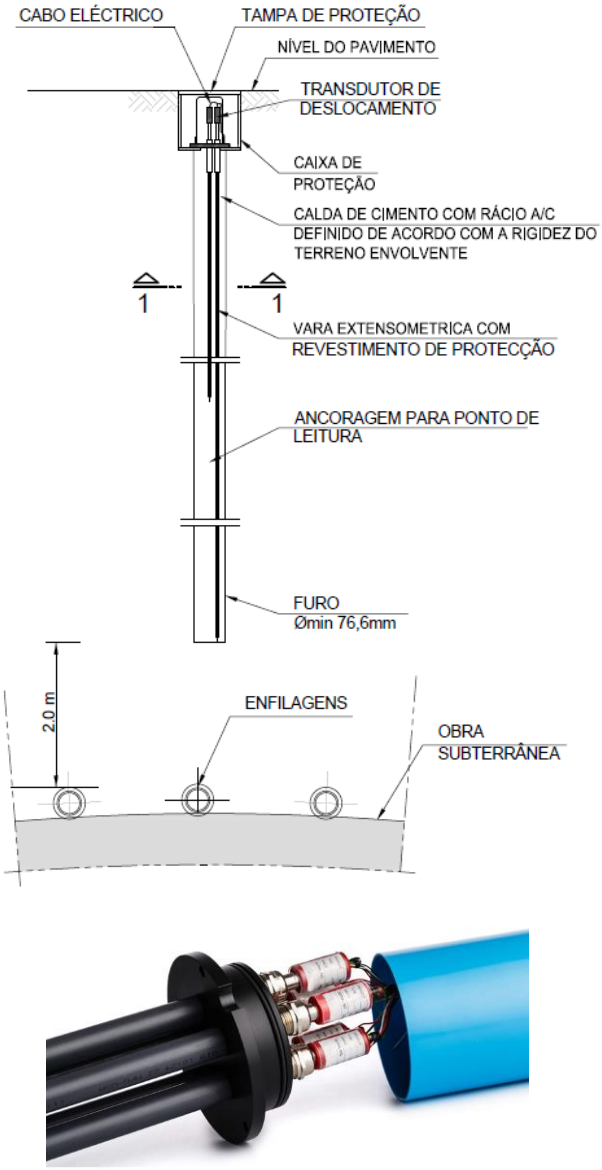


Figura 4 – Extensómetro multiponto

5.4 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90°. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

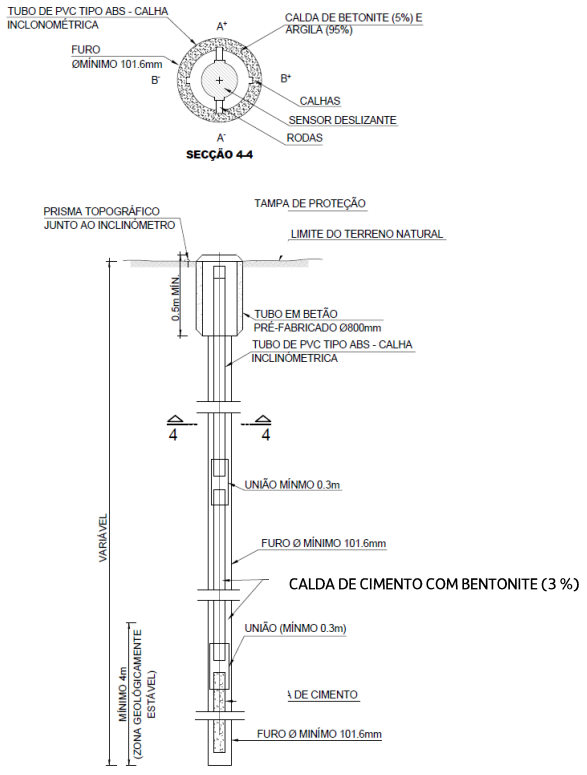


Figura 5 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.5 Sensor de nível líquido

O sensor de nível líquido permite medir deslocamentos diferenciais e totais entre diversos pontos de uma estrutura. É constituído por um conjunto de sensores de elevada precisão que medem continuamente a variação de nível de um líquido num circuito fechado. O conjunto de sensores encontra-se ligado a um depósito que constitui o nível de referência do sistema (Figura 6). Os deslocamentos totais podem ser obtidos através da soma dos deslocamentos diferenciais com os deslocamentos totais do nível de referência, no caso de este último estar sujeito a movimentos.

As leituras serão realizadas automaticamente e enviadas para a base de dados de monitorização.

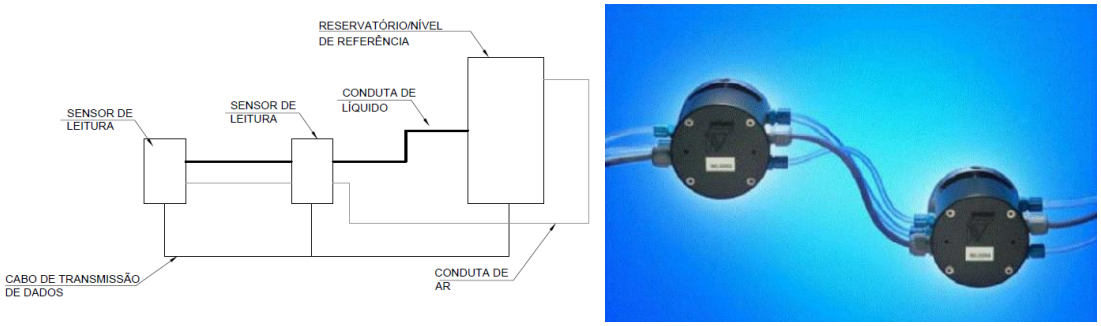


Figura 6 – Sensor de nível líquido

5.6 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 7).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa
- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

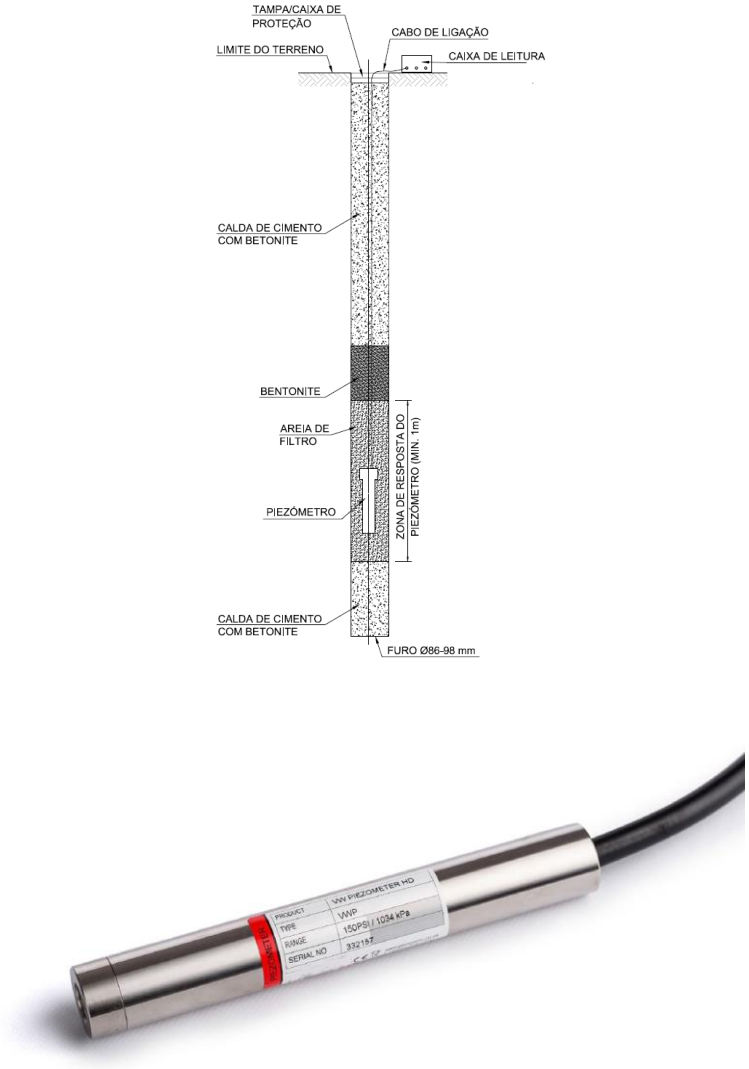


Figura 7 - Piezómetro elétrico com uma câmara

5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC

Os piezómetros com ponteira do tipo LNEC são um tipo de piezómetro recomendado para medição do nível de água em formações de muito baixa permeabilidade, cuja zona de resposta se localiza na extremidade inferior do piezómetro (ponteira) (Figura 8). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

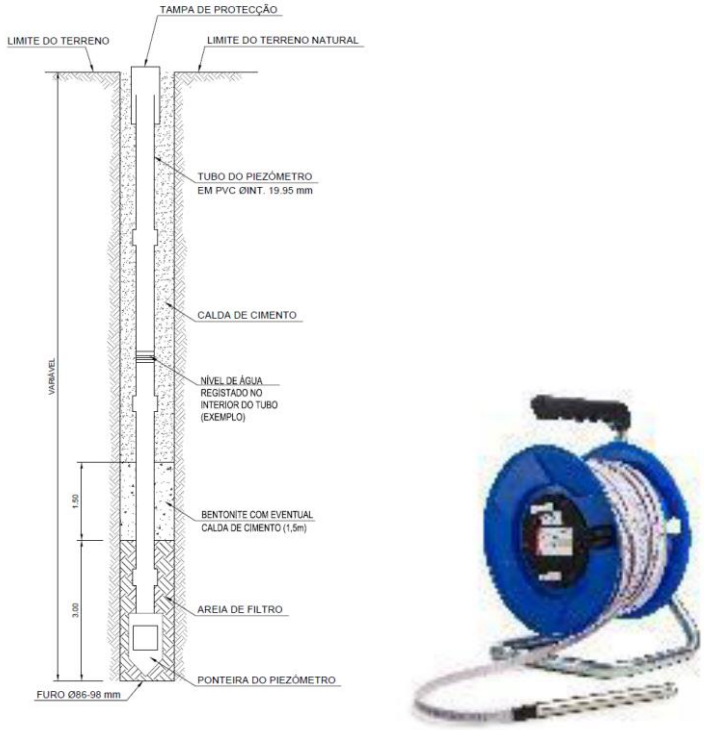


Figura 8 - Piezómetro com ponteira do tipo LNEC

5.8 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla

Os piezómetros do tipo Casagrande permitem a aferição de aquíferos a diferentes profundidades. São constituídos por troços tubos com 75 mm de diâmetro, solidarizados entre si através de uniões exteriores. Na zona onde se pretende efetuar a leitura do nível piezométrico esses tubos apresentam ranhuras com 4,5mm de espessura sendo a sua zona envolvente preenchida com areia (Figura 9 – piezómetro duplo). O número de tubos ou zonas de resposta dita a sua designação, ou seja de câmara simples – 1 tubo, câmara dupla – 2 tubos ou de câmara tripla – 3 tubos.

Na sua extremidade esses tubos são envoltos com geotêxtil (Figura 9). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

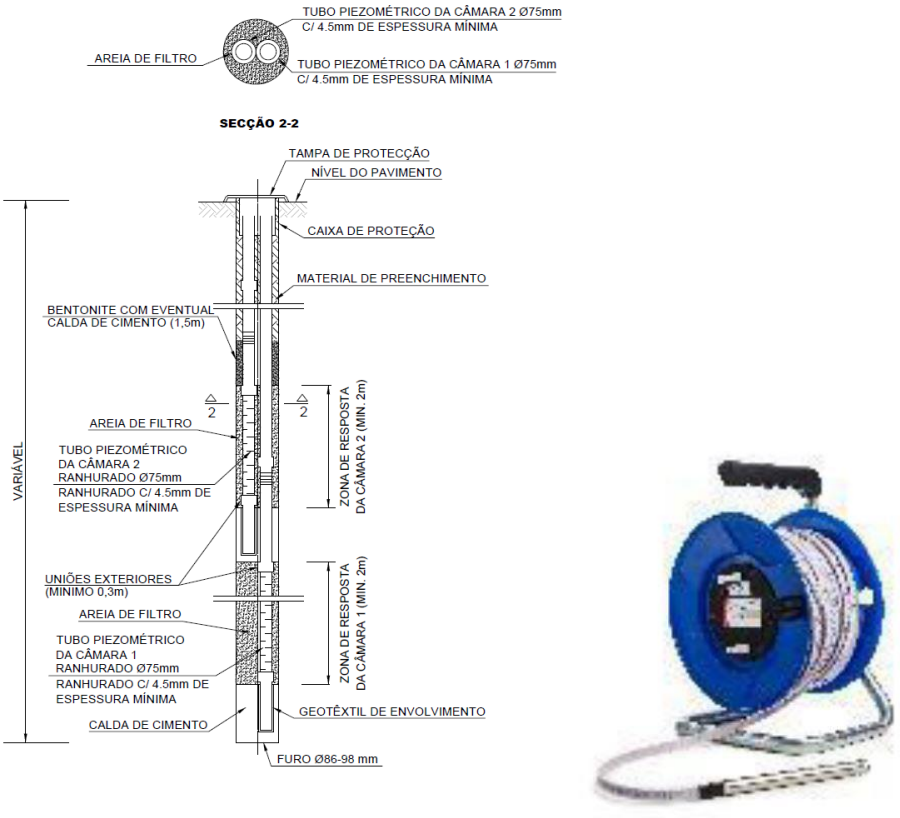


Figura 9 - Piezómetro do tipo Casagrande – Câmara dupla

5.9 Prisma topográfico para carril

Os prismas topográficos para carril, consistem num prisma instalado nas travessas das linhas do comboio da IP (Figura 10) ou num prisma para pavimento fixo entre os carris para as linhas da Carris (Figura 11). Este elementos permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X,Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada.

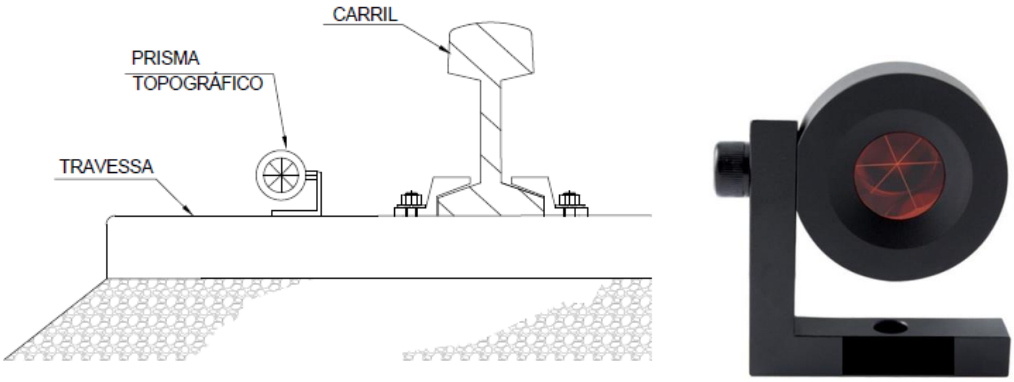


Figura 10 – Prisma topográfico para carril – Linhas IP

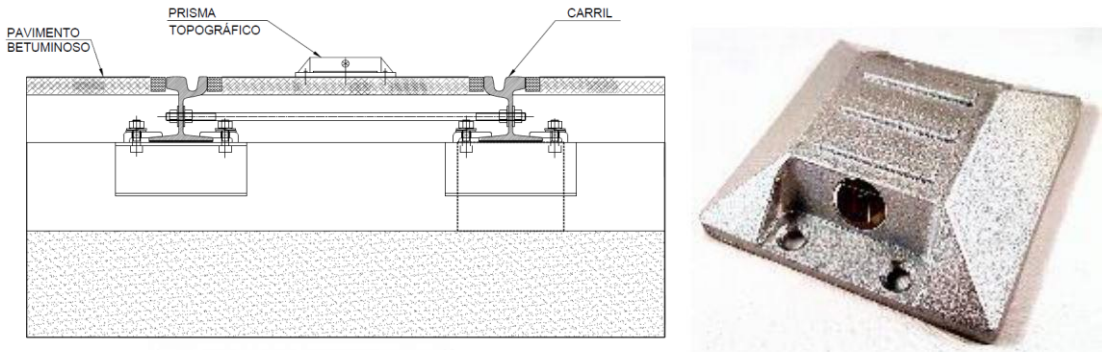


Figura 11 – Prisma topográfico para carril – Linhas Carris

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge*

Os extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* permitem a medição indireta de deslocamentos muito pequenos por intermédio de sensores de corda vibrante que medem a extensão dos elementos estruturais aos quais se encontram ligados através de soldadura (Figura 12). Estes dispositivos serão instalados nas escoras metálicas que constituem a solução de travamento da contenção, permitindo medir a extensão acomodada pelas mesmas e consequentemente a força instalada aquando da execução dos trabalhos de escavação.

Deverão ser utilizados *strain-gauges* de corda vibrante, com campo de leitura não inferior a 3000$\mu\varepsilon$, resolução < 1,0$\mu\varepsilon$ e precisão de ordem inferior a ± 0,5% da capacidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20°C e +80°C). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

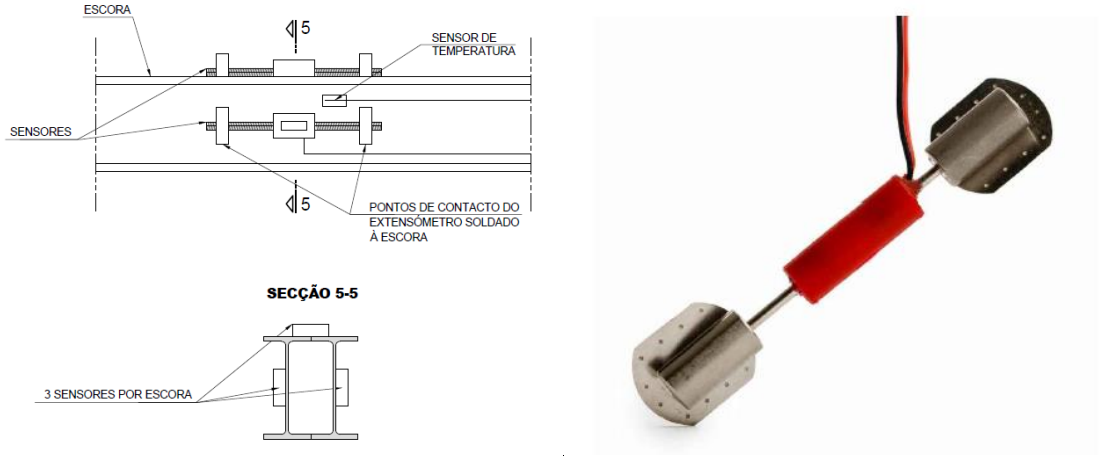


Figura 12 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge*

5.11 Fissurómetros

Este tipo de diapositivos permitirá acompanhar a evolução da abertura de uma determinada fissura.

Os fissurómetros a utilizar deverão ser planos e deverão permitir a realização de leituras de deslocamentos na horizontal e na vertical. Será ainda necessário que possuam capacidade resistente adequada às intempéries, devendo ser fixos de forma adequada (mecanicamente).

O seu alcance máximo será, no mínimo de 25 mm, na horizontal e 10 mm na vertical, devendo a sua resolução ser, no mínimo, de 0,1 mm (Figura 13). Para garantir esta resolução será necessário recorrer no ato da medição a uma craveira digital que se acopla ao fissurómetro.

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

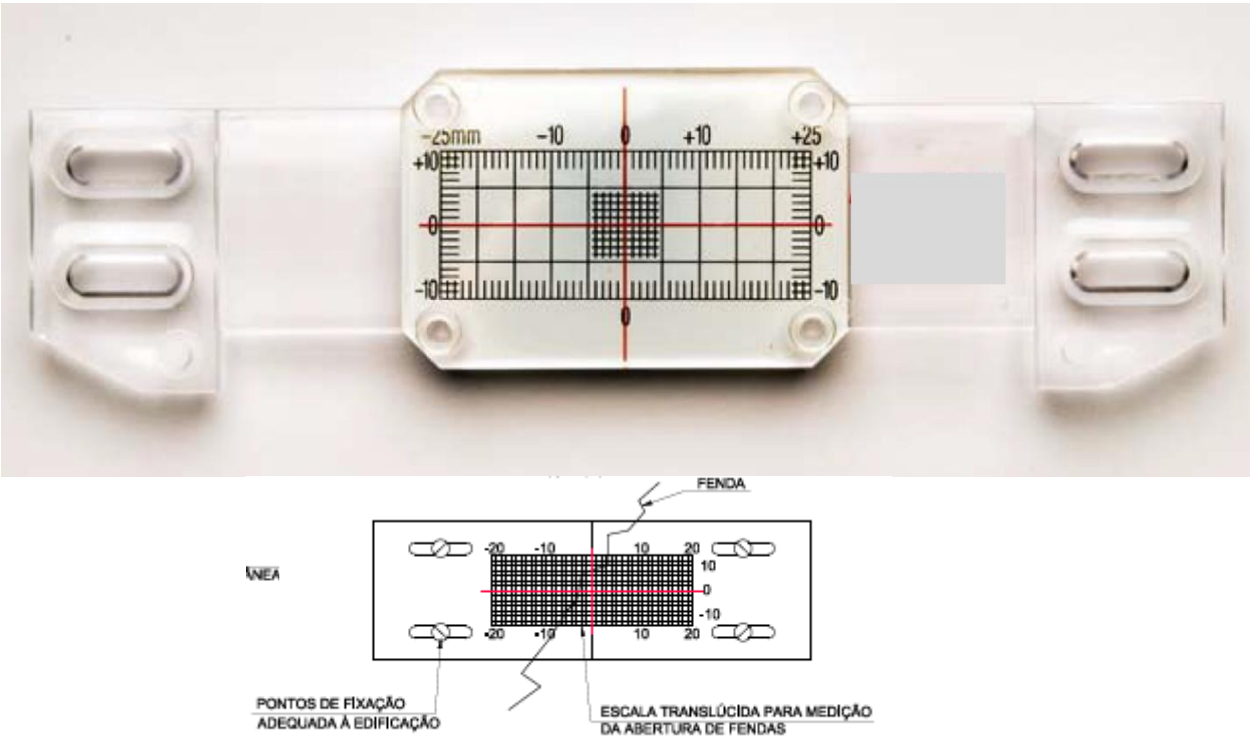


Figura 13 – Fissurómetro

5.12 Células de carga

O recurso a células de carga em ancoragens permitirá o acompanhamento da evolução e magnitude da tração instalada nestes elementos em fase de obra.

As células de carga a adotar nas ancoragens provisórias serão do tipo elétrico.

Em condições normais de leitura, o erro associado a estes dispositivos não deverá ultrapassar os ± 0,1% da capacidade máxima de leitura. A sua capacidade máxima de leitura deverá ser superior aos 1500 kN.

A instalação das células de carga será efetuada antes da realização do ensaio de receção detalhado da ancoragem. As células serão posicionadas sobre a chapa de apoio da ancoragem, sendo posteriormente colocada uma chapa metálica rígida adicional e posteriormente a placa de distribuição das cunhas.

A superfície de contacto com a célula deve estar plana e limpa. A colocação da célula deve ser criteriosa, de forma a que a mesma fique centrada com o eixo da aplicação da carga, evitando-se

assim excentricidades, com consequência no rigor das leituras (Figura 14). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

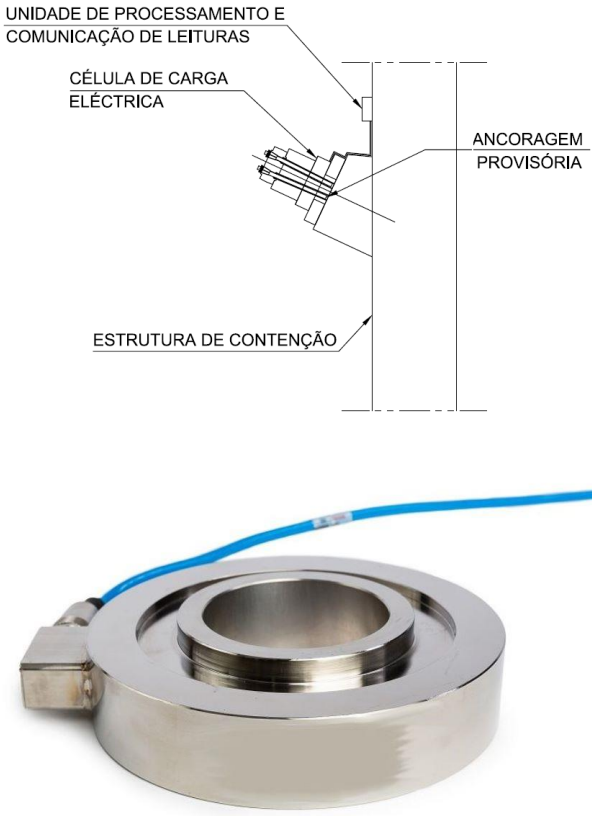


Figura 14 – Célula de carga em ancoragens

5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas

Face aos condicionamentos associados à necessidade de monitorizar as galerias subterrâneas durante a sua execução, a medição das convergências será materializada recorrendo a elemento ótico que permitirá, em condições mais adversas obter com maior precisão leituras de deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A instalação destes dispositivos de forma sistemática e em vários pontos de leitura em seção transversal de cada galeria a executar, permitirá ler não só os deslocamentos do ponto monitorizado, mas também criar secções de medição de convergências, através do controlo de diferentes cordas.

O sistema de fixação destes dispositivos é mecânico e deverá ser realizado ao betão projetado do suporte primário (através de resina epóxi ou de calda de cimento de presa rápida). Na sua extremidade visível a barra é roscada, de forma a permitir acoplar o prisma (Figura 15).

A sua colocação não deverá ultrapassar o primeiro dia após a realização total do suporte primário. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

De modo a permitir a instalação dos prismas o mais rápido possível, antes que a espessura total do suporte primário esteja aplicada, serão utilizados dispositivos de proteção da fixação que

permitirão proteger o elemento de fixação do prisma durante a aplicação das sucessivas camadas de betão projetado (Figura 15).

Figura 15 – Prisma de convergência

5.14 Sismógrafo

Preconiza-se durante a fase de construção o posicionamento de sismógrafos junto às edificações mais vulneráveis. Pretende-se o registo das velocidades e frequências de vibrações eventualmente provocadas pela execução dos trabalhos de construção (Figura 16).

As medições de vibrações serão feitas através de um geofone triaxial com uma capacidade de leitura de 2-250 Hz (janela de calibração mínima 1-160 Hz). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

No caso dos sismógrafos utilizados simultaneamente para a monitorização dos limites de integridade estrutural e de vibrações de incomodidade humana, serão adotados dispositivos com a sensibilidade necessária à monitorização dos respetivos limites (conforme Plano de Monitorização Ambiental).

Figura 16 – Sismógrafo

5.15 Clinómetro

Os clinómetros permitiram a medição da variação de inclinação das paredes dos edifícios. Quando possível, estes fornecerão leituras remotamente, sendo constituídos por bases de leitura em bronze, concebidas para garantir o posicionamento preciso e repetitivo do equipamento de leitura (Figura 17).

As bases de leitura serão fixas de forma mecânica e permanente à estrutura, sendo instaladas diretamente, normalmente na vertical, ou soldadas numa chapa em T, de dimensões adequadas para permitir a sua instalação na horizontal em elementos verticais.

O equipamento de leitura será constituído por sensor instalado num elemento em aço inoxidável, permitindo a realização de leituras nas bases instaladas em superfície verticais ou horizontais, através de uma unidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -30°C e +70°C).

O equipamento de leitura possuirá no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura: ± 15° a partir da vertical
- Resolução: 0,0013°
- Precisão: < 0,06% da capacidade máxima de leitura

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

Figura 17 – Clinómetro

5.16 Prisma topográfico de referência

Para garantir a adequada leitura dos vários dispositivos topográficos instalados será necessário posicionar elementos adicionais que constituirão a sua referência. Constituem dispositivos de precisão de leitura ótica, sendo utlizados para a realização de leituras nos eixos X, Y e Z (Figura 18). À semelhança dos anteriores também estes dispositivos têm uma importância crítica na criação de uma rede de instrumentação, pois permitem ter um conjunto de coordenadas de referência invariáveis e não-suscetíveis a deslocamentos. Nesse sentido, a escolha da sua localização deve ser realizada de forma criteriosa.

Procurou-se distribuir este tipo de dispositivos de forma a garantir que possuem alcance até cerca de 200 metros, sendo necessário garantir visibilidade direta entre este elemento e aquele que se pretende ler. Cada dispositivo a ler (prisma topográfico) deverá estar referenciado, no

mínimo, a 3 unidades de referência, de forma a permitir a existência de redundância e consequentemente, o controlo cruzado entre os vários dispositivos.

O prisma ótico encontra-se acoplado a uma haste metálica robusta que será adequadamente fixa à parede do elemento que será considerado como fixo.

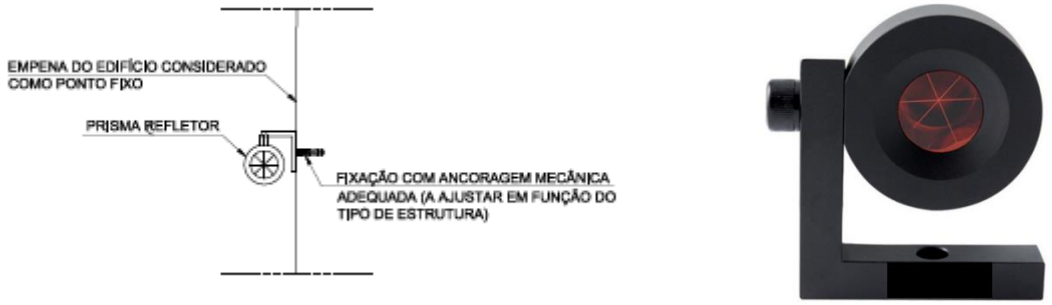


Figura 18 – Prisma topográfico de referência

5.17 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5" e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 19).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

Figura 19 – Estação total robotizada

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 11.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 20).

Figura 20 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 21).

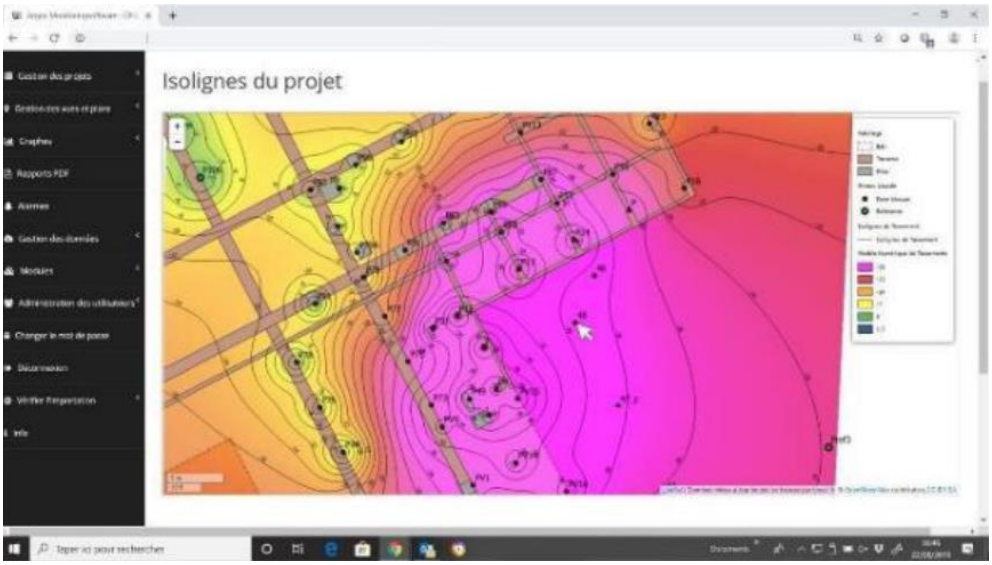


Figura 21 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 22).

Figura 22 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

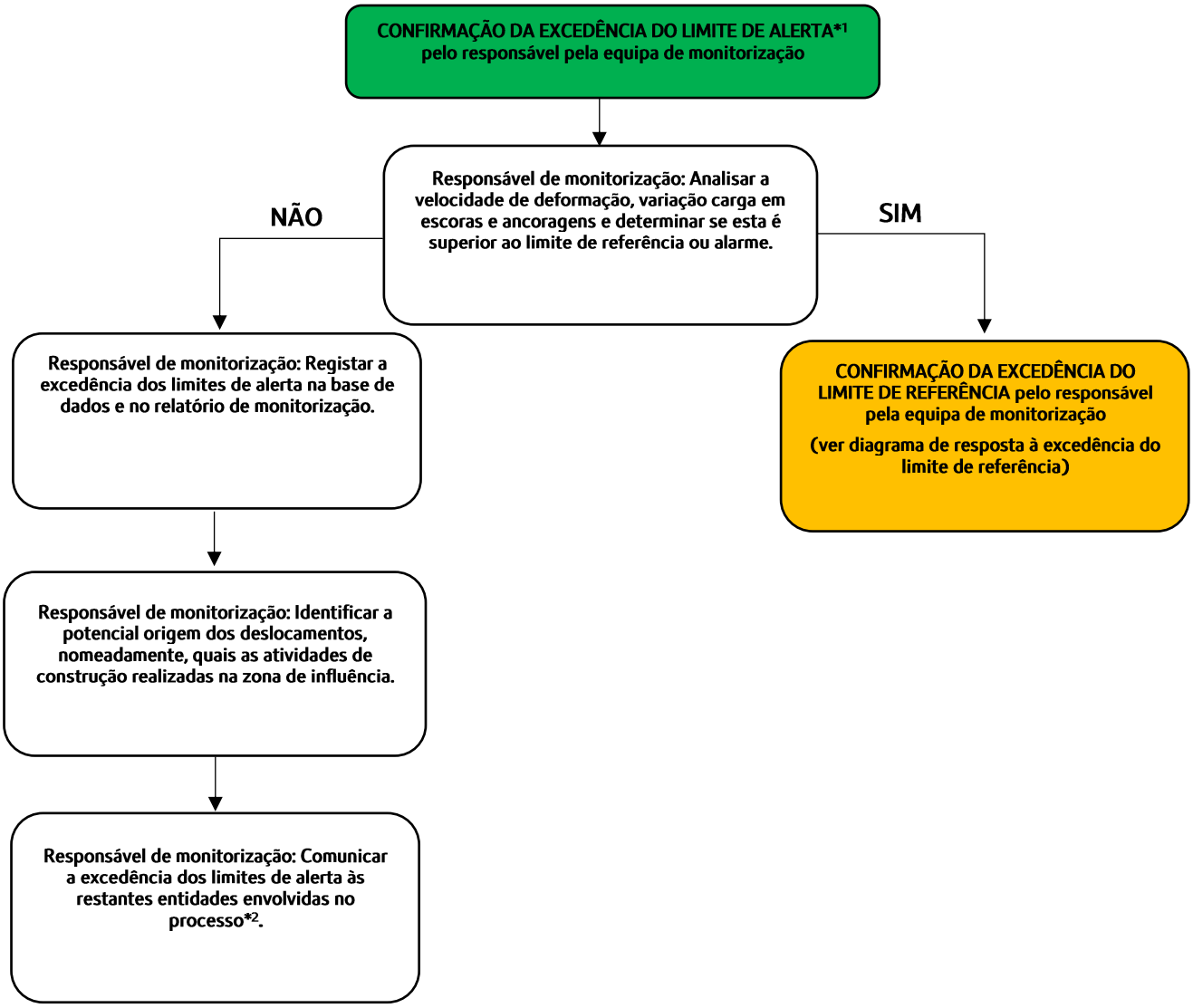
Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 11.2.

11 ANEXOS

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

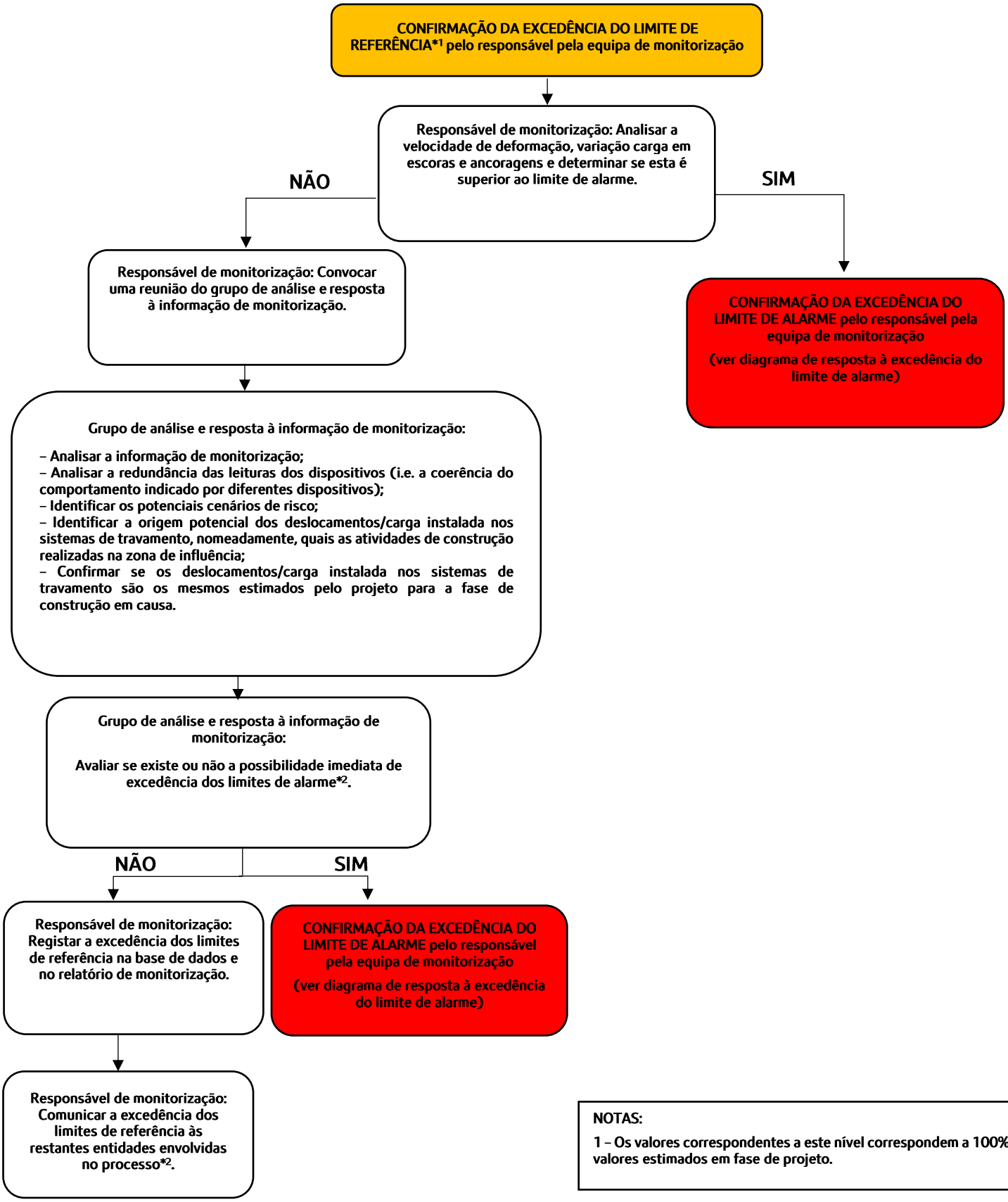
DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- Analisar a informação de monitorização;
- Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);
- Identificar os potenciais cenários de risco;
- Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;
- Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- Quadro A – Túneis NATM

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*3.

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 – As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – Túnel NATM

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Redução da distância de avanço de escavação;
- Aumento da densidade de pregagens de fibra de vidro na frente de escavação;
- Realização de chapéu de enfilagens nos avanços intermédios;
- Realização de furos de drenagem adicionais na frente e/ou nos hasteais;
- Aplicação de betão projetado na frente de escavação;
- Aumento da parcialização da escavação da frente;
- Inclusão de rede electrossoldada entre cambotas;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da frente de escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-10	Emissão inicial

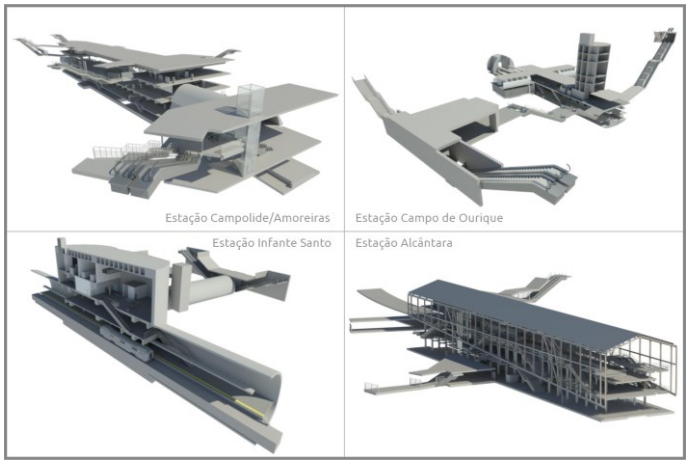
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

PROJETO DE EXECUÇÃO



TOMO VI – POÇOS DE VENTILAÇÃO

VOLUME 40 – PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

POÇO DE VENTILAÇÃO PV217

MEMÓRIA DESCRITIVA

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS PVE PV217 MD 086000 0

	Nome	**Assinatura**	**Data**
Elaborado	André Henriques		2024-10-04
Revisto	Rui Tomásio		2024-10-04
Verificado	Sandra Ferreira/ Gonçalo Mateus		2024-10-04
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-04
Aprovado	Raúl Pistone		2024-10-04

1 OBJETIVO E ÂMBITO 3

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 4

3 GRANDEZAS A MEDIR 6

3.1 Considerações gerais 6
3.2 Escavações a céu aberto 6
3.3 Edificações 6

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 7

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 8

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 8
5.2 Inclinómetros 8
5.3 Piezómetro elétrico 9
5.4 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC 10
5.5 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla 10

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 12

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 13

7.1 Critérios de alerta e alarme 13

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 14

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 16

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 17

11 ANEXOS 18

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 18
11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência 22

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Projeto de Execução**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação,** desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo I do **Volume 40 – Plano de Instrumentação e Observação.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça "dinâmica" e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

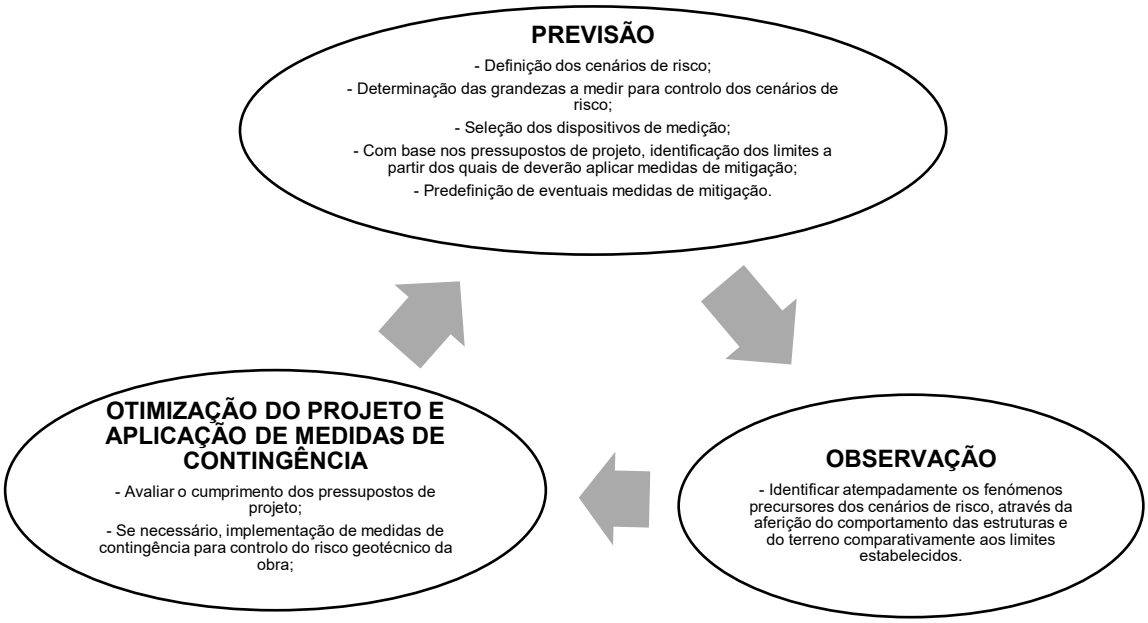


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação.

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência.

Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada à escavação do poço de ventilação PV217.

Para este local, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra.

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
PV217	X	X		X	X									

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

3.1 Considerações gerais

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.

3.2 Escavações a céu aberto

O plano de observação proposto contempla a medição dos deslocamentos, em particular, durante a execução dos trabalhos, à superfície e em profundidade, nomeadamente assentamentos e deslocamentos horizontais. Para este efeito será necessário recorrer à colocação de prismas topográficos e inclinómetros.

A medição da evolução do nível de água será obtida recorrendo a piezómetros.

3.3 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

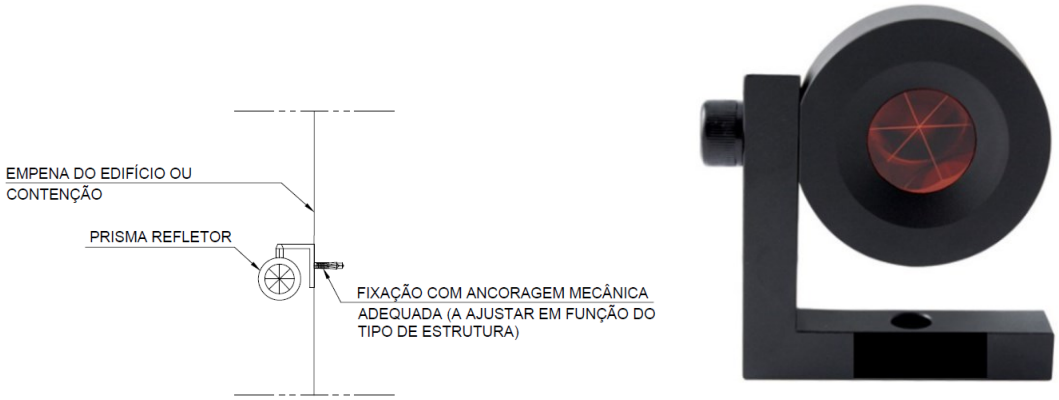


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções.

5.2 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90°. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 3).

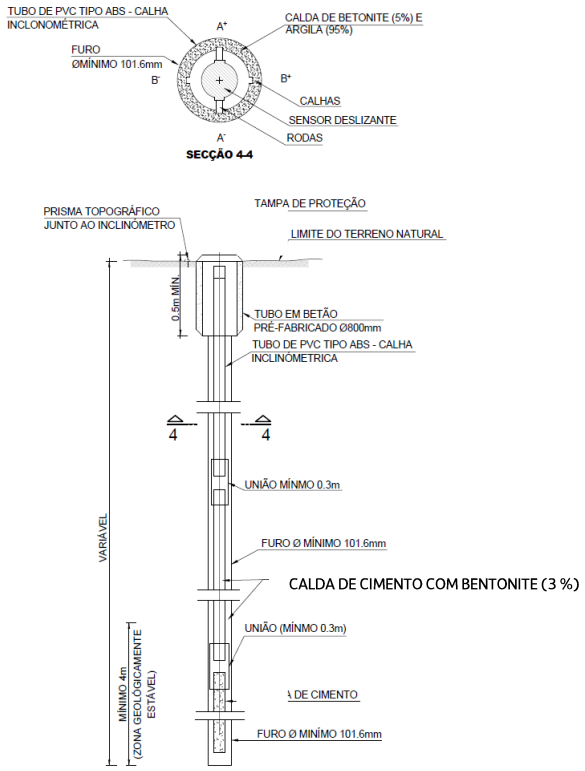


Figura 3 – Inclinómetro.

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.3 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 4).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa

- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

Figura 4 – Piezómetro elétrico com uma câmara.

5.4 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC

Os piezómetros com ponteira do tipo LNEC são um tipo de piezómetro recomendado para medição do nível de água em formações de muito baixa permeabilidade, cuja zona de resposta se localiza na extremidade inferior do piezómetro (ponteira) (Figura 5). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

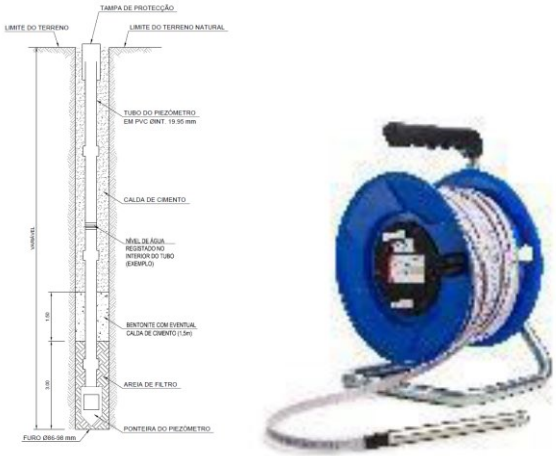


Figura 5 – Piezómetro com ponteira do tipo LNEC

5.5 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla

Os piezómetros do tipo Casagrande permitem a aferição de aquíferos a diferentes profundidades. São constituídos por troços tubos com 75 mm de diâmetro, solidarizados entre si através de uniões exteriores. Na zona onde se pretende efetuar a leitura do nível piezométrico esses tubos apresentam ranhuras com 4,5mm de espessura sendo a sua zona envolvente preenchida com areia (Figura 6). O número de tubos ou zonas de resposta dita a sua designação, ou seja de câmara simples – 1 tubo, câmara dupla – 2 tubos ou de câmara tripla – 3 tubos.

Na sua extremidade esses tubos são envoltos com geotêxtil (Figura 6). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

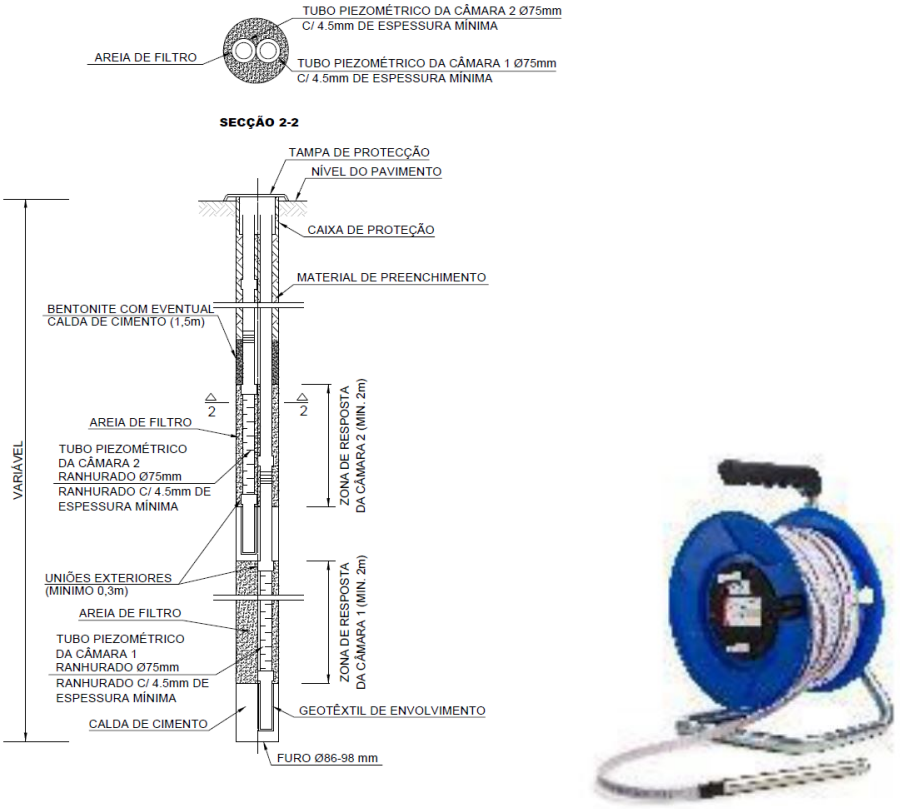


Figura 6 – Piezómetro do tipo Casagrande – Câmara dupla.

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto.

Tabela 1 – Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 11.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 7).

Figura 7 – Interface de acesso aos dados de monitorização.

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 8).

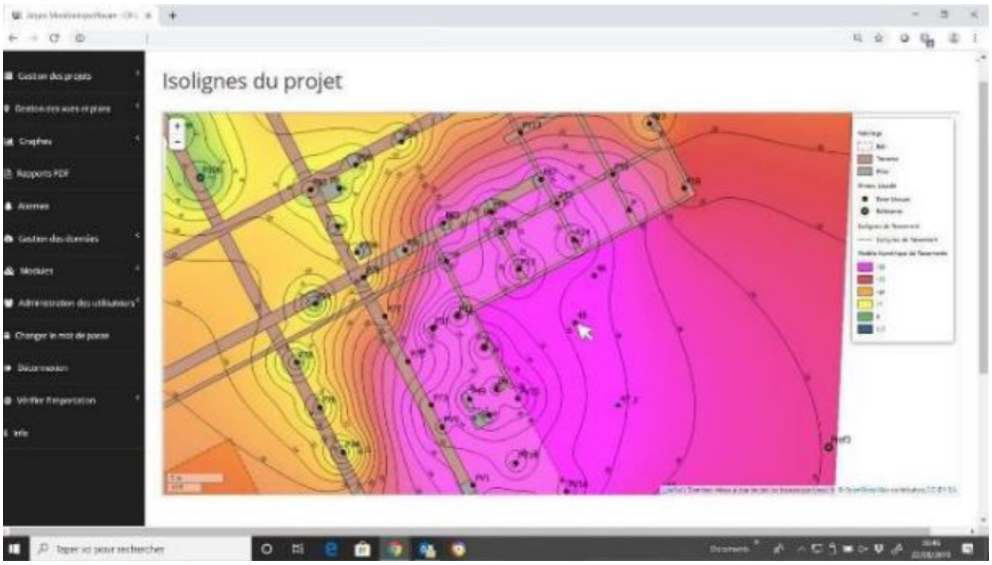


Figura 8 – Processamento de dados de monitorização.

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 9).

Figura 9 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

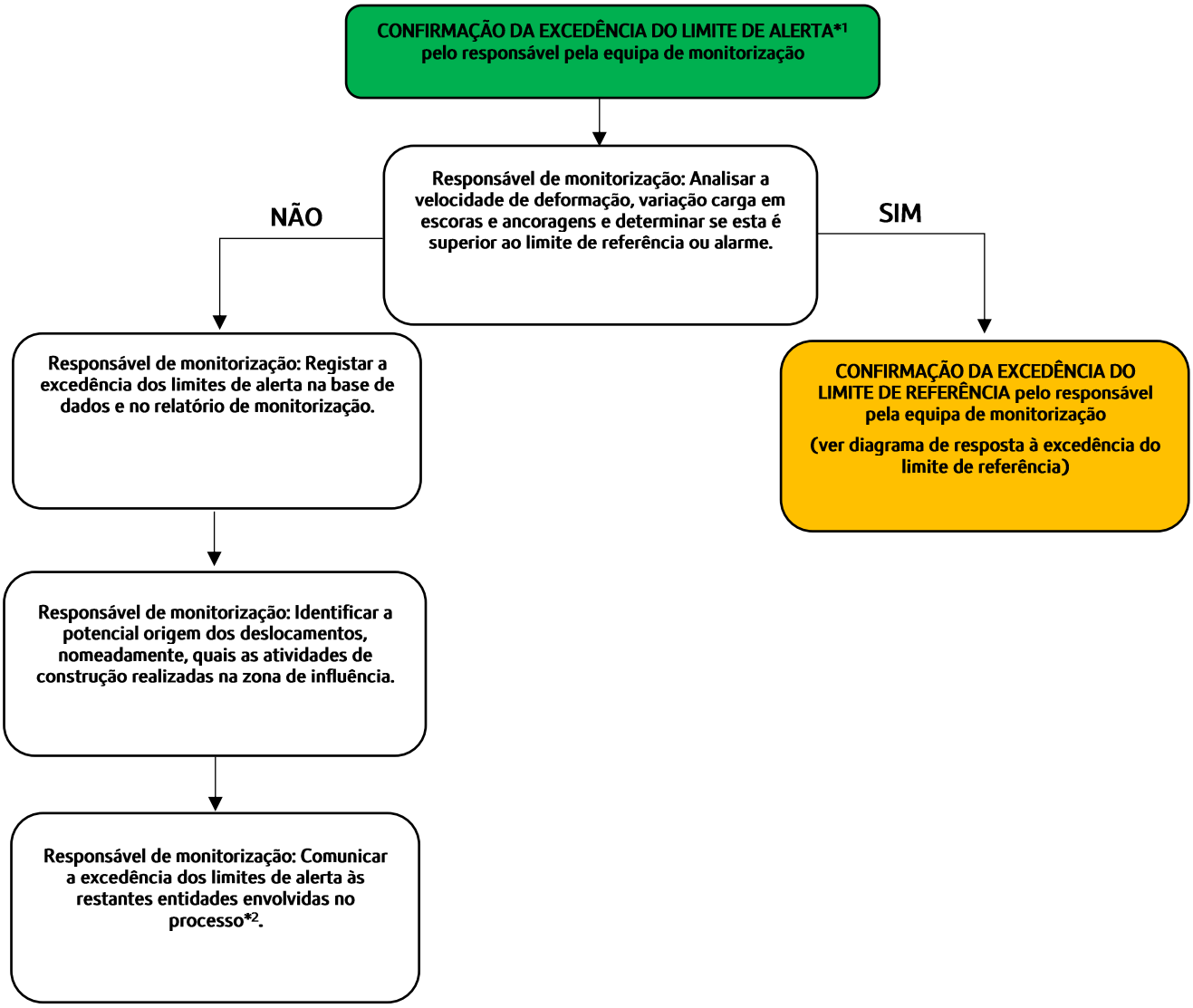
Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 11.2.

11 ANEXOS

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE REFERÊNCIA*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Analisar a velocidade de deformação, variação carga em escoras e ancoragens e determinar se esta é superior ao limite de alarme.

NÃO

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

SIM

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

– Analisar a informação de monitorização;
– Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);
– Identificar os potenciais cenários de risco;
– Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;
– Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de excedência dos limites de alarme*2.

NÃO

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de referência na base de dados e no relatório de monitorização.

SIM

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de referência às restantes entidades envolvidas no processo*2.

NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- Analisar a informação de monitorização;
- Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);
- Identificar os potenciais cenários de risco;
- Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;
- Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- Quadro A – PV217– Escavação a céu aberto

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*3.

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 – As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – PV217 – Escavação a céu aberto

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Limitação da afluência de água por recalçamento da ficha das cortinas;
- Furos de drenagem/alívio de pressão adicionais no fundo da escavação;
- Instalação de escoras metálicas adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Realização de vigas de distribuição adicionais;
- Realização de tratamentos do terreno para redução da percolação de água para o interior da escavação;
- Aterro da escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-04	Emissão inicial

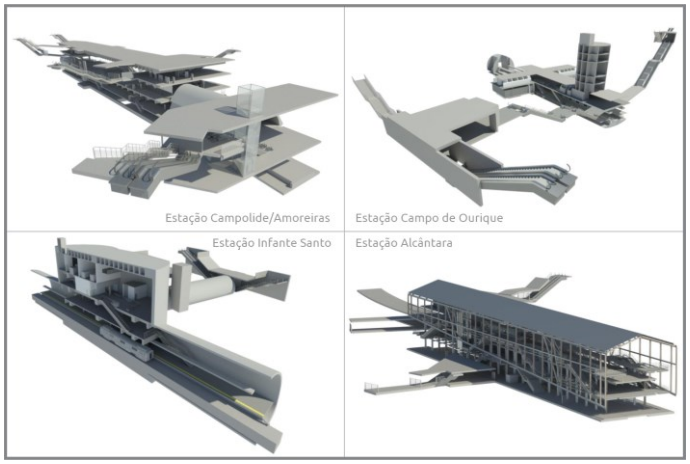
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

PROJETO DE EXECUÇÃO



TOMO VI – POÇOS DE VENTILAÇÃO

VOLUME 40 – PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

POÇO DE VENTILAÇÃO PV215

MEMÓRIA DESCRITIVA

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS PVE PV215 MD 086000 0

	Nome	**Assinatura**	**Data**
Elaborado	André Henriques		2024-10-04
Revisto	Rui Tomásio		2024-10-04
Verificado	Sandra Ferreira/ Gonçalo Mateus		2024-10-04
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-04
Aprovado	Raúl Pistone		2024-10-04

1 OBJETIVO E ÂMBITO 3

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 4

3 GRANDEZAS A MEDIR 6

3.1 Considerações gerais 6
3.2 Escavações a céu aberto 6
3.3 Edificações 6

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 7

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 8

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 8
5.2 Inclinómetros 8
5.3 Piezómetro elétrico 9
5.4 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC 10
5.5 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla 10

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 12

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 13

7.1 Critérios de alerta e alarme 13

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 14

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 16

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 17

11 ANEXOS 18

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 18
11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência 22

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Projeto de Execução**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação,** desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo I do **Volume 40 – Plano de Instrumentação e Observação.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça "dinâmica" e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

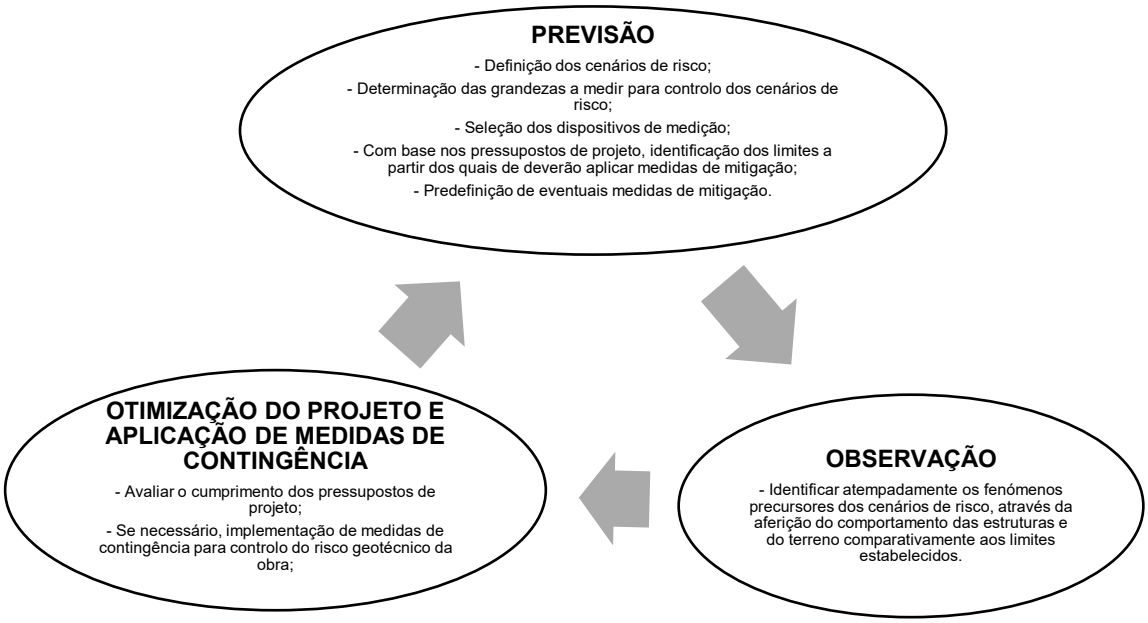


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação.

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência.

Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada à escavação do poço de ventilação PV215.

Para este local, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra.

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
PV215	X	X		X	X									

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

3.1 Considerações gerais

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.

3.2 Escavações a céu aberto

O plano de observação proposto contempla a medição dos deslocamentos, em particular, durante a execução dos trabalhos, à superfície e em profundidade, nomeadamente assentamentos e deslocamentos horizontais. Para este efeito será necessário recorrer à colocação de prismas topográficos e inclinómetros.

A medição da evolução do nível de água será obtida recorrendo a piezómetros.

3.3 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

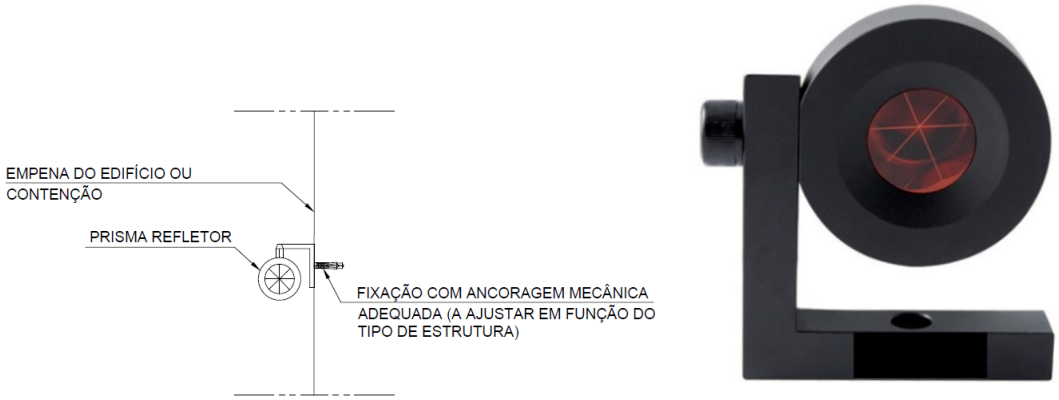


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções.

5.2 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90°. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 3).

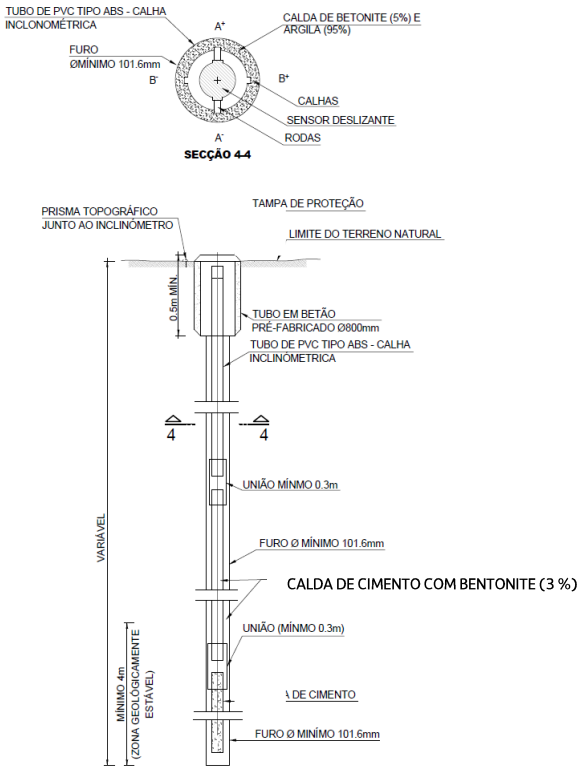


Figura 3 – Inclinómetro.

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.3 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 4).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa

- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

Figura 4 – Piezómetro elétrico com uma câmara.

5.4 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC

Os piezómetros com ponteira do tipo LNEC são um tipo de piezómetro recomendado para medição do nível de água em formações de muito baixa permeabilidade, cuja zona de resposta se localiza na extremidade inferior do piezómetro (ponteira) (Figura 5). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

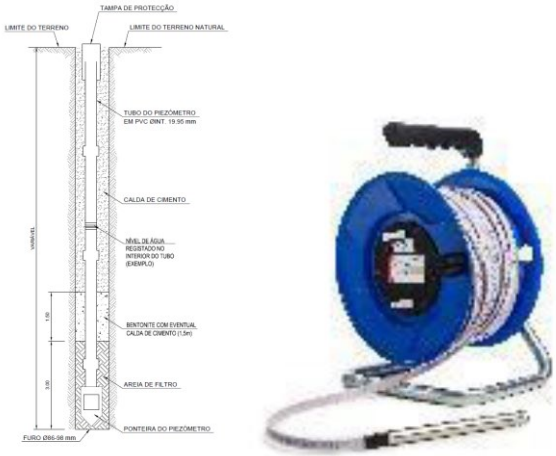


Figura 5 – Piezómetro com ponteira do tipo LNEC

5.5 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla

Os piezómetros do tipo Casagrande permitem a aferição de aquíferos a diferentes profundidades. São constituídos por troços tubos com 75 mm de diâmetro, solidarizados entre si através de uniões exteriores. Na zona onde se pretende efetuar a leitura do nível piezométrico esses tubos apresentam ranhuras com 4,5mm de espessura sendo a sua zona envolvente preenchida com areia (Figura 6) O número de tubos ou zonas de resposta dita a sua designação, ou seja de câmara simples – 1 tubo, câmara dupla – 2 tubos ou de câmara tripla – 3 tubos.

Na sua extremidade esses tubos são envoltos com geotêxtil (Figura 6). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

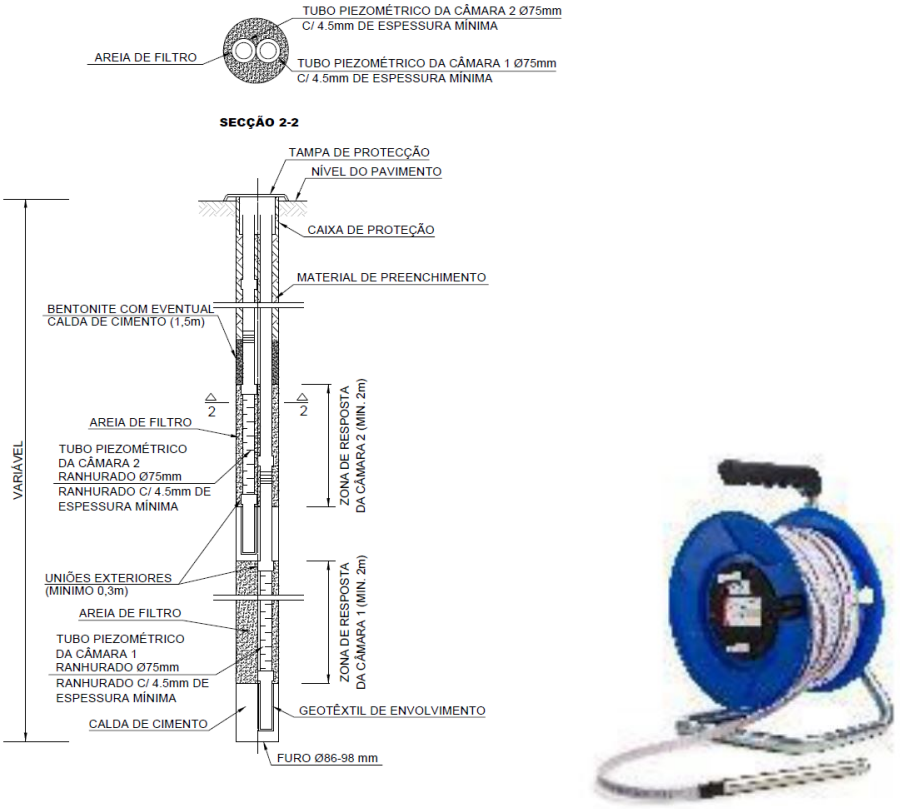


Figura 6 – Piezómetro do tipo Casagrande – Câmara dupla.

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto.

Tabela 1 – Frequência de leituras – Escavações a céu aberto.

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 11.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 7).

Figura 7 – Interface de acesso aos dados de monitorização.

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 8).

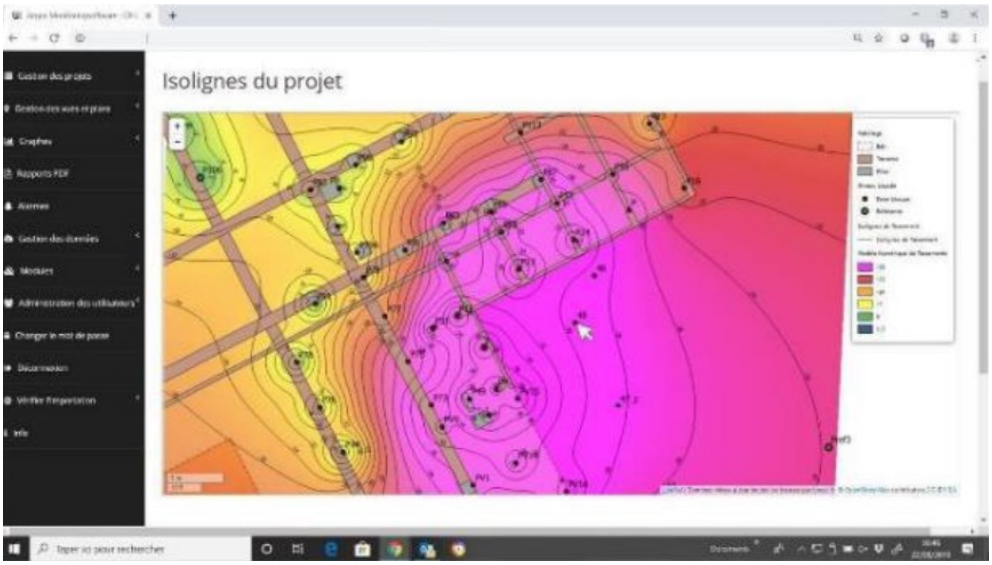


Figura 8 – Processamento de dados de monitorização.

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 9).

Figura 9 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

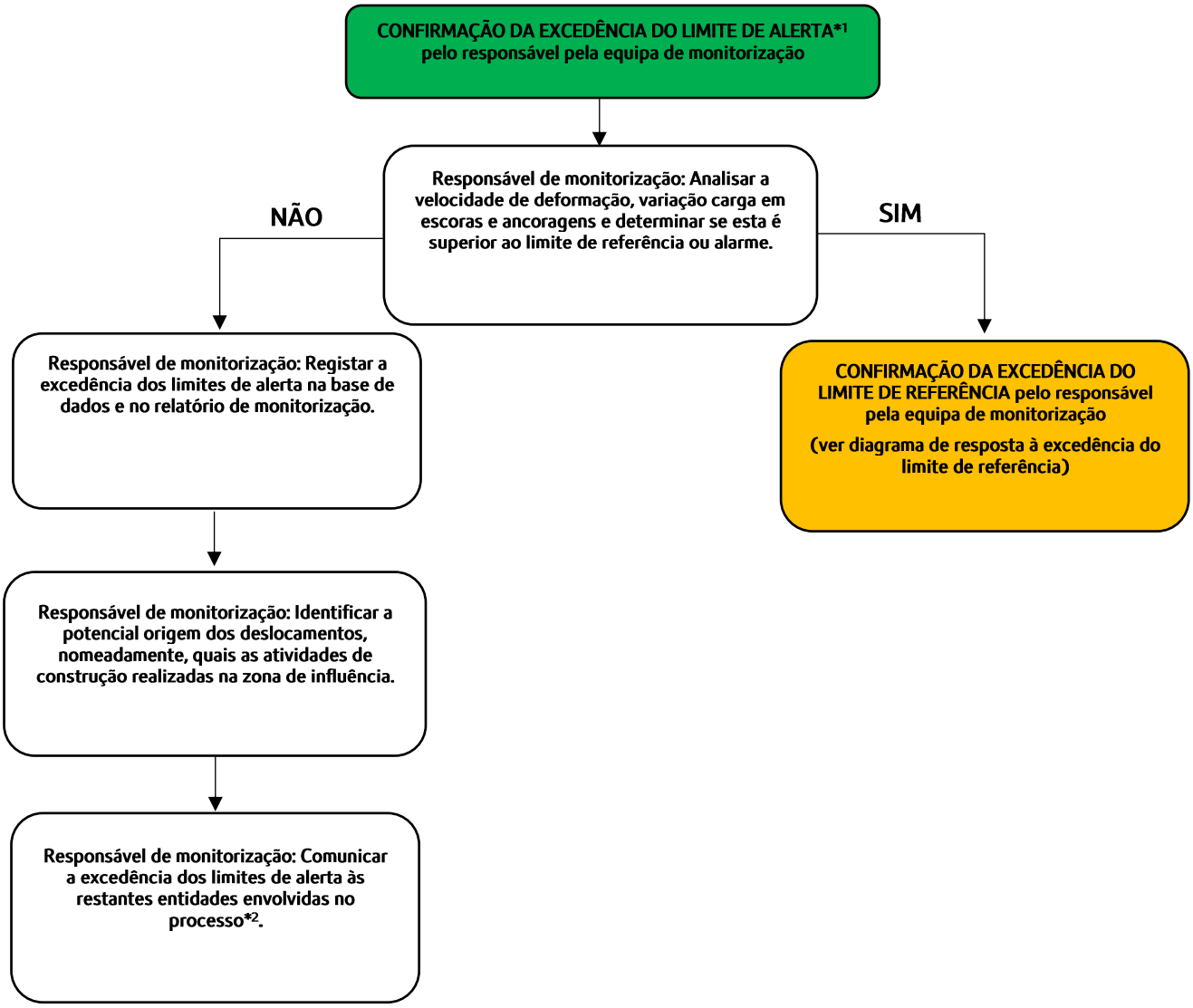
Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 11.2.

11 ANEXOS

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE REFERÊNCIA*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Analisar a velocidade de deformação, variação carga em escoras e ancoragens e determinar se esta é superior ao limite de alarme.

NÃO

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

SIM

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- Analisar a informação de monitorização;
- Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);
- Identificar os potenciais cenários de risco;
- Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;
- Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de excedência dos limites de alarme*2.

NÃO

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de referência na base de dados e no relatório de monitorização.

SIM

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de referência às restantes entidades envolvidas no processo*2.

NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- Analisar a informação de monitorização;
- Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);
- Identificar os potenciais cenários de risco;
- Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;
- Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- Quadro A – PV215– Escavação a céu aberto

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*3.

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 – As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – PV215 – Escavação a céu aberto

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Limitação da afluência de água por recalçamento da ficha das cortinas;
- Furos de drenagem/alívio de pressão adicionais no fundo da escavação;
- Instalação de escoras metálicas adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Realização de vigas de distribuição adicionais;
- Realização de tratamentos do terreno para redução da percolação de água para o interior da escavação;
- Aterro da escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-04	Emissão inicial

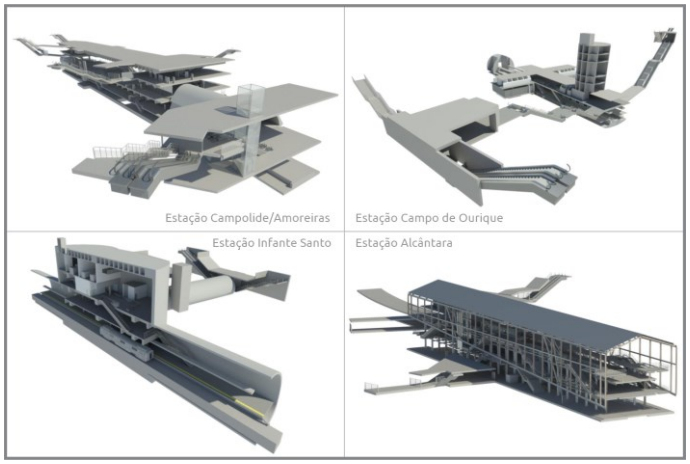
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

PROJETO DE EXECUÇÃO



TOMO I – GERAL

VOLUME 40 – PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

POÇO DE VENTILAÇÃO PV211

MEMÓRIA DESCRITIVA

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS PVE PV211 MD 086000 0

	Nome	**Assinatura**	**Data**
Elaborado	André Henriques		2024-10-04
Revisto	Rui Tomásio		2024-10-04
Verificado	Sandra Ferreira/ Gonçalo Mateus		2024-10-04
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-04
Aprovado	Raúl Pistone		2024-10-04

1 OBJETIVO E ÂMBITO 3

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 4

3 GRANDEZAS A MEDIR 6

3.1 Considerações gerais 6
3.2 Escavações subterrâneas 6
3.3 Escavações a céu aberto 6
3.4 Edificações 6

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 8

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 9

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 9
5.2 Inclinómetros 9
5.3 Piezómetro elétrico 10
5.4 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC 11
5.5 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla 11
5.6 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas 12

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 14

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 16

7.1 Critérios de alerta e alarme 16

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 17

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 19

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 20

11 ANEXOS 21

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 21
11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência 25

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Projeto de Execução**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação,** desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo **I** do **Volume 40 – Plano de Instrumentação e Observação.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça "dinâmica" e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

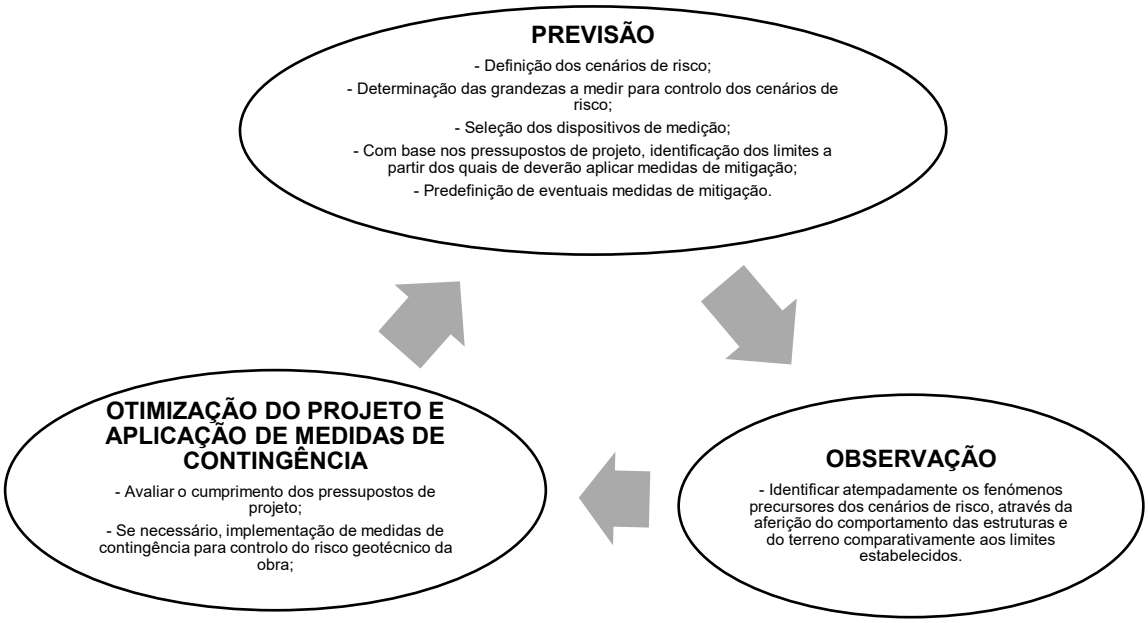


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência.

Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada à escavação do poço de ventilação PV211.

Para este local, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra.

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
PV211	X	X		X	X					X				

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

3.1 Considerações gerais

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais e convergências no interior de galerias subterrâneas recorrendo a prismas topográficos.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.

3.2 Escavações subterrâneas

A avaliação da evolução do comportamento das obras subterrâneas será realizada através do registo dos deslocamentos do terreno e observação de eventuais fissurações no revestimento primário. Para tal serão criadas secções de medição de convergências e deslocamentos, onde serão instalados, em geral, 3 prismas para secções cuja maior dimensão seja menor ou igual a 10 m e 5 prismas para secções com a maior dimensão superior a 10 m. Para a secções com 3 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 1 em cada hasteal, que permitirão para além dos deslocamentos nesses pontos, o controlo de 3 cordas diferentes. Para a secções com 5 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 2 em cada hasteal, acima e abaixo do eixo da galeria, que permitirão o controlo de 6 cordas diferentes.

No terreno e à superfície serão executados extensómetros multiponto, inclinómetros e prismas topográficos no pavimento, em carris e em edifícios.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, para além dos deslocamentos será também avaliada a variação/presença de água através da instalação de piezómetros.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes. Quando necessário, assumem particular destaque aos drenos longitudinais realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

3.3 Escavações a céu aberto

O plano de observação proposto contempla a medição dos deslocamentos, em particular, durante a execução dos trabalhos, à superfície e em profundidade, nomeadamente assentamentos e deslocamentos horizontais. Para este efeito será necessário recorrer à colocação de prismas topográficos e inclinómetros.

A medição da evolução do nível de água será obtida recorrendo a piezómetros.

3.4 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (**Figura *2***).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

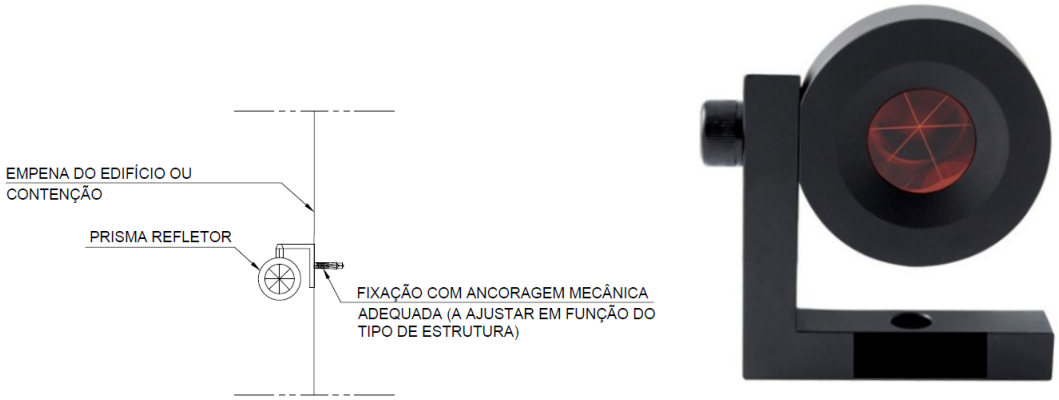


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções.

5.2 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90°. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

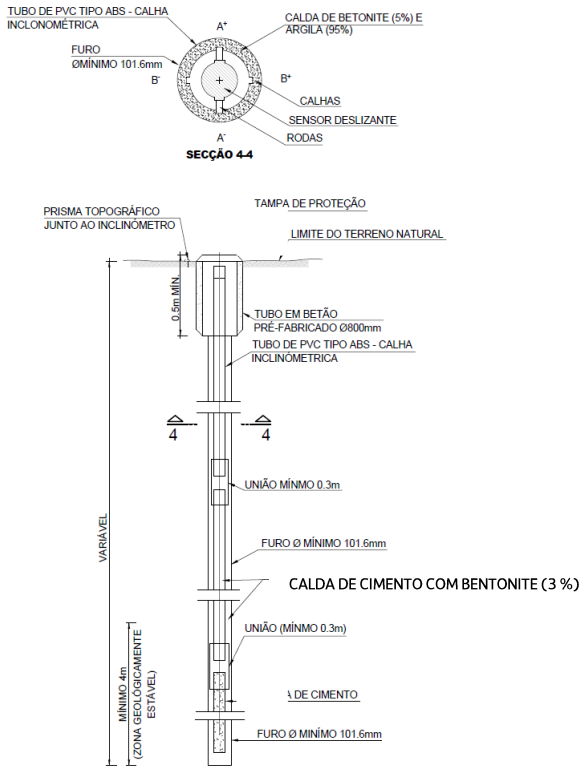


Figura 3 – Inclinómetro.

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.3 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (**Figura *4***).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa

- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

Figura 4 – Piezómetro elétrico com uma câmara.

5.4 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC

Os piezómetros com ponteira do tipo LNEC são um tipo de piezómetro recomendado para medição do nível de água em formações de muito baixa permeabilidade, cuja zona de resposta se localiza na extremidade inferior do piezómetro (ponteira) (**Figura *5***). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

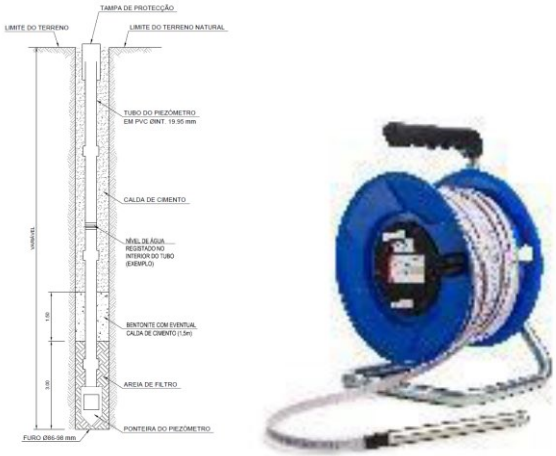


Figura 5 – Piezómetro com ponteira do tipo LNEC

5.5 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla

Os piezómetros do tipo Casagrande permitem a aferição de aquíferos a diferentes profundidades. São constituídos por troços tubos com 75 mm de diâmetro, solidarizados entre si através de uniões exteriores. Na zona onde se pretende efetuar a leitura do nível piezométrico esses tubos apresentam ranhuras com 4,5mm de espessura sendo a sua zona envolvente preenchida com areia (**Figura *6*** – piezómetro duplo). O número de tubos ou zonas de resposta dita a sua

designação, ou seja de câmara simples – 1 tubo, câmara dupla – 2 tubos ou de câmara tripla – 3 tubos.

Na sua extremidade esses tubos são envoltos com geotêxtil (**Figura *6***). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

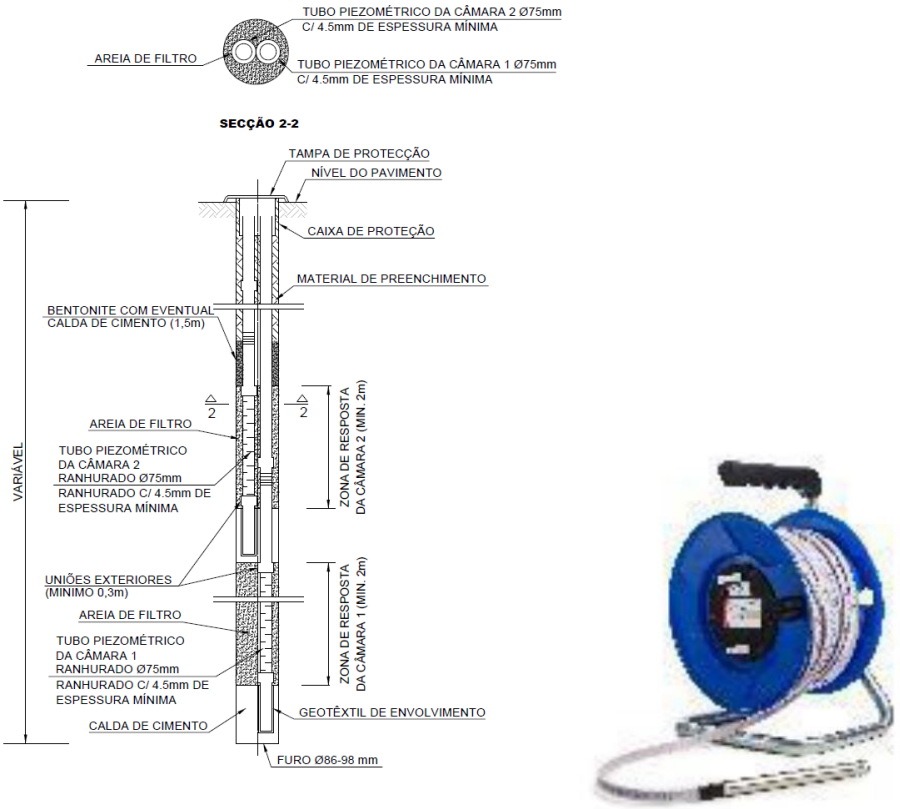


Figura 6 – Piezómetro do tipo Casagrande – Câmara dupla.

5.6 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas

Face aos condicionamentos associados à necessidade de monitorizar as galerias subterrâneas durante a sua execução, a medição das convergências será materializada recorrendo a elemento ótico que permitirá, em condições mais adversas obter com maior precisão leituras de deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A instalação destes dispositivos de forma sistemática e em vários pontos de leitura em seção transversal de cada galeria a executar, permitirá ler não só os deslocamentos do ponto monitorizado, mas também criar secções de medição de convergências, através do controlo de diferentes cordas.

O sistema de fixação destes dispositivos é mecânico e deverá ser realizado ao betão projetado do suporte primário (através de resina epóxi ou de calda de cimento de presa rápida). Na sua extremidade visível a barra é roscada, de forma a permitir acoplar o prisma (**Figura *7***).

A sua colocação não deverá ultrapassar o primeiro dia após a realização total do suporte primário. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

De modo a permitir a instalação dos prismas o mais rápido possível, antes que a espessura total do suporte primário esteja aplicada, serão utilizados dispositivos de proteção da fixação que

permitirão proteger o elemento de fixação do prisma durante a aplicação das sucessivas camadas de betão projetado (**Figura 7**).

Figura 7 – Prisma de convergência.

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 – Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 – Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 11.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (**Figura *8***).

Figura 8 – Interface de acesso aos dados de monitorização.

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (**Figura *9***).

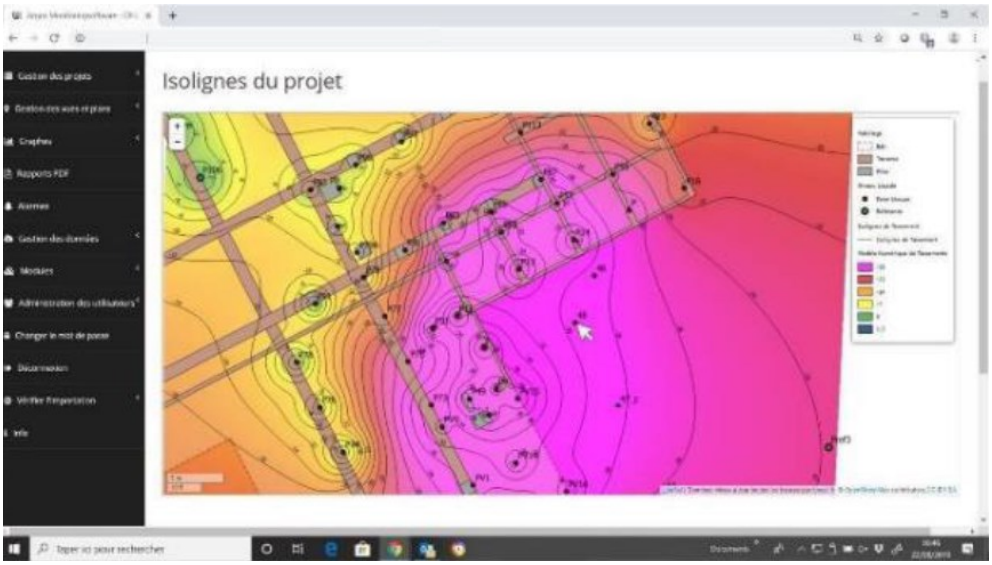


Figura 9 – Processamento de dados de monitorização.

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (**Figura *10***).

Figura 10 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

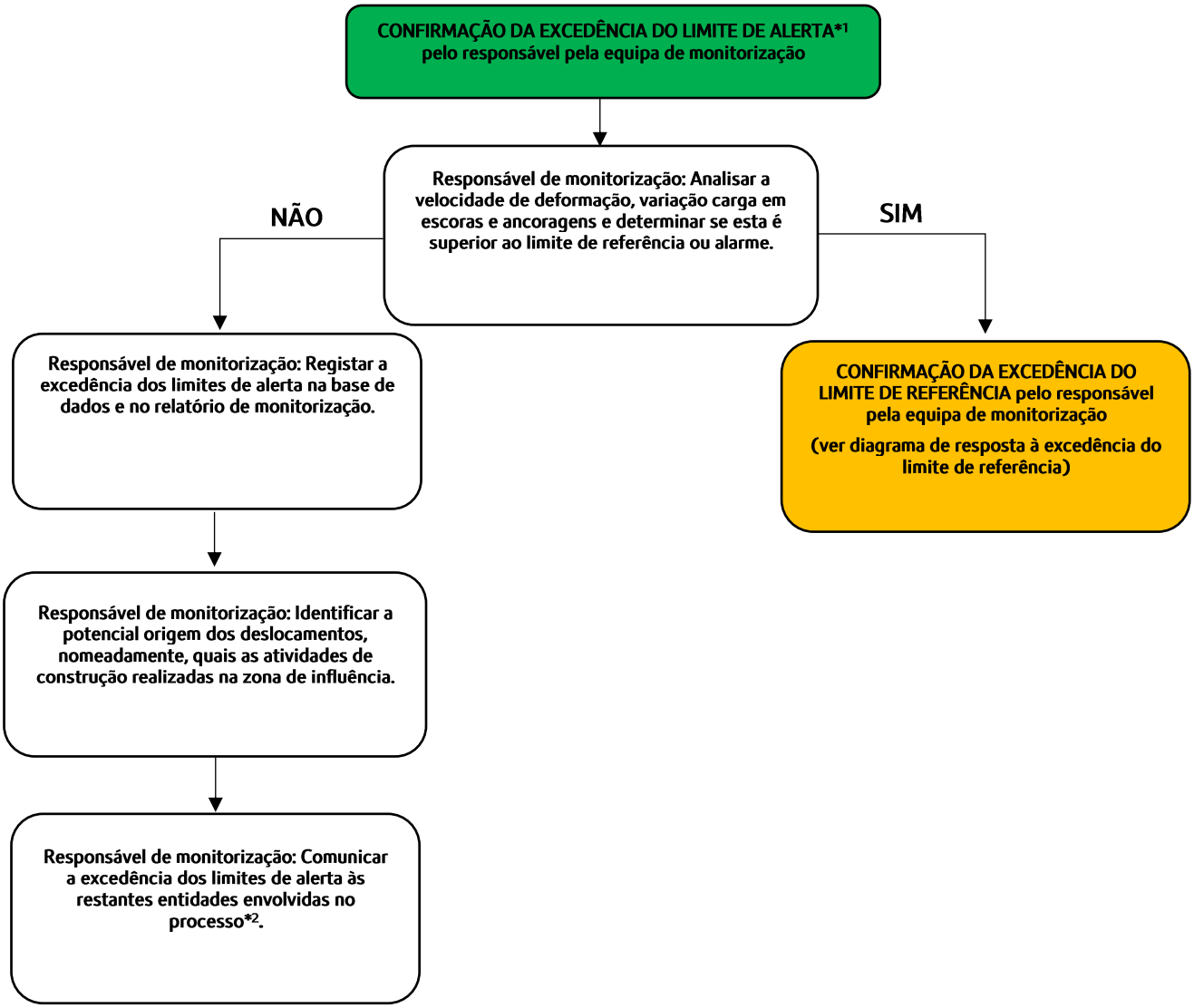
Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 11.2.

11 ANEXOS

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE REFERÊNCIA*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Analisar a velocidade de deformação, variação carga em escoras e ancoragens e determinar se esta é superior ao limite de alarme.

NÃO

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

SIM

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- Analisar a informação de monitorização;
- Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);
- Identificar os potenciais cenários de risco;
- Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;
- Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de excedência dos limites de alarme*2.

NÃO

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de referência na base de dados e no relatório de monitorização.

SIM

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME pelo responsável pela equipa de monitorização

(ver diagrama de resposta à excedência do limite de alarme)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de referência às restantes entidades envolvidas no processo*2.

NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- Analisar a informação de monitorização;
- Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);
- Identificar os potenciais cenários de risco;
- Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;
- Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- Quadro A – PV211 – Galerias subterrâneas
- Quadro B – PV211– Escavação a céu aberto

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*3.

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 – As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – PV211 – Galerias subterrâneas

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Redução da distância de avanço de escavação;
- Aumento da densidade de pregagens de fibra de vidro na frente de escavação;
- Realização de chapéu de enfilagens nos avanços intermédios;
- Realização de furos de drenagem adicionais na frente e/ou nos hasteais;
- Aplicação de betão projetado na frente de escavação;
- Aumento da parcialização da escavação da frente;
- Inclusão de rede electrossoldada entre cambotas;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da frente de escavação.

Quadro B – PV211 – Escavação a céu aberto

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Limitação da afluência de água por recalçamento da ficha das cortinas;
- Furos de drenagem/alívio de pressão adicionais no fundo da escavação;
- Instalação de escoras metálicas adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Realização de vigas de distribuição adicionais;
- Realização de tratamentos do terreno para redução da percolação de água para o interior da escavação;
- Aterro da escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-04	Emissão inicial

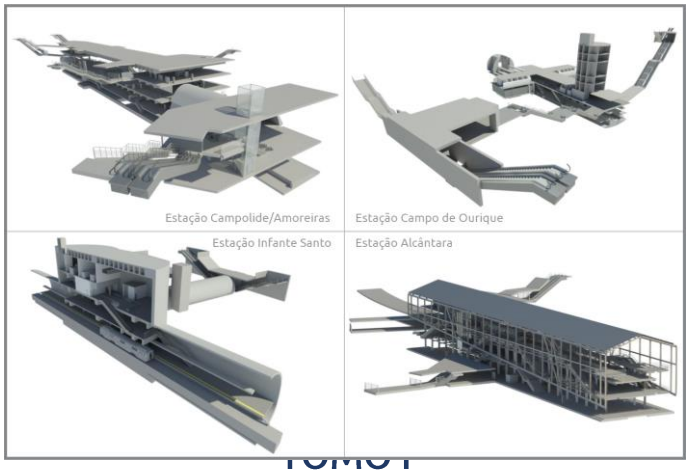
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

PROJETO DE EXECUÇÃO



TOMO I

VOLUME 40 – ESTAÇÃO INFANTE SANTO

PLANO DE OBSERVAÇÃO

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS EST IS MD 084001 0

	Nome	Assinatura	Data
Elaborado	Francisco Bernardo Pedro Nogueira		2024-10-10
Revisto	Sandra Ferreira		2024-10-10
Verificado	Rui Rodrigues		2024-10-10
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-10
Aprovado			

	Nome	Assinatura	Data
Gestor Projeto	Raúl Pistone		2024-10-10

Índice

1 OBJETIVO E ÂMBITO 5

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 6

3 GRANDEZAS A MEDIR 9

3.1 Escavações subterrâneas 9
3.2 Escavações a céu aberto 10
3.3 Edificações 10
4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 11

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 11

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 11
5.2 Prisma topográfico para pavimento 12
5.3 Extensómetro multiponto 12
5.4 Inclinómetros 14
5.5 Sensor de nível líquido 15
5.6 Piezómetro elétrico 15
5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC 16
5.8 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla 17
5.9 Prisma topográfico para carril 18
5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* 19
5.11 Fissurómetros 19
5.12 Células de carga 20
5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas 21
5.14 Sismógrafo 22
5.15 Clinómetro 24
5.16 Prisma topográfico de referência 24
5.17 Estação total robotizada 25
6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 26

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 29

7.1 Critérios de alerta e alarme 29
8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 30

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 32

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 32

11 ANEXOS 33

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 33

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência 37

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Anteprojeto**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação,** desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo **V** do **Volume 3 – EST IS.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça "dinâmica" e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

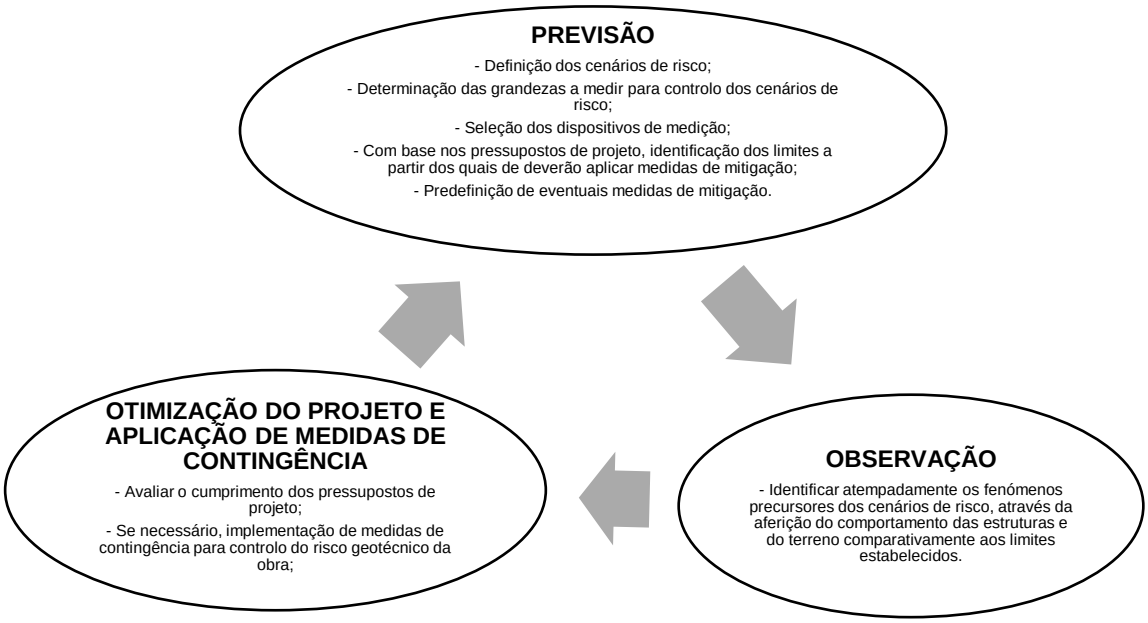


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência.

Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada à Estações Infante Santo. Os sistemas de observação preconizados têm em consideração as diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para a frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
Estação Infante Santo	X	X	X	X		X	X			X	X	X	X		X	X

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais e convergências no interior de galerias subterrâneas recorrendo a prismas topográficos.
- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros.
- Medição da abertura de fendas em edifícios, utilizando fissurómetros.
- Medições de deslocamentos verticais internos do maciço e à superfície, com extensómetros multiponto.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições de deslocamentos verticais e horizontais nos pavimentos e carris utilizando prismas de pavimento e de carris.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.
- Medições de deslocamentos axiais de elementos estruturais recorrendo a extensómetros (tipo *strain gauges*).
- Medição de deslocamentos de precisão na estrutura interior de edifícios, utilizando sensores de nível liquido.

3.1 Escavações subterrâneas

A avaliação da evolução do comportamento das obras subterrâneas será realizada através do registo dos deslocamentos do terreno e observação de eventuais fissurações no revestimento primário. Para tal serão criadas secções de medição de convergências e deslocamentos, onde serão instalados, em geral, 3 prismas para secções cuja maior dimensão seja menor ou igual a 10 m e 5 prismas para secções com a maior dimensão superior a 10 m. Para a secções com 3 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 1 em cada hasteal, que permitirão para além dos deslocamentos nesses pontos, o controlo de 3 cordas diferentes. Para a secções com 5 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 2 em cada hasteal, acima e abaixo do eixo da galeria, que permitirão o controlo de 6 cordas diferentes.

No terreno e à superfície serão executados extensómetros multiponto, inclinómetros e prismas topográficos no pavimento, em carris e em edifícios.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, para além dos deslocamentos será também avaliada a variação/presença de água através da instalação de piezómetros.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes. Quando necessário, assumem particular destaque aos drenos longitudinais realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

3.2 Escavações a céu aberto

O plano de observação proposto contempla a medição dos deslocamentos, em particular, durante a execução dos trabalhos, à superfície e em profundidade, nomeadamente assentamentos e deslocamentos horizontais. Para este efeito será necessário recorrer à colocação de prismas topográficos e inclinómetros. A força nos escoramentos metálicos será controlada através de extensómetros (*strain–gauge*), posicionados em redundância em cada seção.

A evolução da tração instalada nas ancoragens será medida recorrendo a células de carga.

A medição da evolução do nível de água será obtida recorrendo a piezómetros.

3.3 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

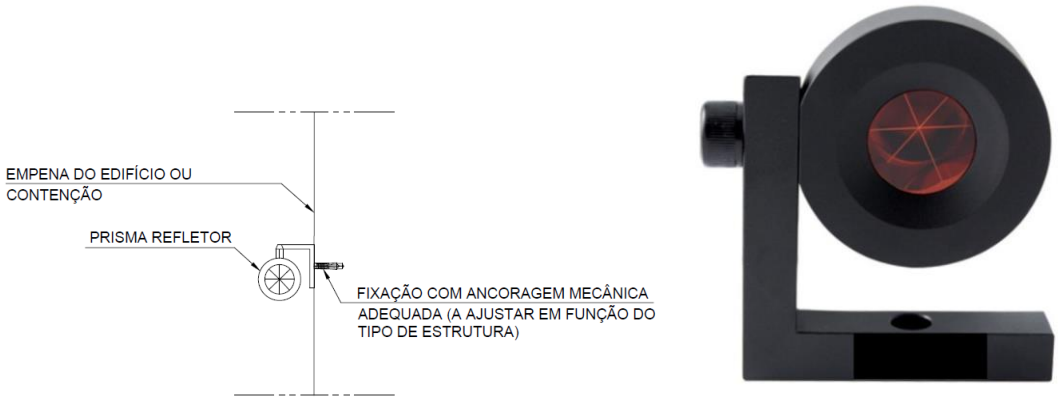


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Prisma topográfico para pavimento

Os prismas topográficos para pavimento consistem num elemento adequadamente fixo ao pavimento com elevada resistência ao tráfego pedonal e rodoviário, materializado por meio de uma placa metálica que permite a realização leituras dos deslocamentos verticais.

As leituras serão efetuadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

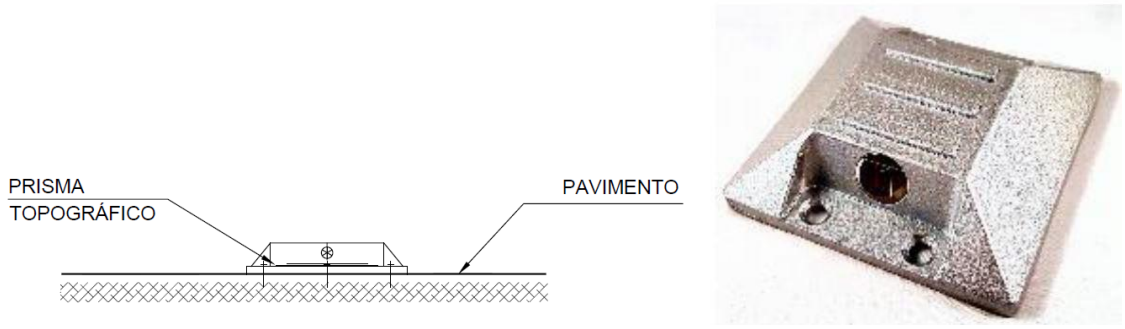


Figura 3 - Prisma topográfico para pavimento

5.3 Extensómetro multiponto

Os extensómetros permitem o controlo dos deslocamentos verticais em profundidade e encontram-se definidos nas seções de monitorização onde também estão previstas medições de deslocamentos e convergências no interior das galerias subterrâneas (Figura 4).

Os extensómetros terão 1 ou 2 ancoragens fixadas a diferentes profundidades. O sensor de deslocamento deverá ser do tipo corda vibrante dotado com sensor de temperatura.

Do conjunto deste dispositivo deverá fazer parte integrante:

- Barras/varas em aço inoxidável ou fibra de vidro
- Ancoragem (injetável com calda de cimento ou tipo *packer*)
- Bainha de encamisamento das barras/varas
- Cabeça de referência do elétrico

O extensómetro será instalado em furo previamente executado de diâmetro, no mínimo, de Ø76 mm (furação destrutiva), que terá um comprimento superior à profundidade de instalação de cerca de 1,00 m.

As cabeças dos extensómetros deverão ser equipadas com um prisma topográfico que permita obter as leituras à superfície. Aos valores das leituras das ancoragens deverão ser adicionados os assentamentos de superfície obtidos através dos prismas.

Os componentes serão montados de acordo às indicações do fabricante e instalados no furo nas cotas previstas função do seu comprimento total. Existirá uma ancoragem na extremidade correspondente à base do furo e uma segunda a 1/3 do seu comprimento total.

Uma vez finalizado o posicionamento do dispositivo, proceder-se-á a sua selagem por meio de calda de cimento.

As cabeças dos extensómetros serão protegidas por caixas com tampas metálicas adequadas.

O dispositivo será de leitura elétrica, o sensor de deslocamento ou transdutor, será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20°C e +80°C), possuindo no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura ≥ 100mm
- Precisão < 0,30% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,0066% da capacidade de leitura

O dispositivo será calibrado antes de ser utilizado e as leituras serão realizadas a partir da superfície. Após a realização da medição, os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

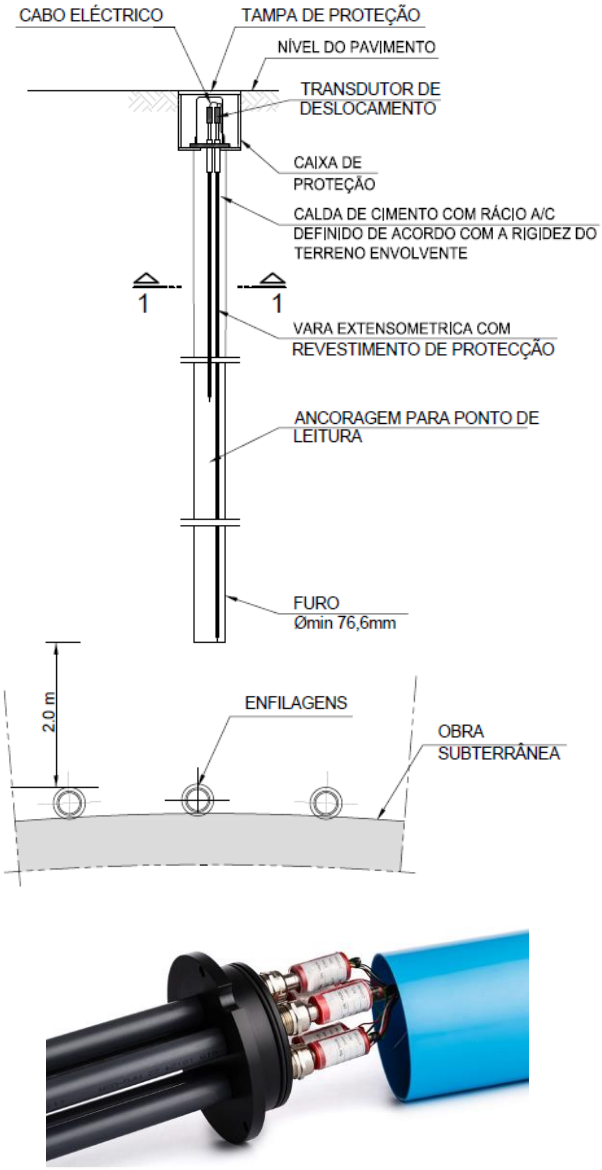


Figura 4 – Extensómetro multiponto

5.4 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90°. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

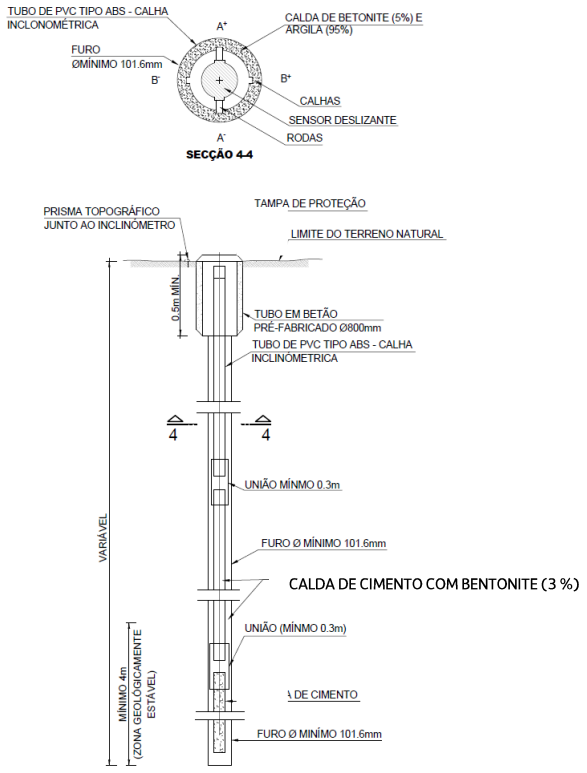


Figura 5 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.5 Sensor de nível líquido

O sensor de nível líquido permite medir deslocamentos diferenciais e totais entre diversos pontos de uma estrutura. É constituído por um conjunto de sensores de elevada precisão que medem continuamente a variação de nível de um líquido num circuito fechado. O conjunto de sensores encontra-se ligado a um depósito que constitui o nível de referência do sistema (Figura 6). Os deslocamentos totais podem ser obtidos através da soma dos deslocamentos diferenciais com os deslocamentos totais do nível de referência, no caso de este último estar sujeito a movimentos.

As leituras serão realizadas automaticamente e enviadas para a base de dados de monitorização.

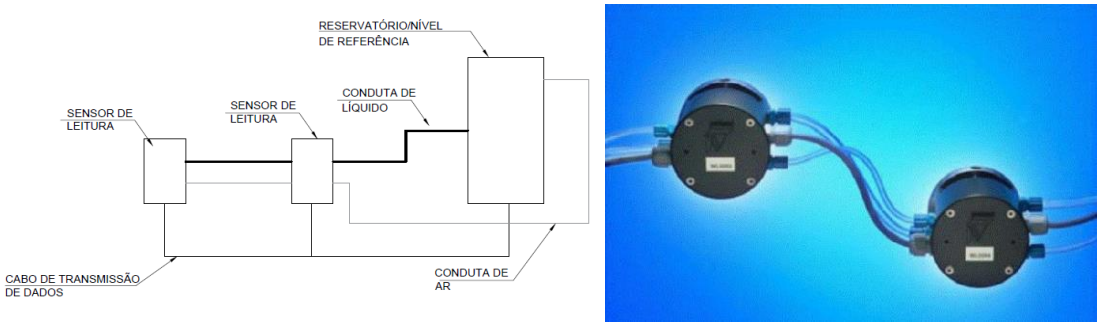


Figura 6 – Sensor de nível líquido

5.6 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 7).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa
- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

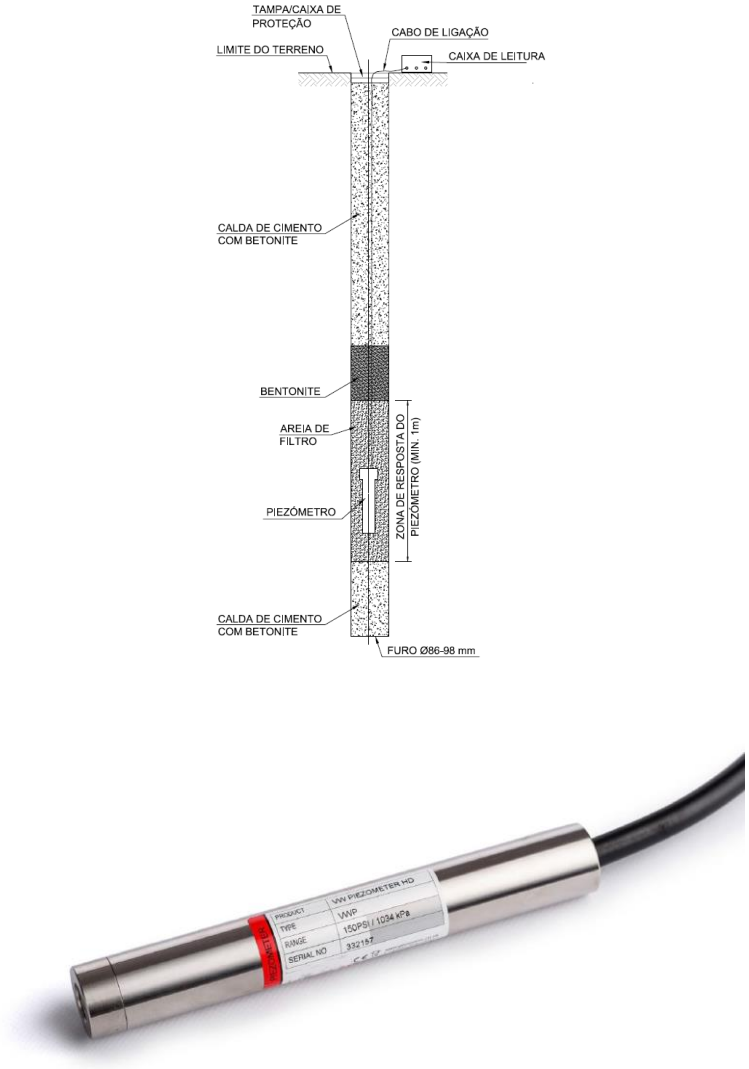


Figura 7 - Piezómetro elétrico com uma câmara

5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC

Os piezómetros com ponteira do tipo LNEC são um tipo de piezómetro recomendado para medição do nível de água em formações de muito baixa permeabilidade, cuja zona de resposta se localiza na extremidade inferior do piezómetro (ponteira) (Figura 8). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

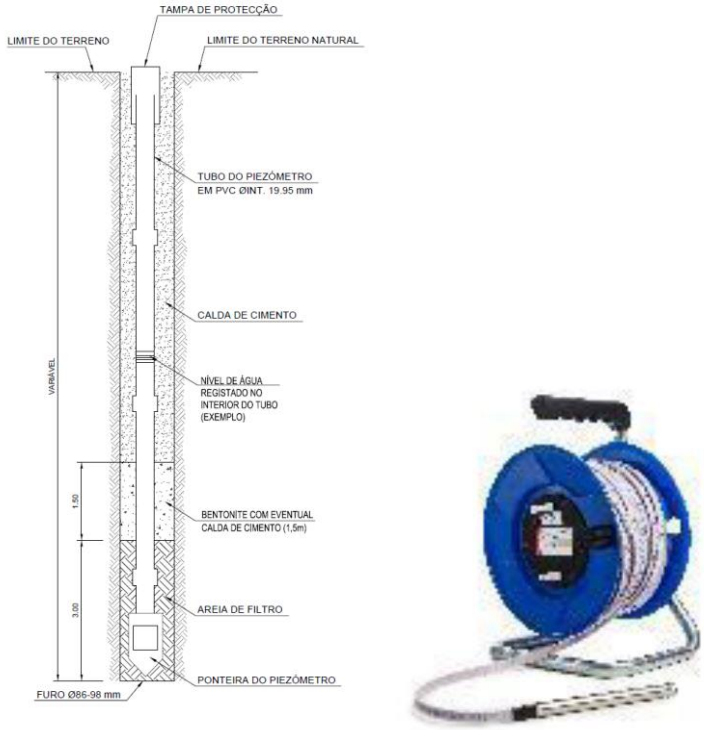


Figura 8 - Piezómetro com ponteira do tipo LNEC

5.8 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla

Os piezómetros do tipo Casagrande permitem a aferição de aquíferos a diferentes profundidades. São constituídos por troços tubos com 75 mm de diâmetro, solidarizados entre si através de uniões exteriores. Na zona onde se pretende efetuar a leitura do nível piezométrico esses tubos apresentam ranhuras com 4,5mm de espessura sendo a sua zona envolvente preenchida com areia (Figura 9 – piezómetro duplo). O número de tubos ou zonas de resposta dita a sua designação, ou seja de câmara simples – 1 tubo, câmara dupla – 2 tubos ou de câmara tripla – 3 tubos.

Na sua extremidade esses tubos são envoltos com geotêxtil (Figura 9). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

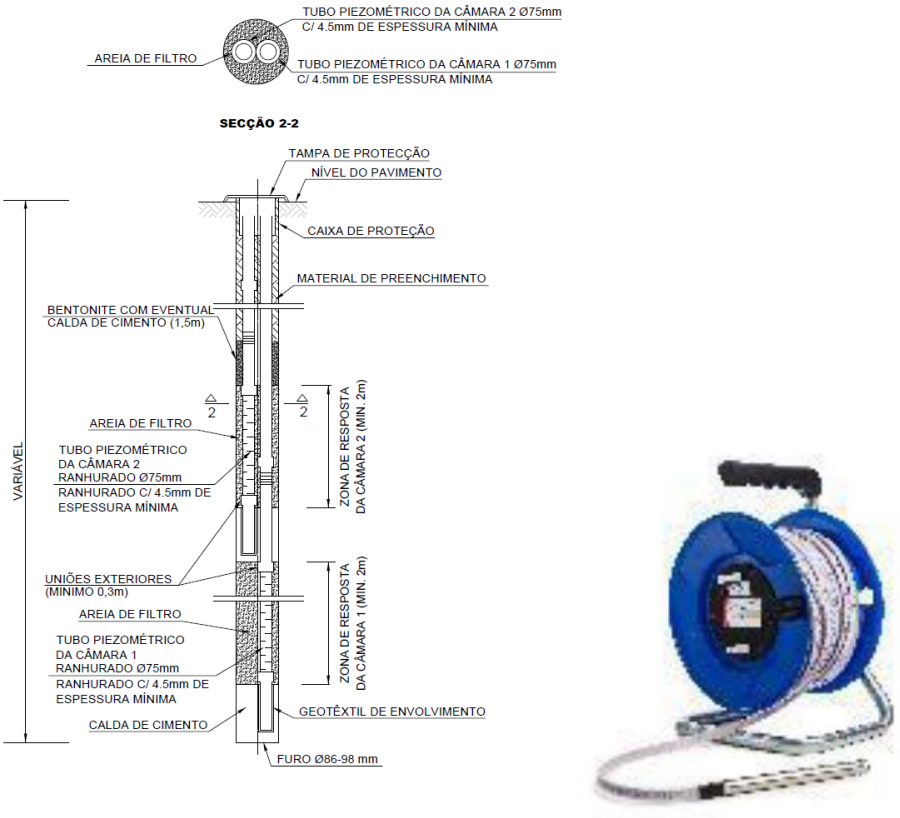


Figura 9 - Piezómetro do tipo Casagrande – Câmara dupla

5.9 Prisma topográfico para carril

Os prismas topográficos para carril, consistem num prisma instalado nas travessas das linhas do comboio da IP (Figura 10) ou num prisma para pavimento fixo entre os carris para as linhas da Carris (Figura 11). Este elementos permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X,Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada.

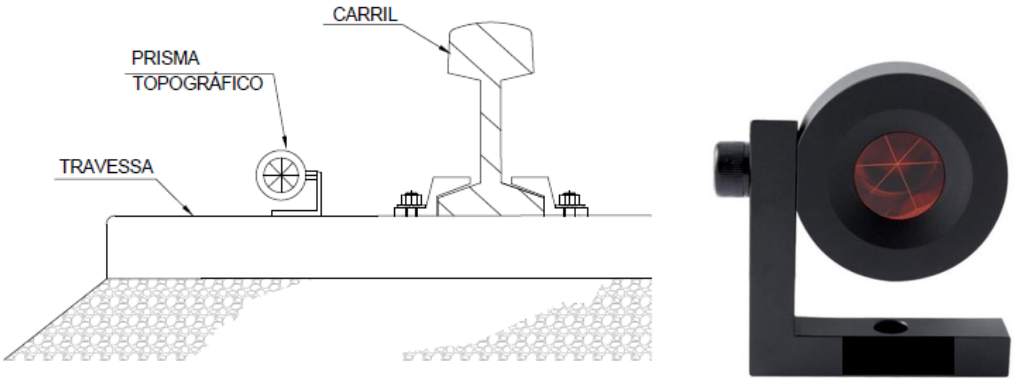


Figura 10 – Prisma topográfico para carril – Linhas IP

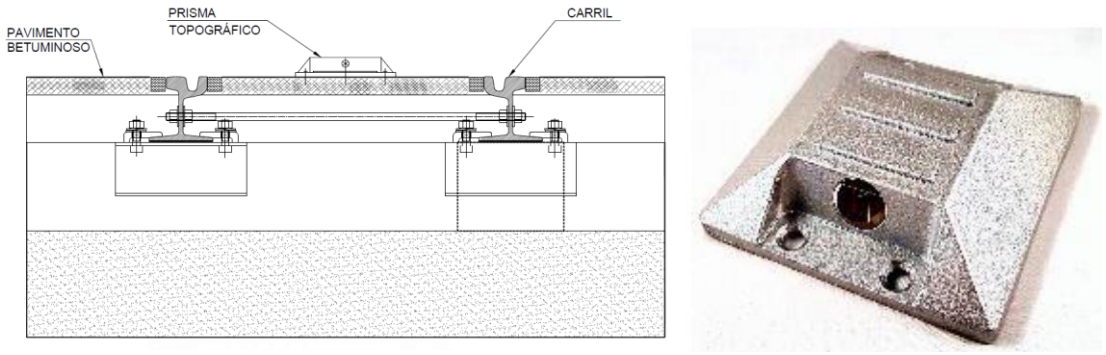


Figura 11 – Prisma topográfico para carril – Linhas Carris

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge*

Os extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* permitem a medição indireta de deslocamentos muito pequenos por intermédio de sensores de corda vibrante que medem a extensão dos elementos estruturais aos quais se encontram ligados através de soldadura (Figura 12). Estes dispositivos serão instalados nas escoras metálicas que constituem a solução de travamento da contenção, permitindo medir a extensão acomodada pelas mesmas e consequentemente a força instalada aquando da execução dos trabalhos de escavação.

Deverão ser utilizados *strain-gauges* de corda vibrante, com campo de leitura não inferior a 3000$\mu\varepsilon$, resolução < 1,0$\mu\varepsilon$ e precisão de ordem inferior a ± 0,5% da capacidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20°C e +80°C). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

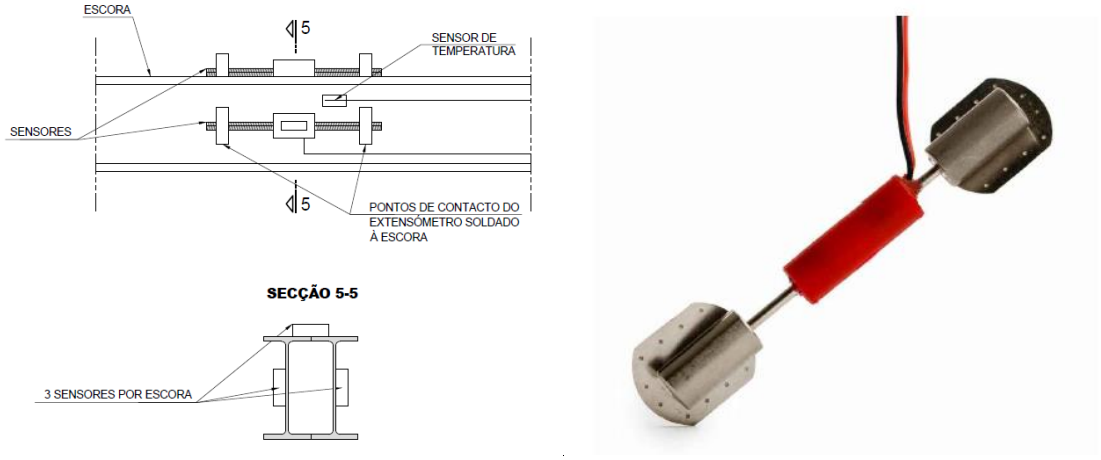


Figura 12 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge*

5.11 Fissurómetros

Este tipo de diapositivos permitirá acompanhar a evolução da abertura de uma determinada fissura.

Os fissurómetros a utilizar deverão ser planos e deverão permitir a realização de leituras de deslocamentos na horizontal e na vertical. Será ainda necessário que possuam capacidade resistente adequada às intempéries, devendo ser fixos de forma adequada (mecanicamente).

O seu alcance máximo será, no mínimo de 25 mm, na horizontal e 10 mm na vertical, devendo a sua resolução ser, no mínimo, de 0,1 mm (Figura 13). Para garantir esta resolução será necessário recorrer no ato da medição a uma craveira digital que se acopla ao fissurómetro.

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

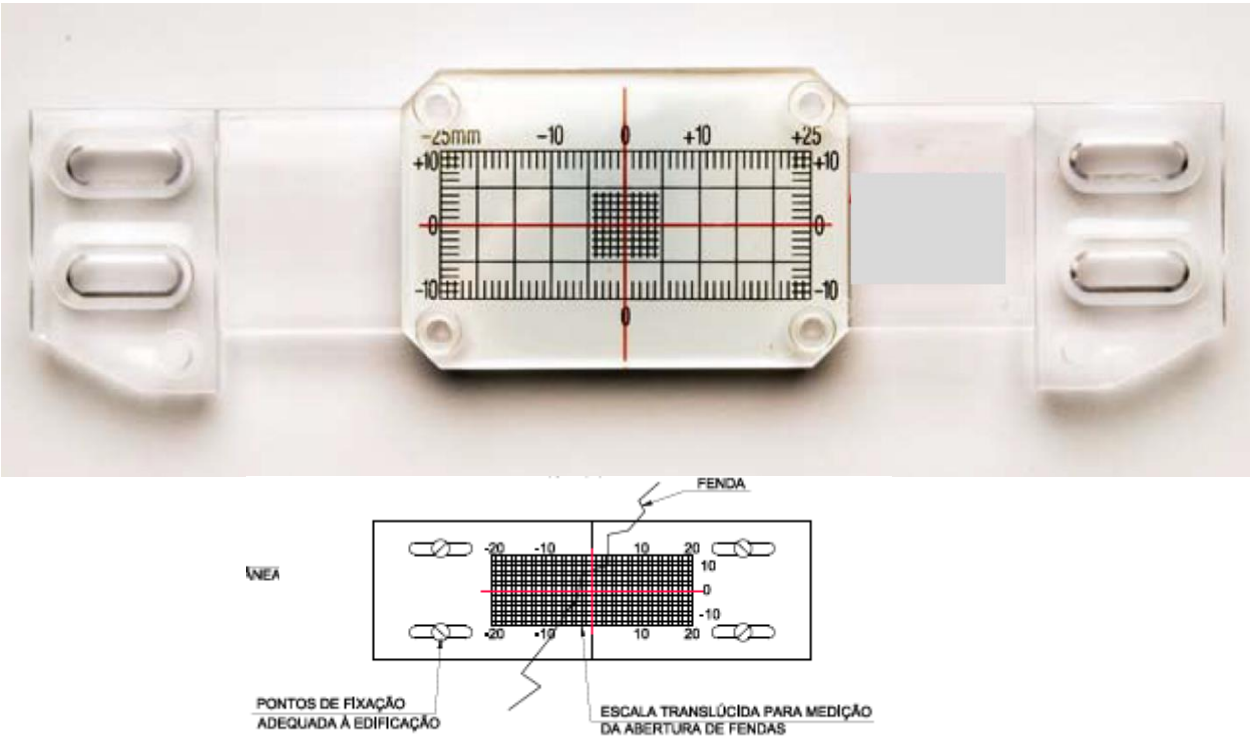


Figura 13 – Fissurómetro

5.12 Células de carga

O recurso a células de carga em ancoragens permitirá o acompanhamento da evolução e magnitude da tração instalada nestes elementos em fase de obra.

As células de carga a adotar nas ancoragens provisórias serão do tipo elétrico.

Em condições normais de leitura, o erro associado a estes dispositivos não deverá ultrapassar os ± 0,1% da capacidade máxima de leitura. A sua capacidade máxima de leitura deverá ser superior aos 1500 kN.

A instalação das células de carga será efetuada antes da realização do ensaio de receção detalhado da ancoragem. As células serão posicionadas sobre a chapa de apoio da ancoragem, sendo posteriormente colocada uma chapa metálica rígida adicional e posteriormente a placa de distribuição das cunhas.

A superfície de contacto com a célula deve estar plana e limpa. A colocação da célula deve ser criteriosa, de forma a que a mesma fique centrada com o eixo da aplicação da carga, evitando-se

assim excentricidades, com consequência no rigor das leituras (Figura 14). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

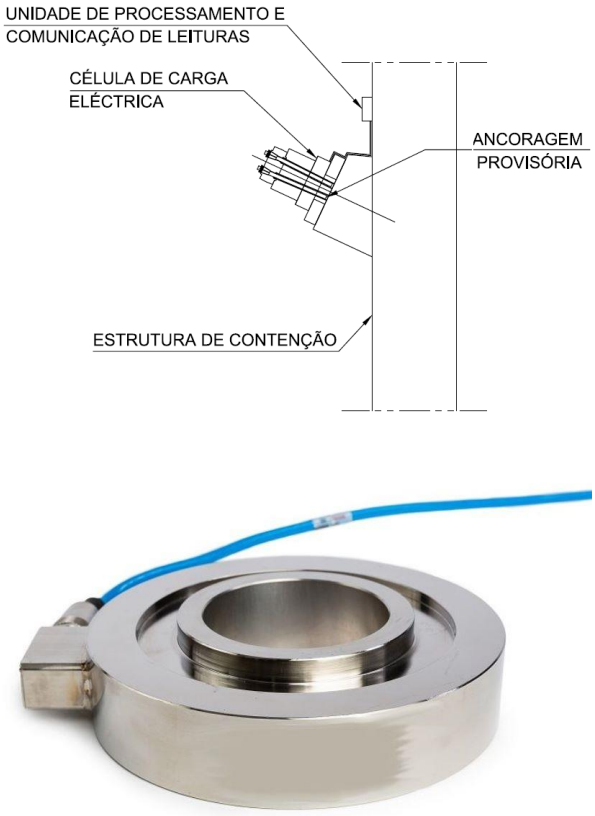


Figura 14 – Célula de carga em ancoragens

5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas

Face aos condicionamentos associados à necessidade de monitorizar as galerias subterrâneas durante a sua execução, a medição das convergências será materializada recorrendo a elemento ótico que permitirá, em condições mais adversas obter com maior precisão leituras de deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A instalação destes dispositivos de forma sistemática e em vários pontos de leitura em seção transversal de cada galeria a executar, permitirá ler não só os deslocamentos do ponto monitorizado, mas também criar secções de medição de convergências, através do controlo de diferentes cordas.

O sistema de fixação destes dispositivos é mecânico e deverá ser realizado ao betão projetado do suporte primário (através de resina epóxi ou de calda de cimento de presa rápida). Na sua extremidade visível a barra é roscada, de forma a permitir acoplar o prisma (Figura 15).

A sua colocação não deverá ultrapassar o primeiro dia após a realização total do suporte primário. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

De modo a permitir a instalação dos prismas o mais rápido possível, antes que a espessura total do suporte primário esteja aplicada, serão utilizados dispositivos de proteção da fixação que

permitirão proteger o elemento de fixação do prisma durante a aplicação das sucessivas camadas de betão projetado (Figura 15).

Figura 15 – Prisma de convergência

5.14 Sismógrafo

Preconiza-se durante a fase de construção o posicionamento de sismógrafos junto às edificações mais vulneráveis. Pretende-se o registo das velocidades e frequências de vibrações eventualmente provocadas pela execução dos trabalhos de construção (Figura 16).

As medições de vibrações serão feitas através de um geofone triaxial com uma capacidade de leitura de 2-250 Hz (janela de calibração mínima 1-160 Hz). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

No caso dos sismógrafos utilizados simultaneamente para a monitorização dos limites de integridade estrutural e de vibrações de incomodidade humana, serão adotados dispositivos com a sensibilidade necessária à monitorização dos respetivos limites (conforme Plano de Monitorização Ambiental).

Figura 16 – Sismógrafo

5.15 Clinómetro

Os clinómetros permitiram a medição da variação de inclinação das paredes dos edifícios. Quando possível, estes fornecerão leituras remotamente, sendo constituídos por bases de leitura em bronze, concebidas para garantir o posicionamento preciso e repetitivo do equipamento de leitura (Figura 17).

As bases de leitura serão fixas de forma mecânica e permanente à estrutura, sendo instaladas diretamente, normalmente na vertical, ou soldadas numa chapa em T, de dimensões adequadas para permitir a sua instalação na horizontal em elementos verticais.

O equipamento de leitura será constituído por sensor instalado num elemento em aço inoxidável, permitindo a realização de leituras nas bases instaladas em superfície verticais ou horizontais, através de uma unidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -30°C e +70°C).

O equipamento de leitura possuirá no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura: ± 15° a partir da vertical
- Resolução: 0,0013°
- Precisão: < 0,06% da capacidade máxima de leitura

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

Figura 17 – Clinómetro

5.16 Prisma topográfico de referência

Para garantir a adequada leitura dos vários dispositivos topográficos instalados será necessário posicionar elementos adicionais que constituirão a sua referência. Constituem dispositivos de precisão de leitura ótica, sendo utlizados para a realização de leituras nos eixos X, Y e Z (Figura 18). À semelhança dos anteriores também estes dispositivos têm uma importância crítica na criação de uma rede de instrumentação, pois permitem ter um conjunto de coordenadas de referência invariáveis e não-suscetíveis a deslocamentos. Nesse sentido, a escolha da sua localização deve ser realizada de forma criteriosa.

Procurou-se distribuir este tipo de dispositivos de forma a garantir que possuem alcance até cerca de 200 metros, sendo necessário garantir visibilidade direta entre este elemento e aquele que se pretende ler. Cada dispositivo a ler (prisma topográfico) deverá estar referenciado, no

mínimo, a 3 unidades de referência, de forma a permitir a existência de redundância e consequentemente, o controlo cruzado entre os vários dispositivos.

O prisma ótico encontra-se acoplado a uma haste metálica robusta que será adequadamente fixa à parede do elemento que será considerado como fixo.

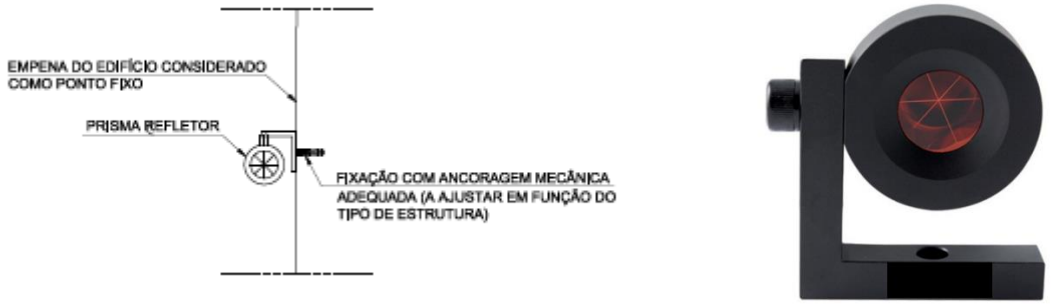


Figura 18 – Prisma topográfico de referência

5.17 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5" e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 19).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

Figura 19 – Estação total robotizada

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 11.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 20).

Figura 20 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 21).

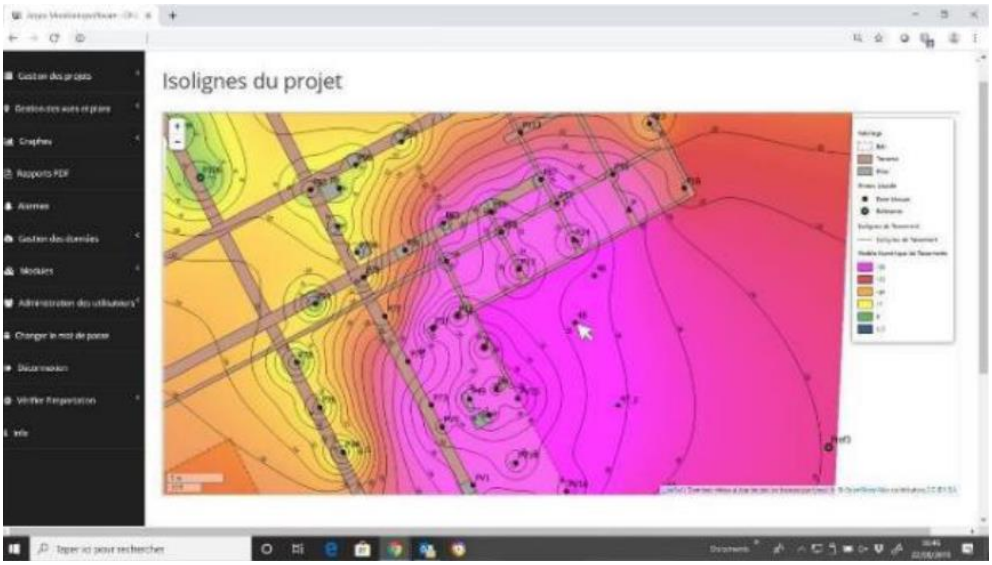


Figura 21 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 22).

Figura 22 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

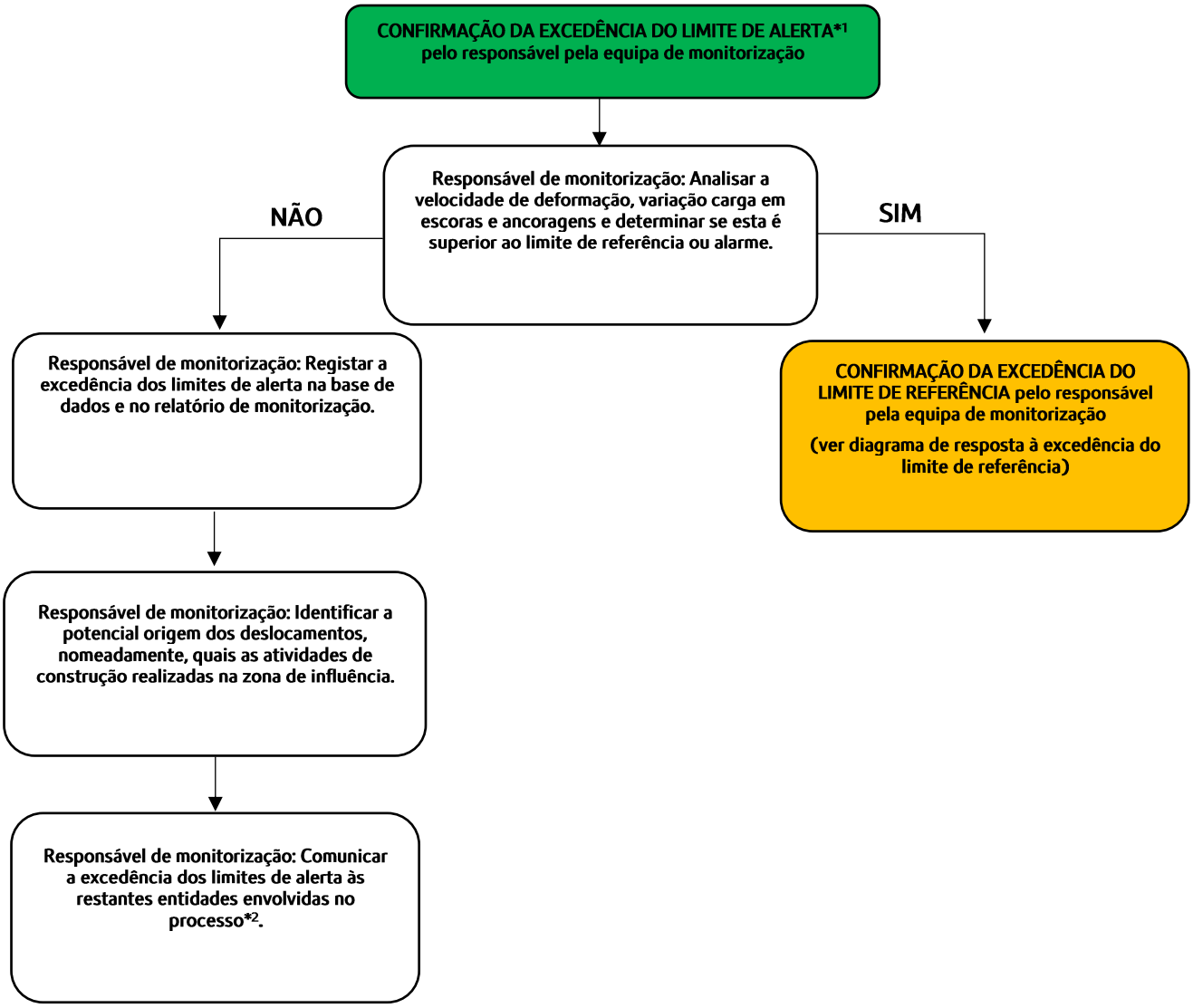
Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 11.2.

11 ANEXOS

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

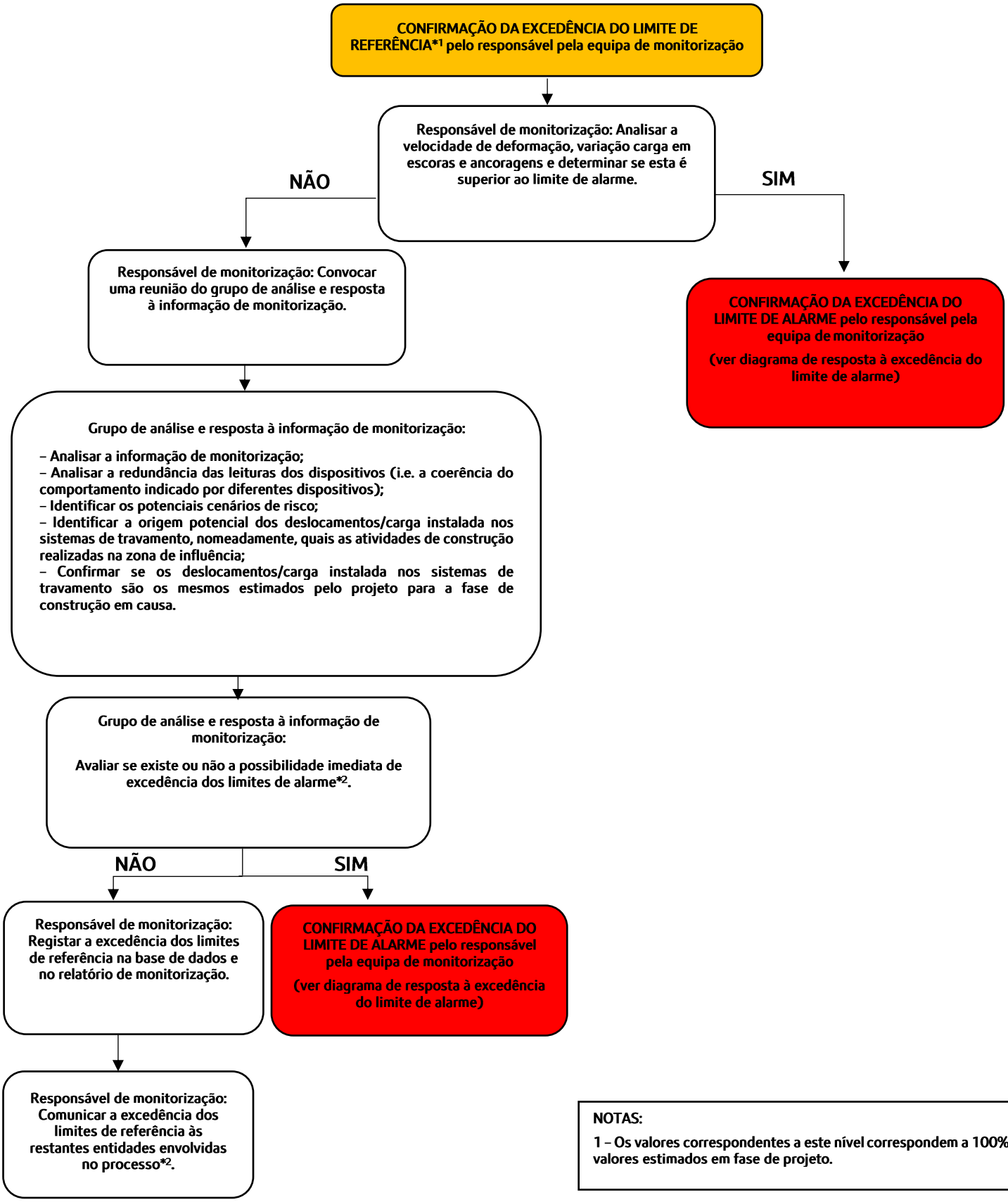
DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- Analisar a informação de monitorização;
- Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);
- Identificar os potenciais cenários de risco;
- Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;
- Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- Quadro A – Estação de Infante Santo – Poço Central e de Acesso
- Quadro B Estação de Estação de Infante Santo – Galerias subterrâneas

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*3.

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 – As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – Estação de Infante Santo – Poço Central e de Acesso

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Drenos adicionais nas paredes da contenção;
- Reforço da capacidade bombagem;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Aumento da carga de blocagem nas ancoragens realizadas;
- Realização de ancoragens adicionais;
- Realização de vigas de distribuição adicionais;
- Realização de injeções de selagem;
- Realização de pregagens adicionais e/ou aumento do comprimento das pregagens;
- Aterro da escavação.

Quadro B – Estação de Estação de Infante Santo – Galerias subterrâneas

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Redução da distância de avanço de escavação;
- Aumento da densidade de pregagens de fibra de vidro na frente de escavação;
- Realização de chapéu de enfilagens nos avanços intermédios;
- Realização de furos de drenagem adicionais na frente e/ou nos hasteais;
- Aplicação de betão projetado na frente de escavação;
- Aumento da parcialização da escavação da frente;
- Realização de pregagens adicionais e/ou aumento do comprimento das pregagens;
- Inclusão de rede electrossoldada entre cambotas;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da frente de escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-10	Emissão inicial

Metropolitano de Lisboa

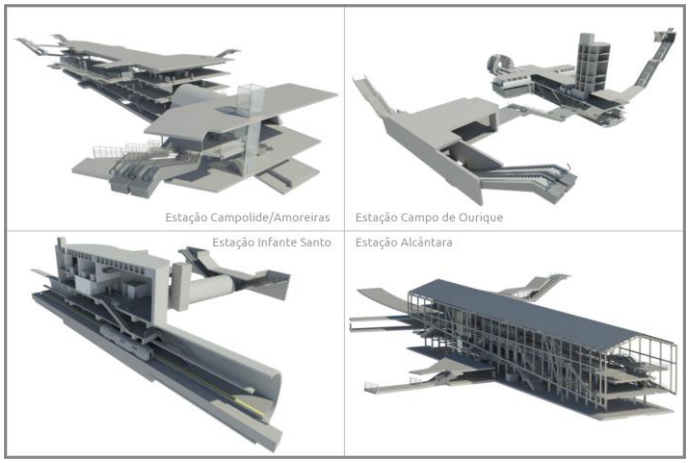
METRO DE LISBOA

LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

TOMO V – ESTAÇÕES

PROJETO DE EXECUÇÃO



VOLUME 2 – ESTAÇÃO DE CAMPO DE OURIQUE

PLANO DE OBSERVAÇÃO

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS EST CO MD 083001 0

	Nome	**Assinatura**	**Data**
Elaborado	Christos Biliris		2024-09-27
Revisto	Afonso Marques		2024-09-27
Verificado	Sergio Notarianni		2024-09-27
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		
Aprovado	Raúl Pistone		

1 OBJETIVO E ÂMBITO 4

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 5

3 GRANDEZAS A MEDIR 8

3.1 Escavações subterrâneas 8
3.2 Escavações a céu aberto 9
3.3 Edificações 9

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 10

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 10

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 10
5.2 Prisma topográfico para pavimento 11
5.3 Extensómetro multiponto 11
5.4 Inclinómetros 13
5.5 Sensor de nível líquido 14
5.6 Piezómetro elétrico 14
5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC 15
5.8 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla 16
5.9 Prisma topográfico para carril 17
5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* 18
5.11 Fissurómetros 18
5.12 Células de carga 19
5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas 20
5.14 Sismógrafo 21
5.15 Clinómetro 22
5.16 Prisma topográfico de referência 22
5.17 Estação total robotizada 23

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 24

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 27

7.1 Critérios de alerta e alarme 27

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 28

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 30

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 30

11 ANEXOS 31

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 31
11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência.....35

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de Projeto De Execução, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação**, desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo **II** do **Volume 2 – OC – Estação de Campo de Ourique.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça "dinâmica" e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

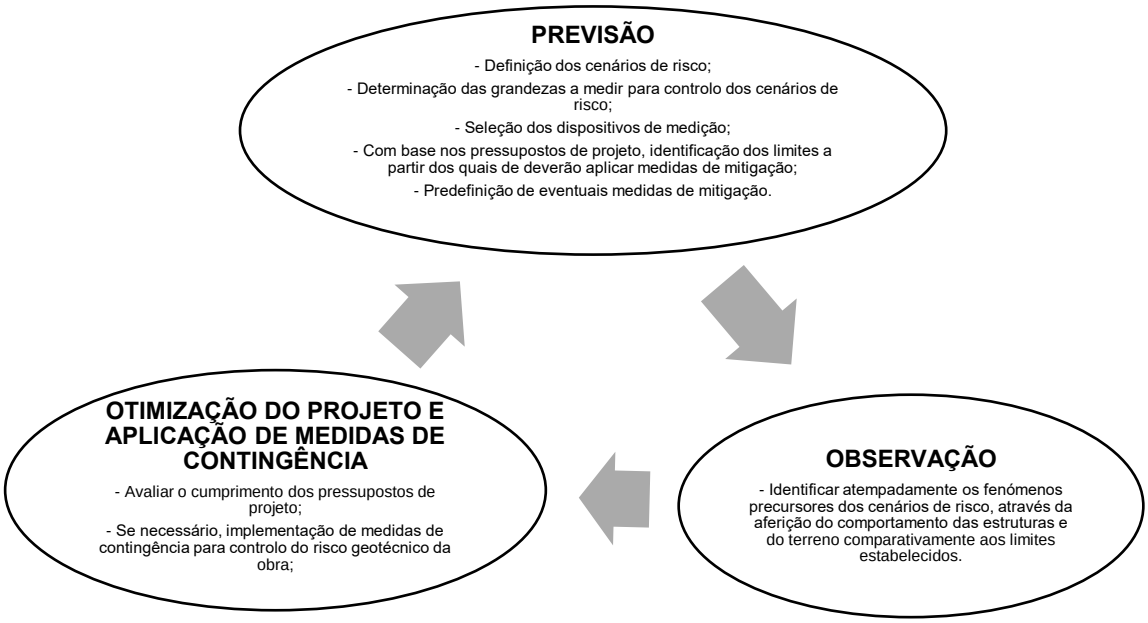


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência.

Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Este documento aborda a instrumentação de monitorização associada a escavações do poço, dos túneis da estação subterrânea e dos acessos, nomeadamente :

- Poço Central;
- Galeria Central;
- Galeria Transversal (Túnel 2);
- Túnel de Acesso 1 & 2;
- Acesso Este;
- Acesso Oeste.

Para cada um destes locais, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
Poço Central	X	X		X		X	X			X	X	X		X	X	X
Galeria Central	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Galeria Transversal (Túnel 2)	X	X	X	X					X	X	X	X		X	X	X
Túnel de Acesso	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X	X
Acesso Este	X	X		X			X			X	X		X	X	X	X
Acesso Oeste.	X	X		X			X			X	X		X	X	X	X

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais e convergências no interior de galerias subterrâneas recorrendo a prismas topográficos.
- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros.
- Medição da abertura de fendas em edifícios, utilizando fissurómetros.
- Medições de deslocamentos verticais internos do maciço e à superfície, com extensómetros multiponto.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições de deslocamentos verticais e horizontais nos pavimentos e carris utilizando prismas de pavimento e de carris.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.
- Medições de deslocamentos axiais de elementos estruturais recorrendo a extensómetros (tipo *strain gauges*).
- Medição de deslocamentos de precisão na estrutura interior de edifícios, utilizando sensores de nível liquido.

3.1 Escavações subterrâneas

A avaliação da evolução do comportamento das obras subterrâneas será realizada através do registo dos deslocamentos do terreno e observação de eventuais fissurações no revestimento primário. Para tal serão criadas secções de medição de convergências e deslocamentos, onde serão instalados, em geral, 3 prismas para secções cuja maior dimensão seja menor ou igual a 10 m e 5 prismas para secções com a maior dimensão superior a 10 m. Para a secções com 3 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 1 em cada hasteal, que permitirão para além dos deslocamentos nesses pontos, o controlo de 3 cordas diferentes. Para a secções com 5 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 2 em cada hasteal, acima e abaixo do eixo da galeria, que permitirão o controlo de 6 cordas diferentes.

No terreno e à superfície serão executados extensómetros multiponto, inclinómetros e prismas topográficos no pavimento, em carris e em edifícios.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, para além dos deslocamentos será também avaliada a variação/presença de água através da instalação de piezómetros.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes. Quando necessário, assumem particular destaque aos drenos longitudinais realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

3.2 Escavações a céu aberto

O plano de observação proposto contempla a medição dos deslocamentos, em particular, durante a execução dos trabalhos, à superfície e em profundidade, nomeadamente assentamentos e deslocamentos horizontais. Para este efeito será necessário recorrer à colocação de prismas topográficos e inclinómetros. A força nos escoramentos metálicos será controlada através de extensómetros (*strain–gauge*), posicionados em redundância em cada seção.

A evolução da tração instalada nas ancoragens será medida recorrendo a células de carga.

A medição da evolução do nível de água será obtida recorrendo a piezómetros.

3.3 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

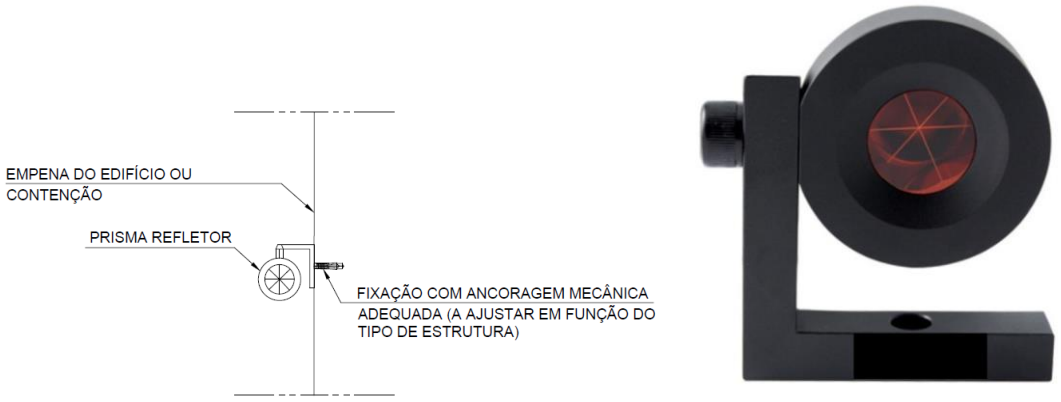


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Prisma topográfico para pavimento

Os prismas topográficos para pavimento consistem num elemento adequadamente fixo ao pavimento com elevada resistência ao tráfego pedonal e rodoviário, materializado por meio de uma placa metálica que permite a realização leituras dos deslocamentos verticais.

As leituras serão efetuadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

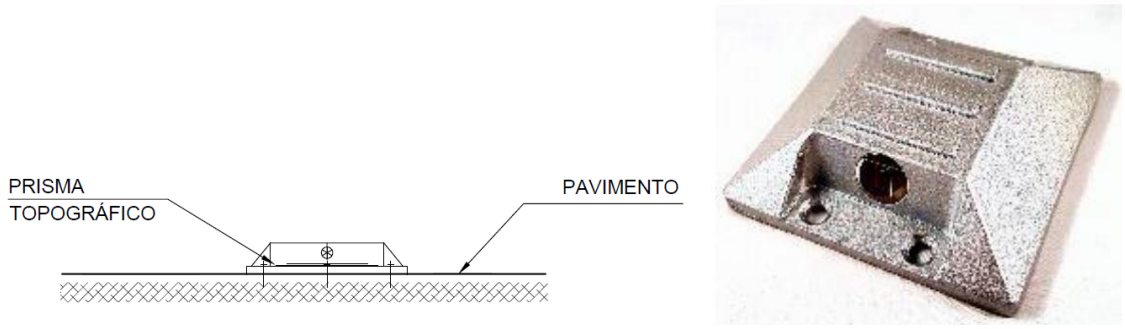


Figura 3 - Prisma topográfico para pavimento

5.3 Extensómetro multiponto

Os extensómetros permitem o controlo dos deslocamentos verticais em profundidade e encontram-se definidos nas seções de monitorização onde também estão previstas medições de deslocamentos e convergências no interior das galerias subterrâneas (Figura 4).

Os extensómetros terão 1 ou 2 ancoragens fixadas a diferentes profundidades. O sensor de deslocamento deverá ser do tipo corda vibrante dotado com sensor de temperatura.

Do conjunto deste dispositivo deverá fazer parte integrante:

- Barras/varas em aço inoxidável ou fibra de vidro
- Ancoragem (injetável com calda de cimento ou tipo *packer*)
- Bainha de encamisamento das barras/varas
- Cabeça de referência do elétrico

O extensómetro será instalado em furo previamente executado de diâmetro, no mínimo, de Ø76 mm (furação destrutiva), que terá um comprimento superior à profundidade de instalação de cerca de 1,00 m.

As cabeças dos extensómetros deverão ser equipadas com um prisma topográfico que permita obter as leituras à superfície. Aos valores das leituras das ancoragens deverão ser adicionados os assentamentos de superfície obtidos através dos prismas.

Os componentes serão montados de acordo às indicações do fabricante e instalados no furo nas cotas previstas função do seu comprimento total. Existirá uma ancoragem na extremidade correspondente à base do furo e uma segunda a 1/3 do seu comprimento total.

Uma vez finalizado o posicionamento do dispositivo, proceder-se-á a sua selagem por meio de calda de cimento.

As cabeças dos extensómetros serão protegidas por caixas com tampas metálicas adequadas.

O dispositivo será de leitura elétrica, o sensor de deslocamento ou transdutor, será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20°C e +80°C), possuindo no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura ≥ 100mm
- Precisão < 0,30% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,0066% da capacidade de leitura

O dispositivo será calibrado antes de ser utilizado e as leituras serão realizadas a partir da superfície. Após a realização da medição, os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

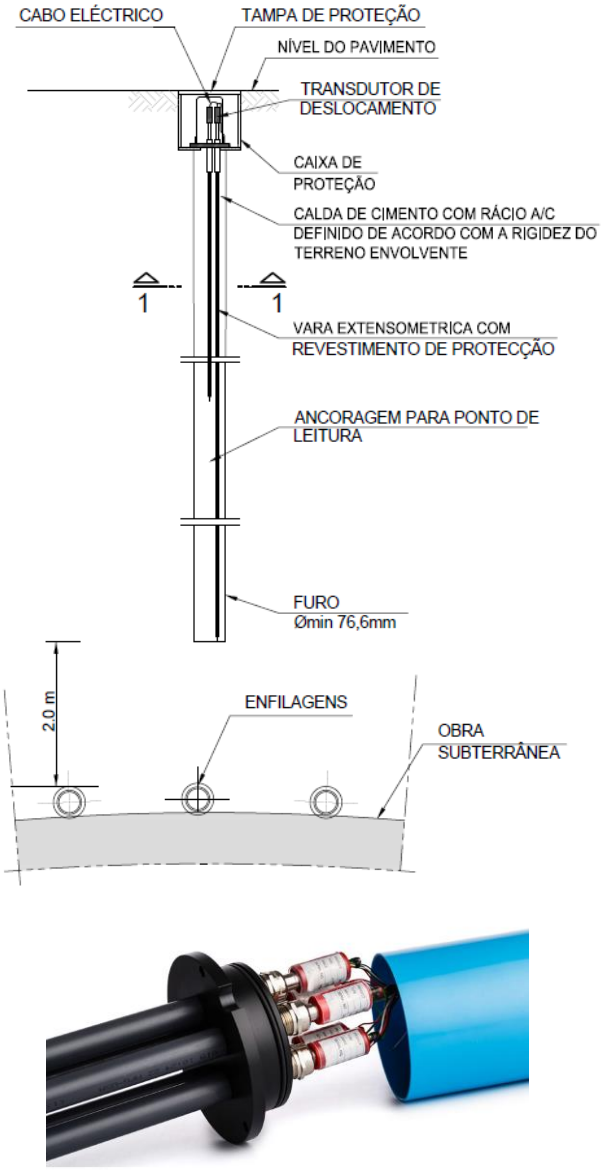


Figura 4 – Extensómetro multiponto

5.4 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90º. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

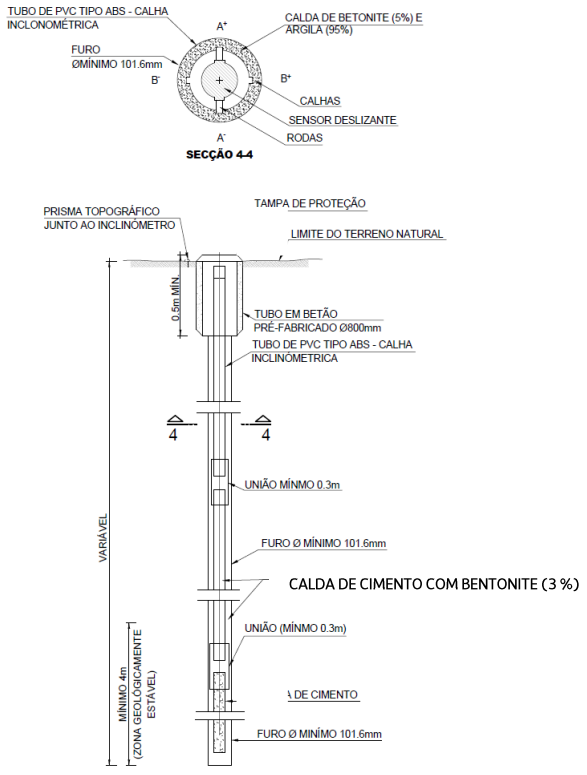


Figura 5 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.5 Sensor de nível líquido

O sensor de nível líquido permite medir deslocamentos diferenciais e totais entre diversos pontos de uma estrutura. É constituído por um conjunto de sensores de elevada precisão que medem continuamente a variação de nível de um líquido num circuito fechado. O conjunto de sensores encontra-se ligado a um depósito que constitui o nível de referência do sistema (Figura 6). Os deslocamentos totais podem ser obtidos através da soma dos deslocamentos diferenciais com os deslocamentos totais do nível de referência, no caso de este último estar sujeito a movimentos.

As leituras serão realizadas automaticamente e enviadas para a base de dados de monitorização.

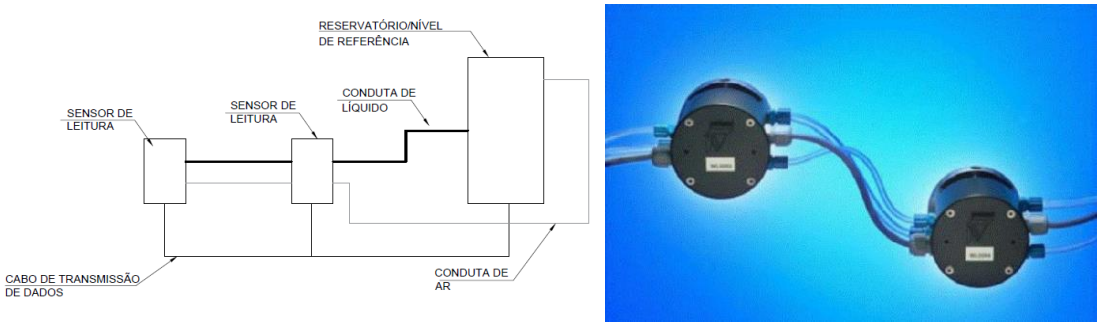


Figura 6 – Sensor de nível líquido

5.6 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 7).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa
- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

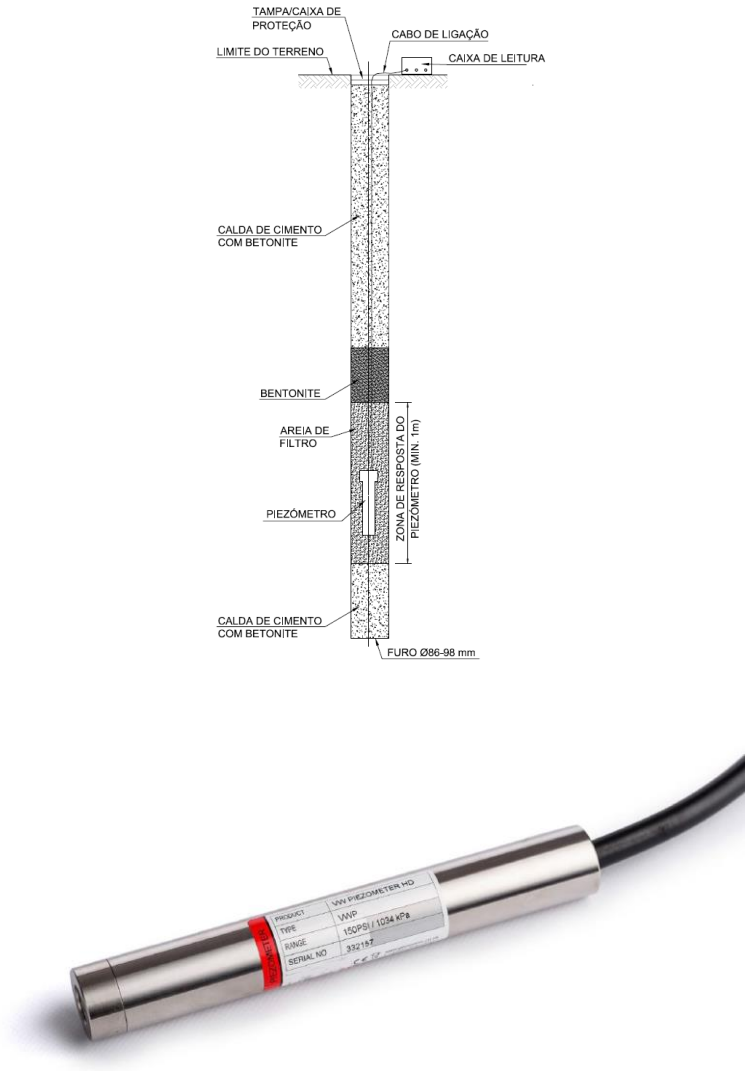


Figura 7 - Piezómetro elétrico com uma câmara

5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC

Os piezómetros com ponteira do tipo LNEC são um tipo de piezómetro recomendado para medição do nível de água em formações de muito baixa permeabilidade, cuja zona de resposta se localiza na extremidade inferior do piezómetro (ponteira) (Figura 8). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

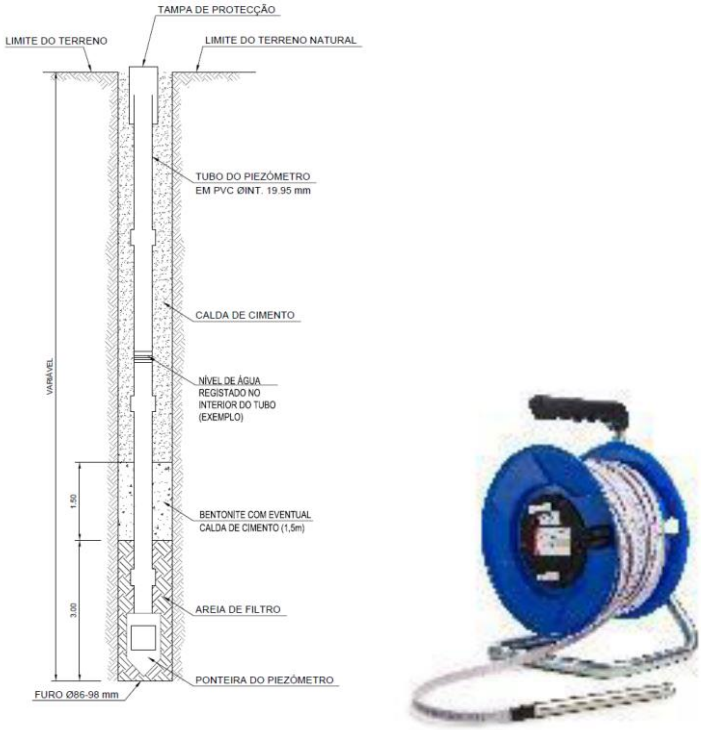


Figura 8 - Piezómetro com ponteira do tipo LNEC

5.8 Piezómetro do tipo Casagrande – câmara simples, dupla ou tripla

Os piezómetros do tipo Casagrande permitem a aferição de aquíferos a diferentes profundidades. São constituídos por troços tubos com 75 mm de diâmetro, solidarizados entre si através de uniões exteriores. Na zona onde se pretende efetuar a leitura do nível piezométrico esses tubos apresentam ranhuras com 4,5mm de espessura sendo a sua zona envolvente preenchida com areia (Figura 9 – piezómetro duplo). O número de tubos ou zonas de resposta dita a sua designação, ou seja de câmara simples – 1 tubo, câmara dupla – 2 tubos ou de câmara tripla – 3 tubos.

Na sua extremidade esses tubos são envoltos com geotêxtil (Figura 9). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

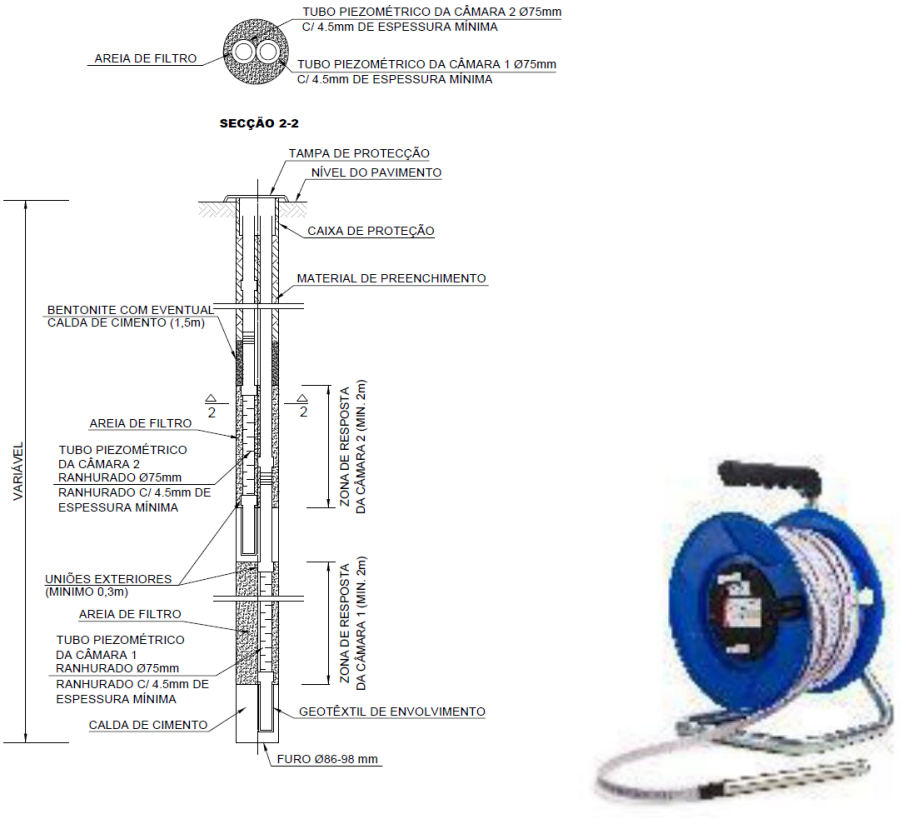


Figura 9 - Piezómetro do tipo Casagrande – Câmara dupla

5.9 Prisma topográfico para carril

Os prismas topográficos para carril, consistem num prisma instalado nas travessas das linhas do comboio da IP (Figura 10) ou num prisma para pavimento fixo entre os carris para as linhas da Carris (Figura 11). Este elementos permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X,Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada.

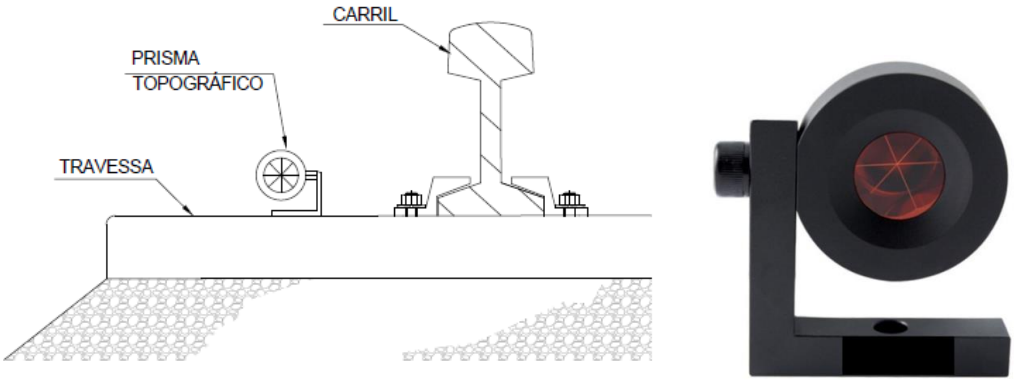


Figura 10 – Prisma topográfico para carril – Linhas IP

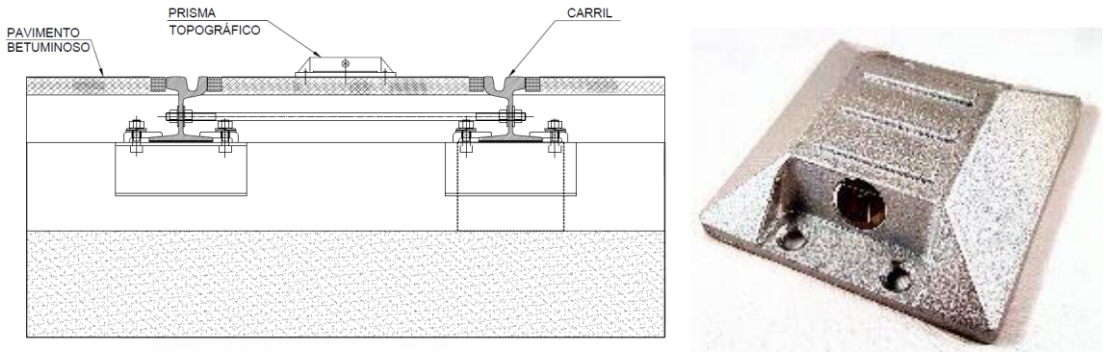


Figura 11 – Prisma topográfico para carril – Linhas Carris

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge*

Os extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* permitem a medição indireta de deslocamentos muito pequenos por intermédio de sensores de corda vibrante que medem a extensão dos elementos estruturais aos quais se encontram ligados através de soldadura (Figura 12). Estes dispositivos serão instalados nas escoras metálicas que constituem a solução de travamento da contenção, permitindo medir a extensão acomodada pelas mesmas e consequentemente a força instalada aquando da execução dos trabalhos de escavação.

Deverão ser utilizados *strain-gauges* de corda vibrante, com campo de leitura não inferior a 3000με, resolução < 1,0με e precisão de ordem inferior a ± 0,5% da capacidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20°C e +80°C). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

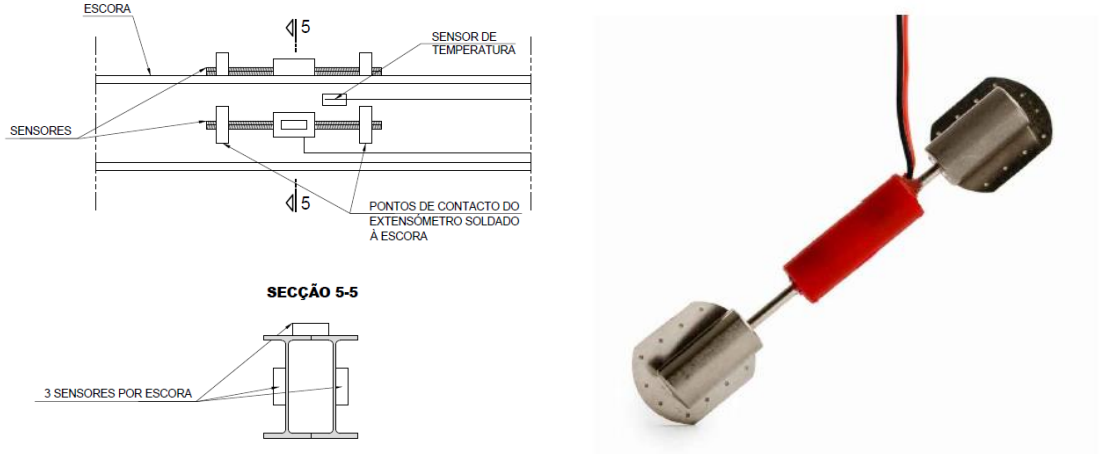


Figura 12 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge*

5.11 Fissurómetros

Este tipo de diapositivos permitirá acompanhar a evolução da abertura de uma determinada fissura.

Os fissurómetros a utilizar deverão ser planos e deverão permitir a realização de leituras de deslocamentos na horizontal e na vertical. Será ainda necessário que possuam capacidade resistente adequada às intempéries, devendo ser fixos de forma adequada (mecanicamente).

O seu alcance máximo será, no mínimo de 25 mm, na horizontal e 10 mm na vertical, devendo a sua resolução ser, no mínimo, de 0,1 mm (Figura 13). Para garantir esta resolução será necessário recorrer no ato da medição a uma craveira digital que se acopla ao fissurómetro.

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

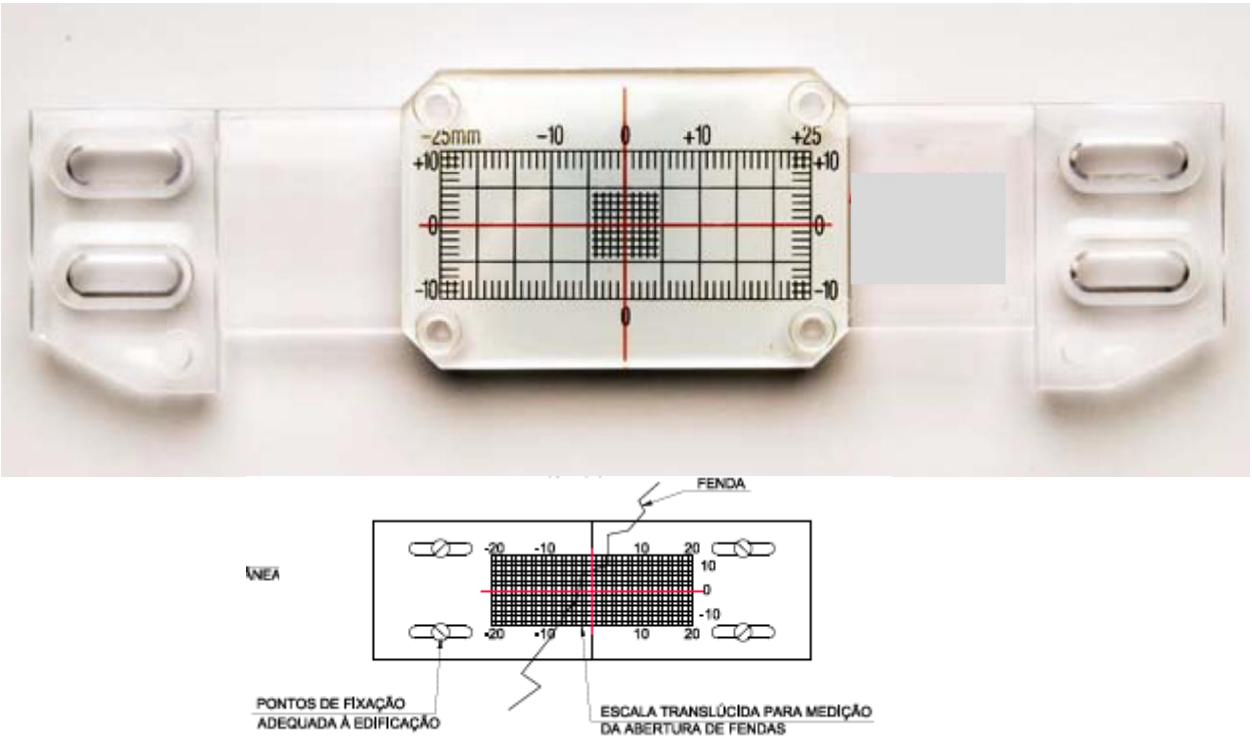


Figura 13 – Fissurómetro

5.12 Células de carga

O recurso a células de carga em ancoragens permitirá o acompanhamento da evolução e magnitude da tração instalada nestes elementos em fase de obra.

As células de carga a adotar nas ancoragens provisórias serão do tipo elétrico.

Em condições normais de leitura, o erro associado a estes dispositivos não deverá ultrapassar os ± 0,1% da capacidade máxima de leitura. A sua capacidade máxima de leitura deverá ser superior aos 1500 kN.

A instalação das células de carga será efetuada antes da realização do ensaio de receção detalhado da ancoragem. As células serão posicionadas sobre a chapa de apoio da ancoragem, sendo posteriormente colocada uma chapa metálica rígida adicional e posteriormente a placa de distribuição das cunhas.

A superfície de contacto com a célula deve estar plana e limpa. A colocação da célula deve ser criteriosa, de forma a que a mesma fique centrada com o eixo da aplicação da carga, evitando-se

assim excentricidades, com consequência no rigor das leituras (Figura 14). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

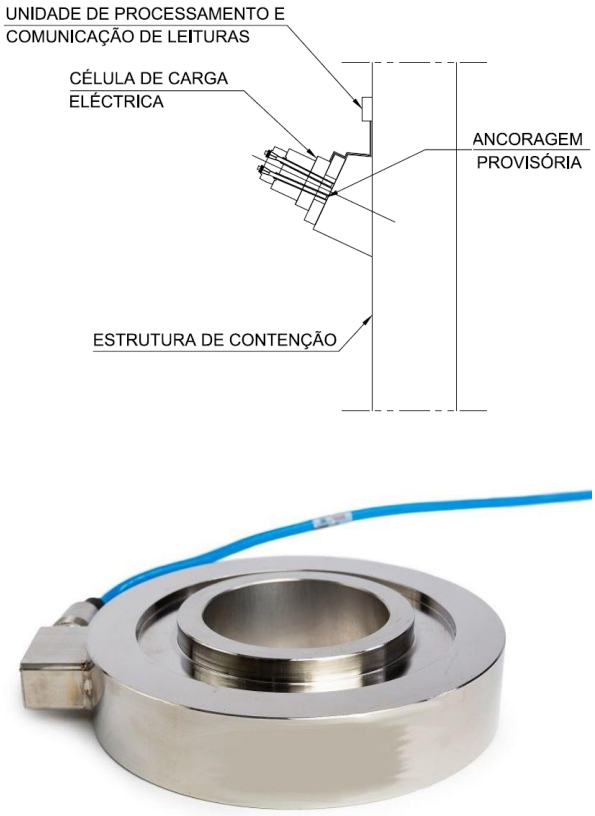


Figura 14 – Célula de carga em ancoragens

5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas

Face aos condicionamentos associados à necessidade de monitorizar as galerias subterrâneas durante a sua execução, a medição das convergências será materializada recorrendo a elemento ótico que permitirá, em condições mais adversas obter com maior precisão leituras de deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A instalação destes dispositivos de forma sistemática e em vários pontos de leitura em seção transversal de cada galeria a executar, permitirá ler não só os deslocamentos do ponto monitorizado, mas também criar secções de medição de convergências, através do controlo de diferentes cordas.

O sistema de fixação destes dispositivos é mecânico e deverá ser realizado ao betão projetado do suporte primário (através de resina epóxi ou de calda de cimento de presa rápida). Na sua extremidade visível a barra é roscada, de forma a permitir acoplar o prisma (Figura 15).

A sua colocação não deverá ultrapassar o primeiro dia após a realização total do suporte primário. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

De modo a permitir a instalação dos prismas o mais rápido possível, antes que a espessura total do suporte primário esteja aplicada, serão utilizados dispositivos de proteção da fixação que

permitirão proteger o elemento de fixação do prisma durante a aplicação das sucessivas camadas de betão projetado (Figura 15).

Figura 15 – Prisma de convergência

5.14 Sismógrafo

Preconiza-se durante a fase de construção o posicionamento de sismógrafos junto às edificações mais vulneráveis. Pretende-se o registo das velocidades e frequências de vibrações eventualmente provocadas pela execução dos trabalhos de construção (Figura 16).

As medições de vibrações serão feitas através de um geofone triaxial com uma capacidade de leitura de 2-250 Hz (janela de calibração mínima 1-160 Hz). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

No caso dos sismógrafos utilizados simultaneamente para a monitorização dos limites de integridade estrutural e de vibrações de incomodidade humana, serão adotados dispositivos com a sensibilidade necessária à monitorização dos respetivos limites (conforme Plano de Monitorização Ambiental).

Figura 16 – Sismógrafo

5.15 Clinómetro

Os clinómetros permitiram a medição da variação de inclinação das paredes dos edifícios. Quando possível, estes fornecerão leituras remotamente, sendo constituídos por bases de leitura em bronze, concebidas para garantir o posicionamento preciso e repetitivo do equipamento de leitura (Figura 17).

As bases de leitura serão fixas de forma mecânica e permanente à estrutura, sendo instaladas diretamente, normalmente na vertical, ou soldadas numa chapa em T, de dimensões adequadas para permitir a sua instalação na horizontal em elementos verticais.

O equipamento de leitura será constituído por sensor instalado num elemento em aço inoxidável, permitindo a realização de leituras nas bases instaladas em superfície verticais ou horizontais, através de uma unidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -30°C e +70°C).

O equipamento de leitura possuirá no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura: ± 15° a partir da vertical
- Resolução: 0,0013°
- Precisão: < 0,06% da capacidade máxima de leitura

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

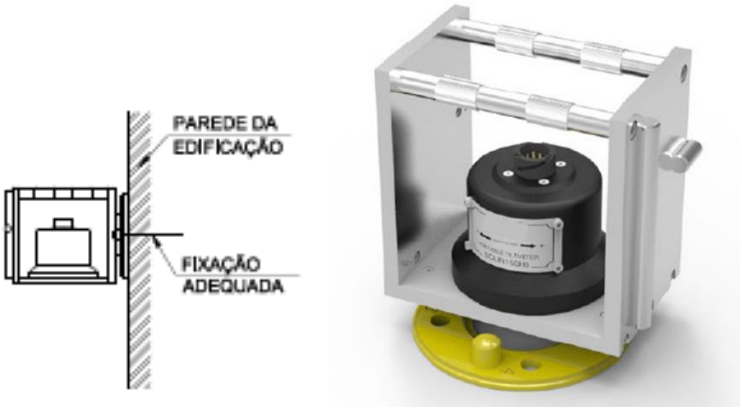


Figura 17 – Clinómetro

5.16 Prisma topográfico de referência

Para garantir a adequada leitura dos vários dispositivos topográficos instalados será necessário posicionar elementos adicionais que constituirão a sua referência. Constituem dispositivos de precisão de leitura ótica, sendo utlizados para a realização de leituras nos eixos X, Y e Z (Figura 18). À semelhança dos anteriores também estes dispositivos têm uma importância crítica na criação de uma rede de instrumentação, pois permitem ter um conjunto de coordenadas de referência invariáveis e não-suscetíveis a deslocamentos. Nesse sentido, a escolha da sua localização deve ser realizada de forma criteriosa.

Procurou-se distribuir este tipo de dispositivos de forma a garantir que possuem alcance até cerca de 200 metros, sendo necessário garantir visibilidade direta entre este elemento e aquele que se pretende ler. Cada dispositivo a ler (prisma topográfico) deverá estar referenciado, no

mínimo, a 3 unidades de referência, de forma a permitir a existência de redundância e consequentemente, o controlo cruzado entre os vários dispositivos.

O prisma ótico encontra-se acoplado a uma haste metálica robusta que será adequadamente fixa à parede do elemento que será considerado como fixo.

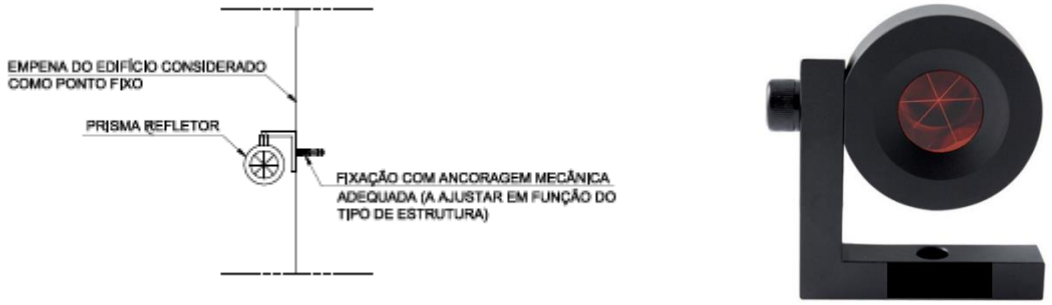


Figura 18 – Prisma topográfico de referência

5.17 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5" e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 19).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

Figura 19 – Estação total robotizada

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 11.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 20).

Figura 20 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 21).

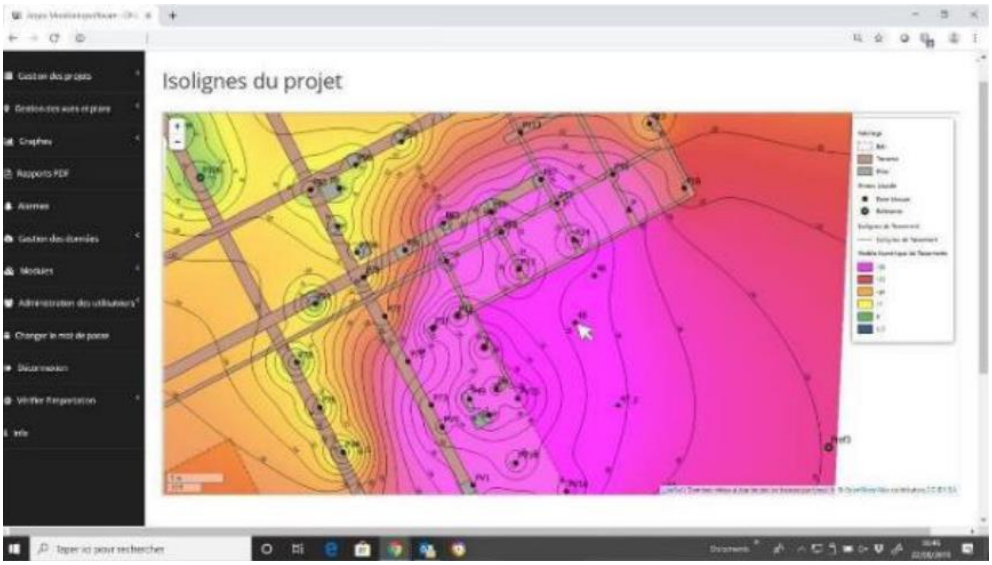


Figura 21 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 22).

Figura 22 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

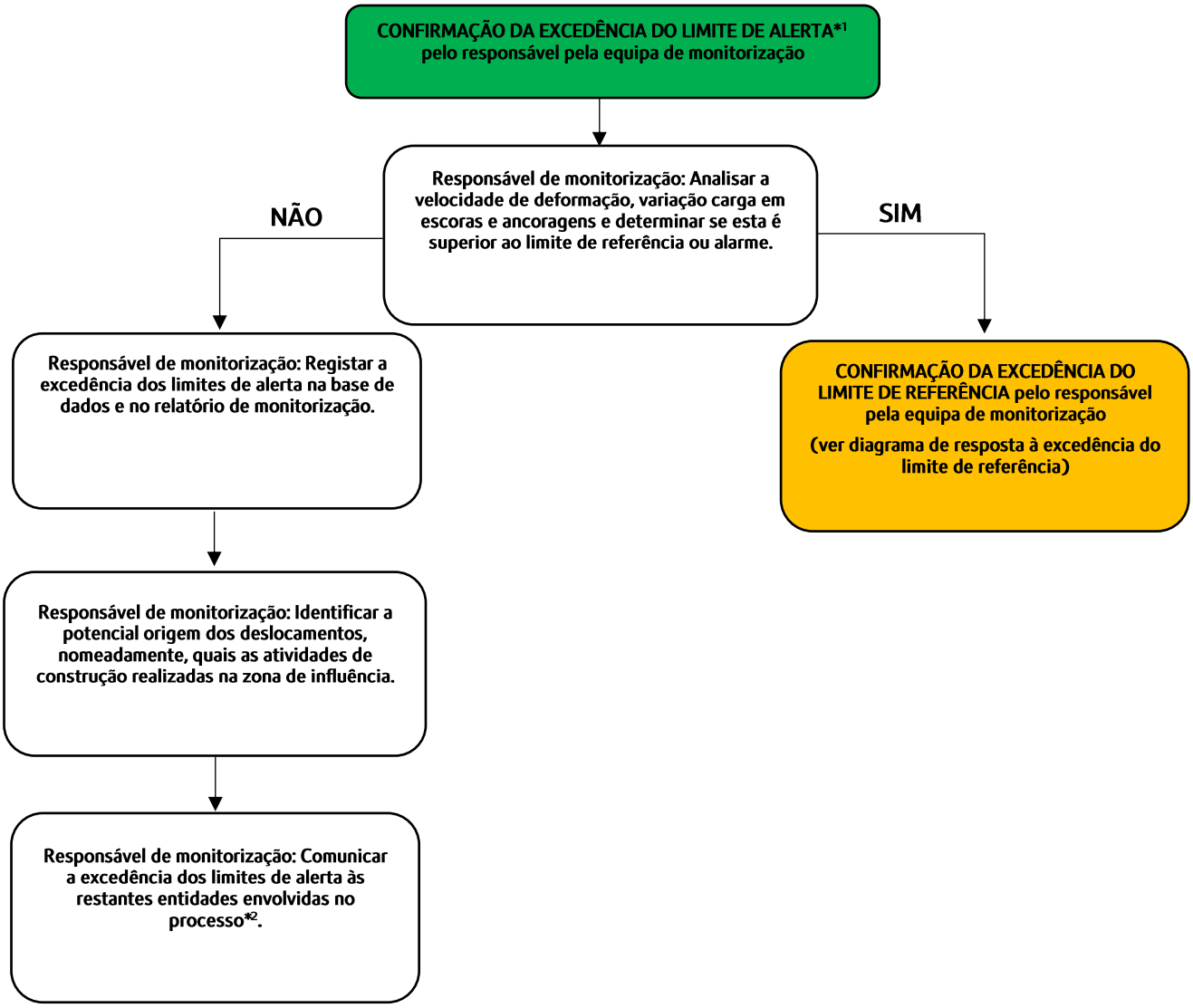
Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 11.2.

11 ANEXOS

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

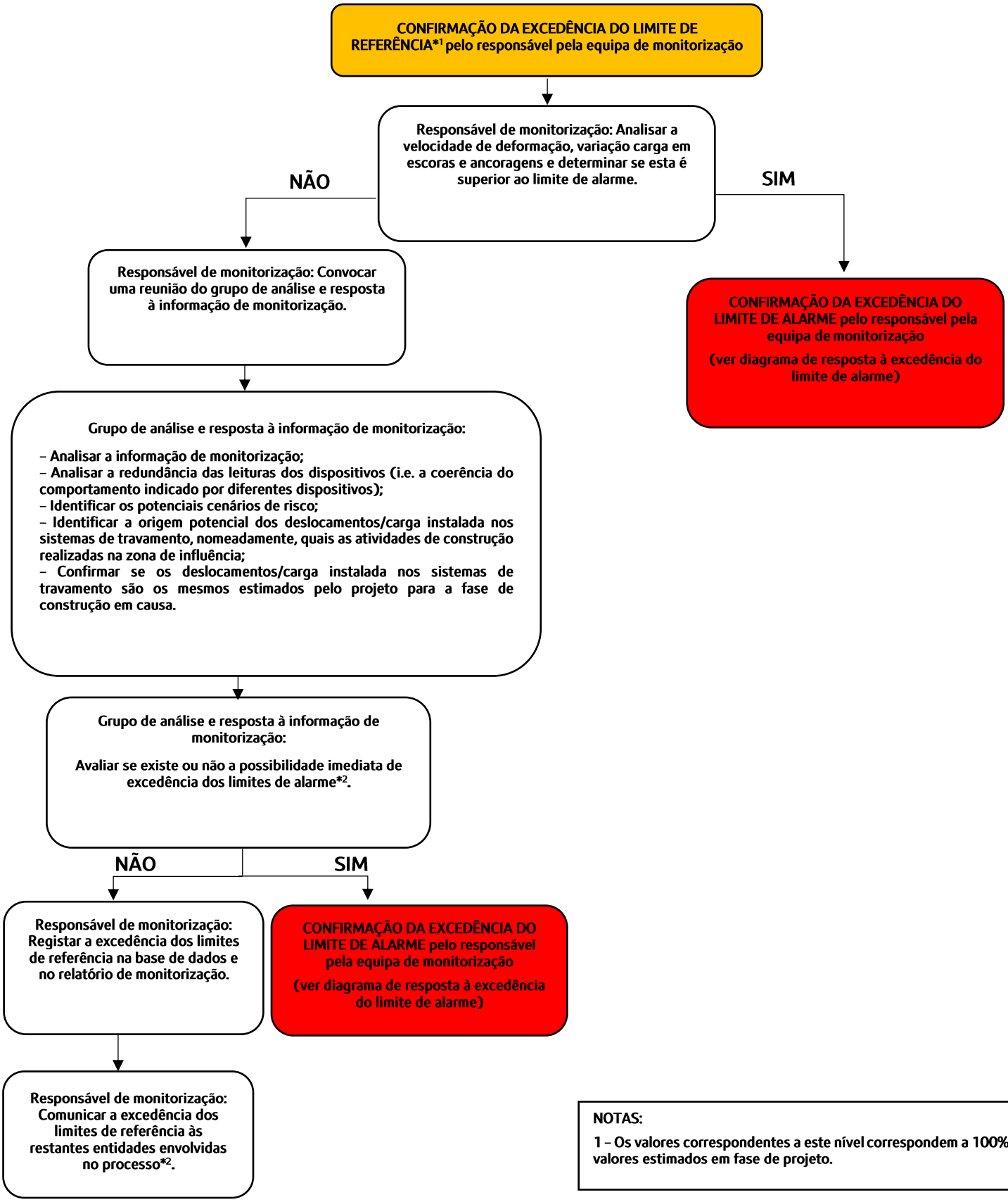
DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- Analisar a informação de monitorização;
- Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);
- Identificar os potenciais cenários de risco;
- Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;
- Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- Quadro A – Estação Campo de Ourique – Poço Central
- Quadro B – Estação Campo de Ourique – Galerias subterrâneas
- Quadro D – Estação Campo de Ourique – Escavação a céu aberto – Acesso Este
- Quadro E – Estação Campo de Ourique – Escavação a céu aberto – Acesso Oeste

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*[3].

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 – As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – Estação Campo de Ourique – Poço Central

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Drenos adicionais nas paredes da contenção;
- Reforço da capacidade bombagem;
- Instalação de escoras metálicas adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Aumento da carga de blocagem nas ancoragens realizadas;
- Realização de ancoragens adicionais;
- Realização de vigas de distribuição adicionais;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da escavação.

Quadro B – Estação Campo de Ourique – Galerias subterrâneas & Túnel NATM

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Redução da distância de avanço de escavação;
- Aumento da densidade de pregagens de fibra de vidro na frente de escavação;
- Realização de chapéu de enfilagens nos avanços intermédios;
- Realização de furos de drenagem adicionais na frente e/ou nos hasteais;
- Aplicação de betão projetado na frente de escavação;
- Aumento da parcialização da escavação da frente;
- Inclusão de rede electrossoldada entre cambotas;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da frente de escavação.

Quadro D – Estação Campo de Ourique – Escavação a céu aberto – Acesso Este & Acesso Oeste

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Limitação da afluência de água por recalçamento da ficha das cortinas;
- Furos de drenagem/alívio de pressão adicionais no fundo da escavação;
- Instalação de escoras metálicas adicionais;
- Realização de ancoragens adicionais;
- Realização de vigas de distribuição adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-09-27	Edição inicial

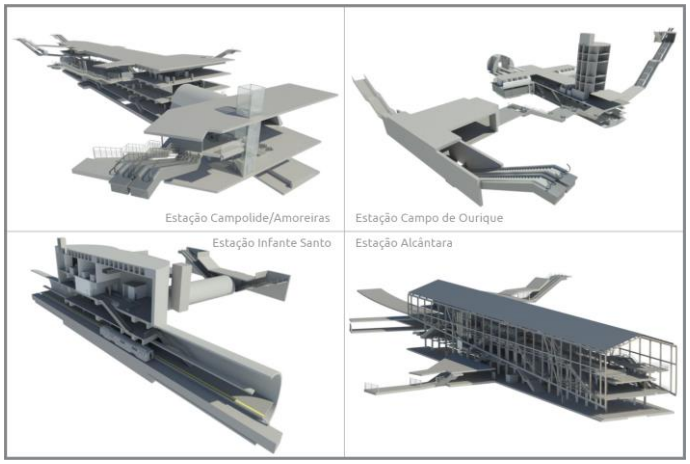
Metropolitano de Lisboa

METRO DE LISBOA

LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

PROJETO DE EXECUÇÃO



PLANO DE OBSERVAÇÃO – ESTAÇÕES – ESTAÇÃO CAMPOLIDE AMOREIRAS (CE)

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

Documento SAP:	LVSSA MSA AP INS EST CO ME 083001 0

	Nome	Assinatura	Data
Elaborado	André Sousa		2024-10-04
Revisto	Rui Tomásio		2024-10-04
Verificado	Sandra Ferreira/ Gonçalo Mateus		2024-10-04
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		2024-10-04
Aprovado	Raúl Pistone		2024-10-04

1 OBJETIVO E ÂMBITO 3

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 4

3 GRANDEZAS A MEDIR 6

3.1 Escavações subterrâneas 6
3.2 Escavações a céu aberto 6
3.3 Edificações 7

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 8

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 8

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 8
5.2 Inclinómetros 9
5.3 Piezómetro elétrico 10
5.4 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* 11
5.5 Prisma topográfico de referência 12
5.6 Estação total robotizada 12

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 13

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 16

7.1 Critérios de alerta e alarme 16

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 17

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 19

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 19

11 ANEXOS 20

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 20
11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência 24

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Projeto de Execução**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação**, desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo **II** do **Volume 2 – OC – Estação de Campo de Ourique.**

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça "dinâmica" e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume especifico de cada tomo. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

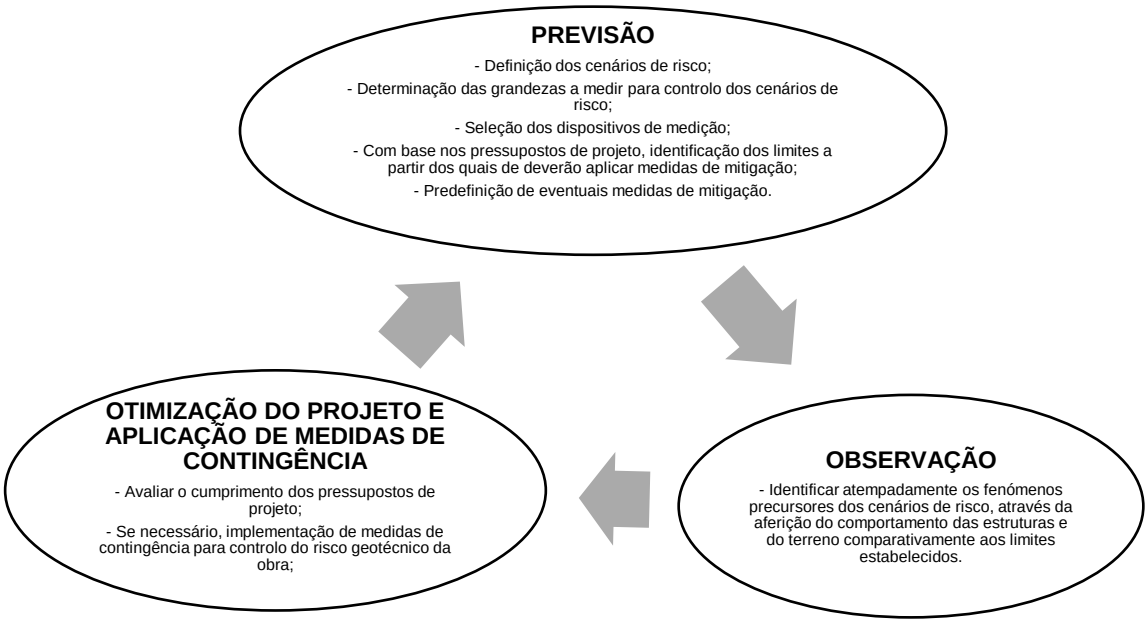


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão

realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência. Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Este documento aborda a instrumentação de monitorização associada a escavações para a execução da estação de campolide amoreiras e os respetivos acessos, nomeadamente:

- Corpo da estação;
- Acesso 1;
- Acesso 2;
- Acesso 3;
- Acesso 4;
- Acesso 5;

Para cada um destes locais, os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO (CARRIL)	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE (ESCORAS DE AÇO)	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
Corpo da estação	X			X		X			X							
Acesso 1	X			X												
Acesso 2	X			X												
Acesso 3	X			X												
Acesso 4	X			X												
Acesso 5	X			X		X			X							

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais e convergências no interior de galerias subterrâneas recorrendo a prismas topográficos.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medições de deslocamentos axiais de elementos estruturais recorrendo a extensómetros (tipo *strain gauges*).

3.1 Escavações subterrâneas

A avaliação da evolução do comportamento das obras subterrâneas será realizada através do registo dos deslocamentos do terreno e observação de eventuais fissurações no revestimento primário. Para tal serão criadas secções de medição de convergências e deslocamentos, onde serão instalados, em geral, 3 prismas para secções cuja maior dimensão seja menor ou igual a 10 m e 5 prismas para secções com a maior dimensão superior a 10 m. Para a secções com 3 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 1 em cada hasteal, que permitirão para além dos deslocamentos nesses pontos, o controlo de 3 cordas diferentes. Para a secções com 5 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 2 em cada hasteal, acima e abaixo do eixo da galeria, que permitirão o controlo de 6 cordas diferentes.

No terreno e à superfície serão executados extensómetros multiponto, inclinómetros e prismas topográficos no pavimento, em carris e em edifícios.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, para além dos deslocamentos será também avaliada a variação/presença de água através da instalação de piezómetros.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes. Quando necessário, assumem particular destaque aos drenos longitudinais realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

3.2 Escavações a céu aberto

O plano de observação proposto contempla a medição dos deslocamentos, em particular, durante a execução dos trabalhos, à superfície e em profundidade, nomeadamente assentamentos e deslocamentos horizontais. Para este efeito será necessário recorrer à colocação de prismas topográficos e inclinómetros. A força nos escoramentos metálicos será controlada através de extensómetros (*strain–gauge*), posicionados em redundância em cada seção.

A evolução da tração instalada nas ancoragens será medida recorrendo a células de carga.

A medição da evolução do nível de água será obtida recorrendo a piezómetros.

3.3 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

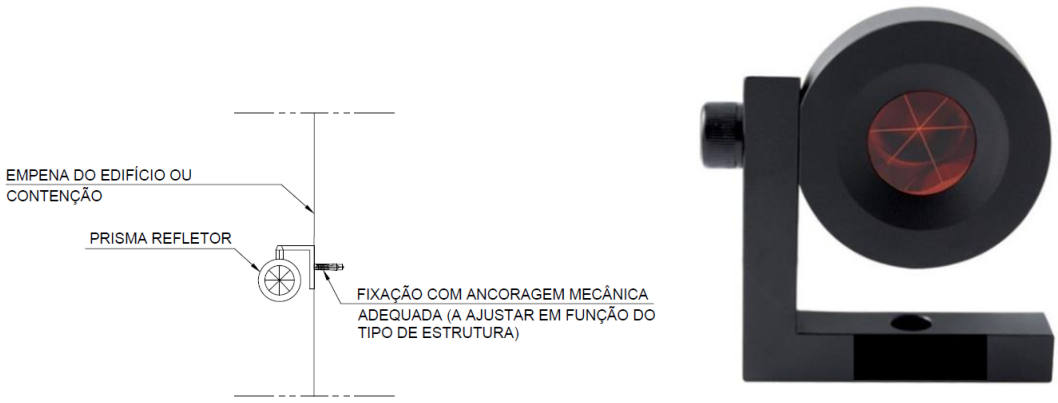


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90°. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

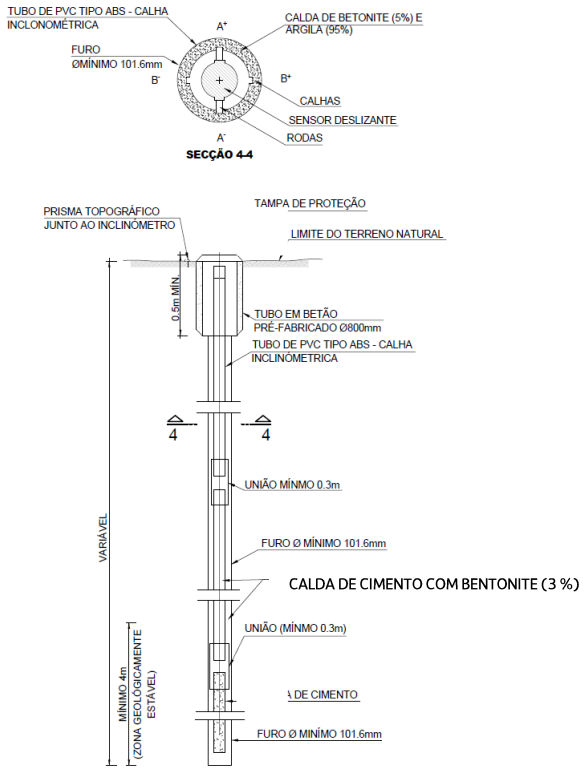


Figura 3 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.3 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 4).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa
- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

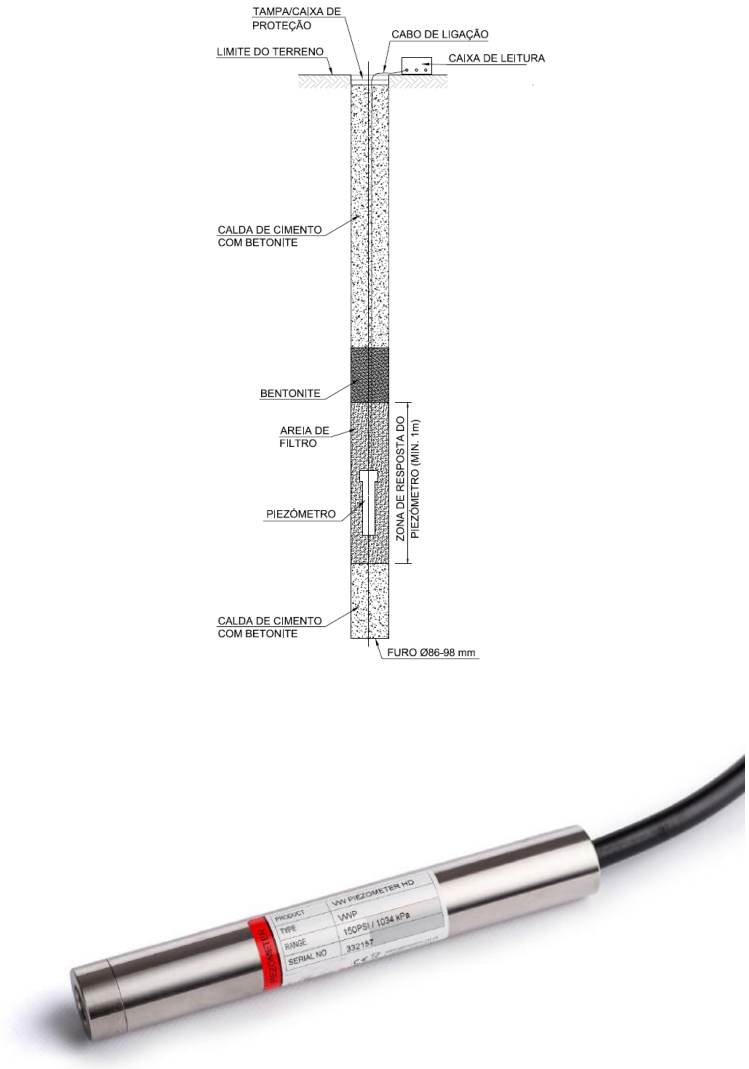


Figura 4 - Piezómetro elétrico com uma câmara

5.4 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge*

Os extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* permitem a medição indireta de deslocamentos muito pequenos por intermédio de sensores de corda vibrante que medem a extensão dos elementos estruturais aos quais se encontram ligados através de soldadura (Figura 5). Estes dispositivos serão instalados nas escoras metálicas que constituem a solução de travamento da contenção, permitindo medir a extensão acomodada pelas mesmas e consequentemente a força instalada aquando da execução dos trabalhos de escavação.

Deverão ser utilizados *strain-gauges* de corda vibrante, com campo de leitura não inferior a 3000$\mu\varepsilon$, resolução < 1,0$\mu\varepsilon$ e precisão de ordem inferior a ± 0,5% da capacidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20°C e +80°C). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

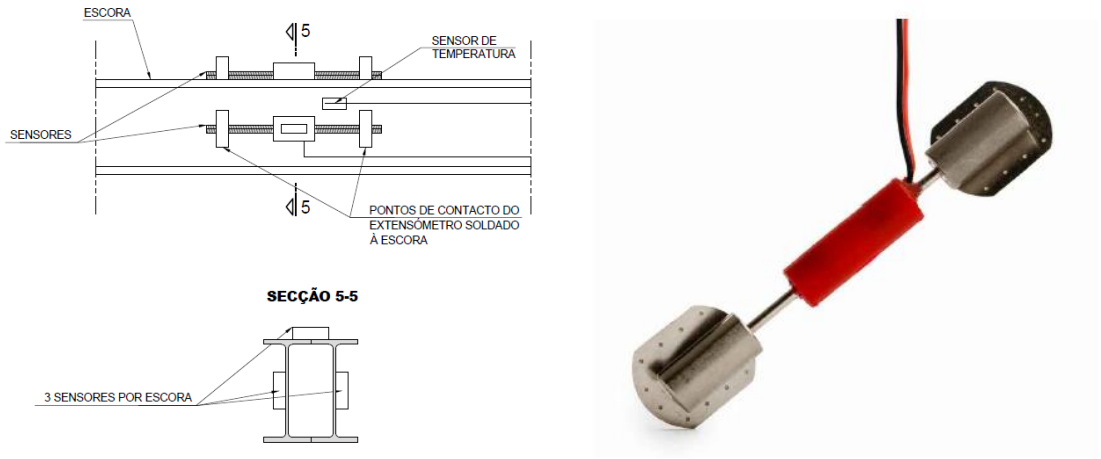


Figura 5 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge*

5.5 Prisma topográfico de referência

Para garantir a adequada leitura dos vários dispositivos topográficos instalados será necessário posicionar elementos adicionais que constituirão a sua referência. Constituem dispositivos de precisão de leitura ótica, sendo utlizados para a realização de leituras nos eixos X, Y e Z (Figura 6). À semelhança dos anteriores também estes dispositivos têm uma importância crítica na criação de uma rede de instrumentação, pois permitem ter um conjunto de coordenadas de referência invariáveis e não-suscetíveis a deslocamentos. Nesse sentido, a escolha da sua localização deve ser realizada de forma criteriosa.

Procurou-se distribuir este tipo de dispositivos de forma a garantir que possuem alcance até cerca de 200 metros, sendo necessário garantir visibilidade direta entre este elemento e aquele que se pretende ler. Cada dispositivo a ler (prisma topográfico) deverá estar referenciado, no mínimo, a 3 unidades de referência, de forma a permitir a existência de redundância e consequentemente, o controlo cruzado entre os vários dispositivos.

O prisma ótico encontra-se acoplado a uma haste metálica robusta que será adequadamente fixa à parede do elemento que será considerado como fixo.

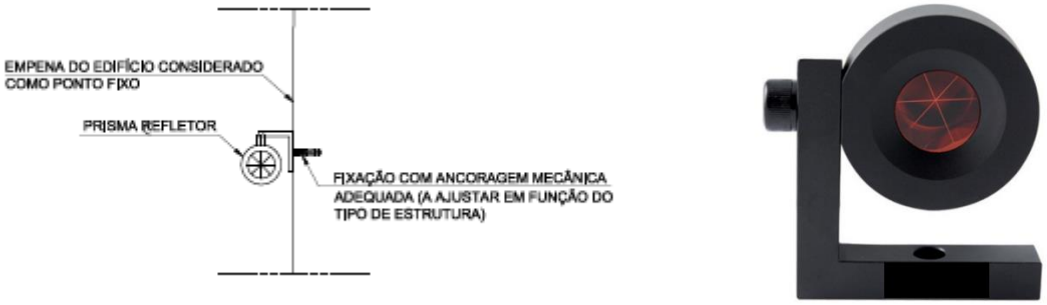


Figura 6 – Prisma topográfico de referência

5.6 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5" e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a

leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 7).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

Figura 7 – Estação total robotizada

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 11.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 8).

Figura 8 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 9).

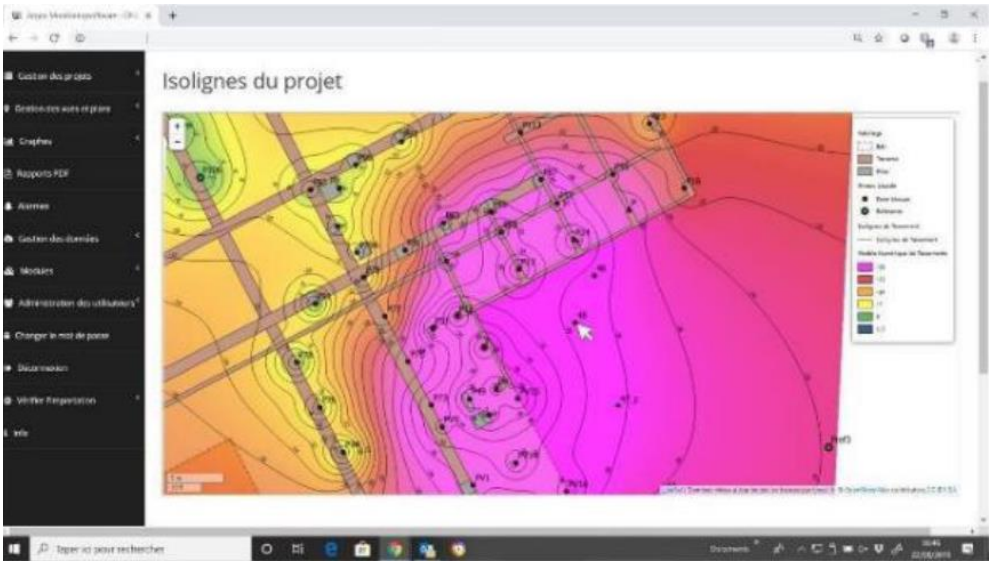


Figura 9 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 10).

Figura 10 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

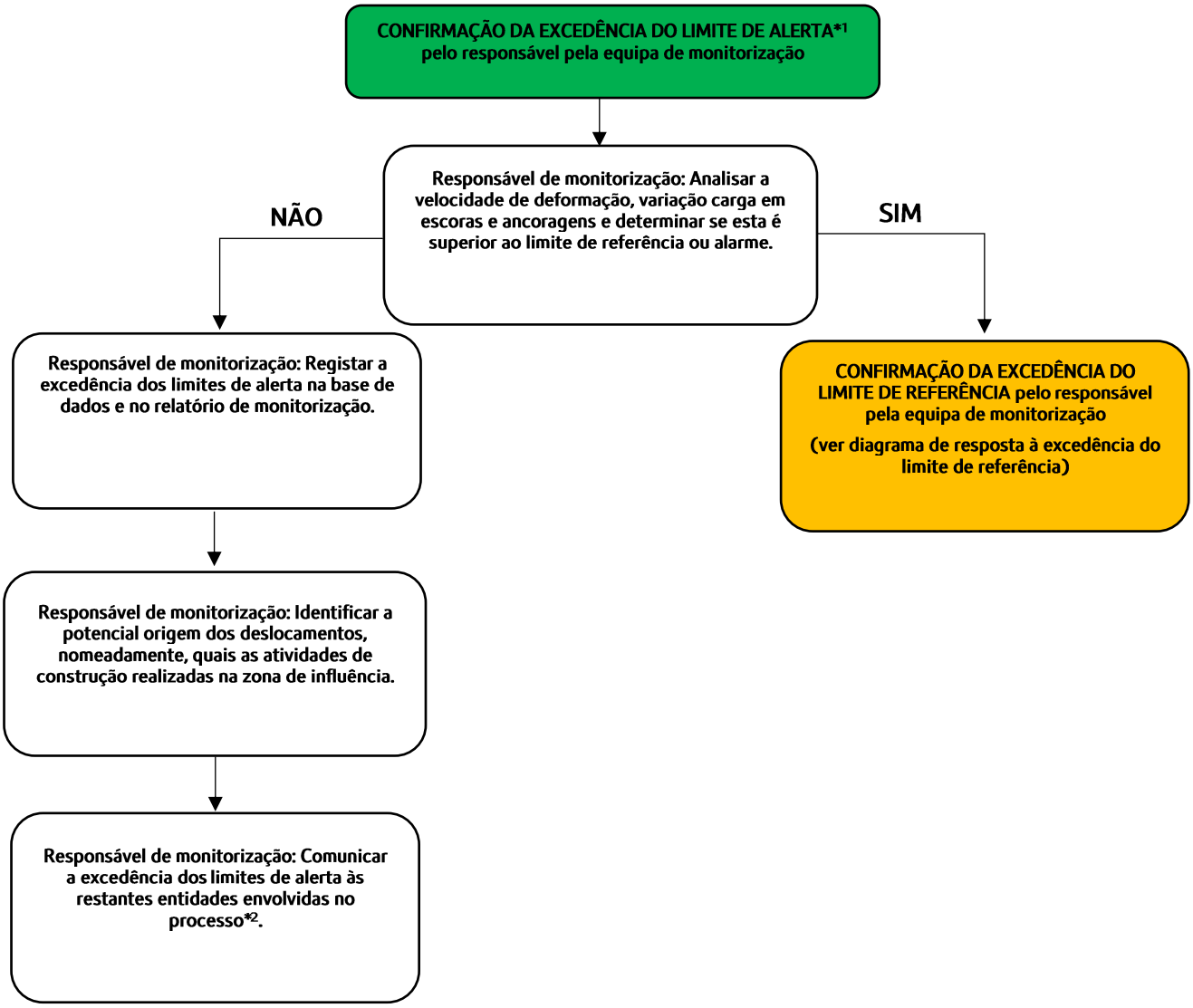
Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 11.2.

11 ANEXOS

11.1 Anexo A – Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

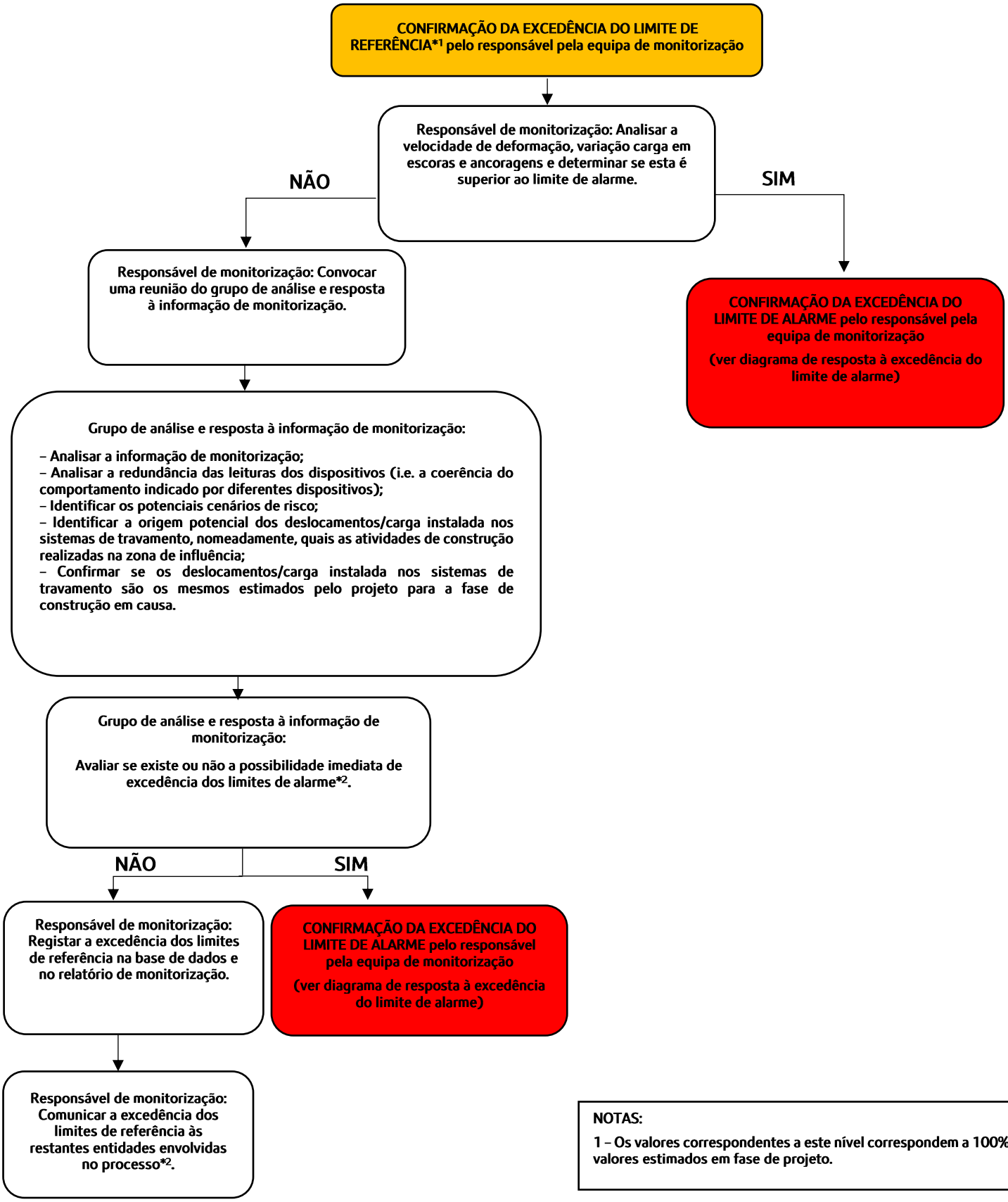
DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA



NOTAS:

1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- Analisar a informação de monitorização;
- Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);
- Identificar os potenciais cenários de risco;
- Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;
- Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;
- Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;
- Realização de inspeções visuais à estrutura;
- Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;
- Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- Quadro A – Estação Campo de Ourique – Poço Central
- Quadro B – Estação Campo de Ourique – Galerias subterrâneas
- Quadro D – Estação Campo de Ourique – Escavação a céu aberto – Acesso Este
- Quadro E – Estação Campo de Ourique – Escavação a céu aberto – Acesso Oeste

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*3.

No máximo em 24 horas

NOTAS
1 – Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.
2 – As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

11.2 Anexo B – Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – Estação Campo de Ourique – Poço Central

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Drenos adicionais nas paredes da contenção;
- Reforço da capacidade bombagem;
- Instalação de escoras metálicas adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Aumento da carga de blocagem nas ancoragens realizadas;
- Realização de ancoragens adicionais;
- Realização de vigas de distribuição adicionais;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da escavação.

Quadro B – Estação Campo de Ourique – Galerias subterrâneas & Túnel NATM

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Redução da distância de avanço de escavação;
- Aumento da densidade de pregagens de fibra de vidro na frente de escavação;
- Realização de chapéu de enfilagens nos avanços intermédios;
- Realização de furos de drenagem adicionais na frente e/ou nos hasteais;
- Aplicação de betão projetado na frente de escavação;
- Aumento da parcialização da escavação da frente;
- Inclusão de rede electrossoldada entre cambotas;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da frente de escavação.

Quadro D – Estação Campo de Ourique – Escavação a céu aberto – Acesso Este & Acesso Oeste

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Limitação da afluência de água por recalçamento da ficha das cortinas;
- Furos de drenagem/alívio de pressão adicionais no fundo da escavação;
- Instalação de escoras metálicas adicionais;
- Realização de ancoragens adicionais;
- Realização de vigas de distribuição adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-04	Emissão do Projeto de Execução

Metropolitano de Lisboa

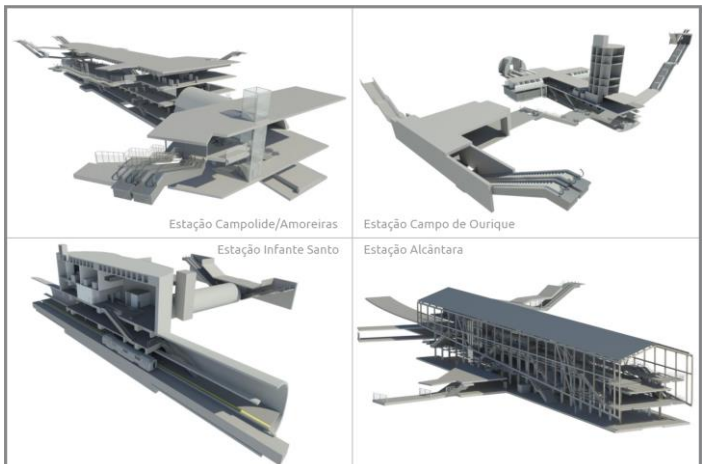
METRO DE LISBOA

LINHA VERMELHA ENTRE SÃO SEBASTIÃO E ALCÂNTARA

EMPREITADA DE CONCEÇÃO E CONSTRUÇÃO DO PROLONGAMENTO DA LINHA

TOMO I – GERAL

PROJETO DE EXECUÇÃO



VOLUME 40 – PLANO DE OBSERVAÇÃO

ESTAÇÃO ALCÂNTARA - PLANO DE OBSERVAÇÃO

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

Documento SAP:	LVSSA MSA PE INS EST AC MD 085001 0

	Nome	**Assinatura**	**Data**
Elaborado	José Bernardo Lobo		2024-10-03
Revisto	Afonso Marques		2024-10-03
Verificado	Sergio Notarianni		2024-10-03
Coordenador Projeto	Rui Rodrigues		
Aprovado	Raúl Pistone		

Metropolitano de Lisboa

MOTA-ENGIL ENGENHARIA spie batignolles international efacec coba Portugal JET SJ JLCM PINI GROUP TAL S+A

1 OBJETIVO E ÂMBITO 6

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO 8

3 GRANDEZAS A MEDIR 10

3.1 Escavações subterrâneas 10
3.2 Escavações a céu aberto 11
3.3 Edificações 11

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO 12

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA 12

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções 12
5.2 Prisma topográfico para pavimento 13
5.3 Extensómetro multiponto 13
5.4 Inclinómetros 15
5.5 Sensor de nível líquido 17
5.6 Piezómetro elétrico 17
5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC 18
5.8 Piezómetro do tipo Casagrande - câmara simples, dupla ou tripla 19
5.9 Prisma topográfico para carril 20
5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* 21
5.11 Fissurómetros 22
5.12 Células de carga 22
5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas 23
5.14 Sismógrafo 24
5.15 Clinómetro 26
5.16 Prisma topográfico de referência 26
5.17 Estação total robotizada 27

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS 28

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA 31

7.1 Critérios de alerta e alarme 31

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO 32

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO 34

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA 34

11 ANEXOS 35

11.1 Anexo A - Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência 35

11.2 Anexo B - Medidas de atuação/ plano de contingência 39

1 OBJETIVO E ÂMBITO

O presente documento diz respeito ao desenvolvimento, ao nível de **Projeto de Execução**, da **Memória Descritiva e Justificativa do Plano de Observação**, desenvolvida no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, que é parte integrante do Tomo **V** do **Volume 4 – AC – Estação de Alcântara**.

Neste documento incluem-se as obras subterrâneas, as escavações a céu aberto e as edificações ao longo do limite da área de influência da obra (25 m do limite da infraestrutura).

A elaboração do Plano de Observação de uma obra é condicionado pelas características específicas de cada estrutura, nas quais se incluem as condições da fundação, a ocupação à superfície, as características dos materiais utilizados, os métodos construtivos e, ainda, os critérios adotados no seu dimensionamento. Além destes parâmetros diretamente relacionados com as estruturas devem ser igualmente consideradas as ações exteriores, os valores humanos e os danos materiais envolvidos na ocorrência de uma eventual rotura.

O Plano de Observação envolve a definição de um sistema de observação e dos critérios para a sua exploração e visa a interpretação do comportamento e a avaliação das condições de segurança das várias frentes de obra existentes durante toda a fase de construção. Deste modo, será possível interpretar o comportamento da obra nas suas diferentes fases de construção, com base nos resultados de observação, permitindo aferir os pressupostos admitidos no projeto, ao nível dos condicionamentos geológico, geotécnicos e4 hidrogeológicos do local, dos métodos de cálculo, dos critérios de projeto e consequente verificação da funcionalidade da obra.

O Plano de Observação deve ser considerado como uma peça ”dinâmica” e que, por isso, deverá ser atualizado, podendo sofrer algumas adaptações decorrentes da evolução dos processos construtivos, da estratégia construtiva a implementar, e de eventuais particularidades e/ou informações entretanto obtidas.

O Plano de Observação é definido para as estruturas a executar e para a sua envolvente. A parte correspondente às estruturas a construir será definida, onde aplicável, em cada Tomo, para cada volume específico. Os dispositivos de instrumentação a aplicar nas interferências e infraestruturas existentes na vizinhança da obra encontram-se definidos nos volumes do Tomo II correspondentes aos troços de túnel, abrangendo, quando aplicável, a zona da estação mais próxima.

2 CRITÉRIOS GERAIS ASSOCIADOS AO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

O recurso a instrumentação e observação permitirá realizar o controlo proactivo e sistemático dos trabalhos através da observação dos parâmetros que influenciam o desenvolvimento da obra, com o fim de verificar as hipóteses de projeto e, onde necessário, adaptá-lo antecipadamente de forma a garantir, sem subestimar a segurança, o cumprimento dos tempos de execução, a gestão das aleatoriedades e dos imprevistos no contexto geológico, geotécnico e hidrogeológico em que a obra se insere.

Esta abordagem dinâmica possibilita o controlo e a adaptação atempada das soluções e consequente minimização do risco geotécnico da obra (Figura 1).

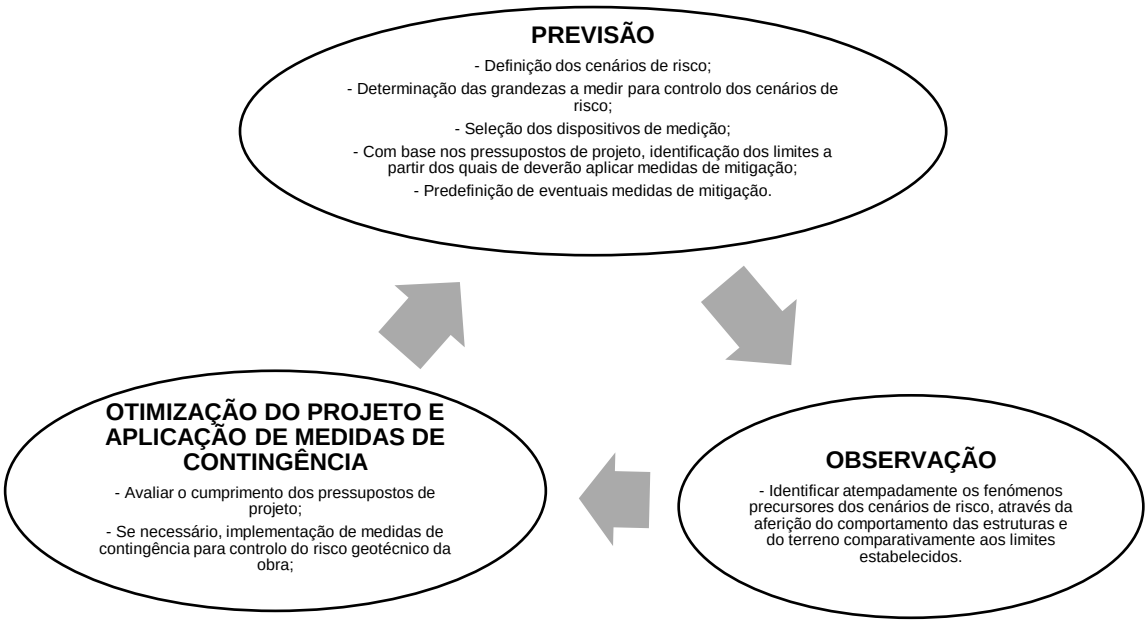


Figura 1 – Abordagem geral do Plano de Observação

O sistema de observação proposto é constituído por instrumentos de provada confiabilidade e de uso corrente em obras similares. Todos os dispositivos de instrumentação e observação serão adequadamente protegidos de forma a evitar que sejam danificados durante a execução da obra.

A realização de leituras de instrumentação e observação de carater topográfico pressupõe o recurso a elementos de referência adequados, posicionados numa zona da obra que não sofra perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura associado seja mínimo.

A adequada instalação dos dispositivos de instrumentação tem uma importância estratégica para o correto desempenho do sistema de observação, em particular, para aqueles instrumentos que uma vez instalados não ficam acessíveis.

As técnicas e procedimentos de instalação dos vários dispositivos serão sempre executadas de acordo com as indicações dos fabricantes e fornecedores.

Toda a instrumentação irá ser instalada com a devida antecedência em relação ao início dos trabalhos para se conseguirem adequadas leituras de referência. Durante a fase de obra, serão realizadas leituras com a frequência necessária para garantir um atempado reconhecimento dos fenómenos precursores dos cenários de risco e eficaz aplicação de medidas de contingência. Após a conclusão dos trabalhos, realizar-se-ão leituras que permitam confirmar o comportamento previsto das estruturas e do terreno.

A redundância da instrumentação constituirá um aspeto importante para aumentar a confiança no sistema e permitir um controlo adequado e fidedigno.

No enquadramento anterior, o sistema de observação foi definido para as diferentes obras associadas ao projeto cujo acompanhamento do comportamento se julga necessário. Neste documento abordar-se-á a instrumentação associada a escavações a céu aberto, contenções periféricas, nomeadamente a Estação de Alcântara (AC).

Os sistemas de observação preconizados atendem às diferentes fases da obra.

Resumidamente os dispositivos de medição preconizados para cada frente de obra são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dispositivos de medição preconizados para a obra

FRENTE DE OBRA	PRISMA TOPOGRÁFICO (EDIFÍCIOS E CONTENÇÕES)	PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)	EXTENSÓMETRO MULTIPONTO	INCLINÓMETRO	SENSOR DE NÍVEL LÍQUIDO	PIEZÓMETRO ELÉTRICO	PEIZÓMETRO TIPO CASAGRANDE	PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL	EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA ESCORAS DE AÇO	FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)	CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA PARA ANCORAGENS COM STRAIN GAUGES	PRISMA DE CONVERGÊNCIA	SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)	CLINÓMETRO (*TILTMETER*)	PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA	ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)
Estação de Alcântara (AC)	X			X					X		X					

Nos pontos subsequentes descrevem-se os sistemas de observação para as diferentes estruturas e nas peças desenhadas apresenta-se a sua implantação de princípio, que poderá ser adaptada em função da evolução do projeto, quer no que se refere ao número, quer no que se refere à disposição dos aparelhos de medição.

3 GRANDEZAS A MEDIR

De um modo geral as grandezas a medir serão:

- Medições de deslocamentos verticais e horizontais e convergências no interior de galerias subterrâneas recorrendo a prismas topográficos.
- Medição da inclinação dos edifícios recorrendo a clinómetros.
- Medição da abertura de fendas em edifícios, utilizando fissurómetros.
- Medições de deslocamentos verticais internos do maciço e à superfície, com extensómetros multiponto.
- Medição de deslocamentos horizontais em profundidade através de inclinómetros.
- Medições de deslocamentos verticais e horizontais nos pavimentos e carris utilizando prismas de pavimento e de carris.
- Medições dos níveis piezométricos recorrendo a piezómetros do tipo Casagrande (com uma ou várias câmaras) e elétricos.
- Variações de tração instalada nas ancoragens através de células de carga elétricas.
- Medição de vibrações induzidas recorrendo a sismógrafos.
- Medições de deslocamentos axiais de elementos estruturais recorrendo a extensómetros (tipo *strain gauges*).
- Medição de deslocamentos de precisão na estrutura interior de edifícios, utilizando sensores de nível liquido.

3.1 Escavações subterrâneas

A avaliação da evolução do comportamento das obras subterrâneas será realizada através do registo dos deslocamentos do terreno e observação de eventuais fissurações no revestimento primário. Para tal serão criadas secções de medição de convergências e deslocamentos, onde serão instalados, em geral, 3 prismas para secções cuja maior dimensão seja menor ou igual a 10 m e 5 prismas para secções com a maior dimensão superior a 10 m. Para a secções com 3 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 1 em cada hasteal, que permitirão para além dos deslocamentos nesses pontos, o controlo de 3 cordas diferentes. Para a secções com 5 prismas, serão instalados 1 na abóbada e 2 em cada hasteal, acima e abaixo do eixo da galeria, que permitirão o controlo de 6 cordas diferentes.

No terreno e à superfície serão executados extensómetros multiponto, inclinómetros e prismas topográficos no pavimento, em carris e em edifícios.

Em geral, no que diz respeito às grandezas a observar, para além dos deslocamentos será também avaliada a variação/presença de água através da instalação de piezómetros.

As ações relacionadas com a presença e escoamento de água nas escavações subterrâneas serão controladas pela observação sistemática dos caudais afluentes. Quando necessário, assumem particular destaque aos drenos longitudinais realizados em avanço da escavação, que permitirão antever as condições hidrogeológicas do terreno a escavar.

3.2 Escavações a céu aberto

O plano de observação proposto contempla a medição dos deslocamentos, em particular, durante a execução dos trabalhos, à superfície e em profundidade, nomeadamente assentamentos e deslocamentos horizontais. Para este efeito será necessário recorrer à colocação de prismas topográficos e inclinómetros. A força nos escoramentos metálicos será controlada através de extensómetros (*strain–gauge*), posicionados em redundância em cada seção.

A evolução da tração instalada nas ancoragens será medida recorrendo a células de carga.

A medição da evolução do nível de água será obtida recorrendo a piezómetros.

3.3 Edificações

Para o controlo das edificações próximas às obras será implementado um sistema de monitorização composto por:

- Prismas topográficos para o controlo dos deslocamentos dos edifícios.
- Sismógrafos para o controlo das vibrações induzidas pela execução das obras.
- Clinómetros para o controlo das inclinações.
- Fissurómetros para o controlo de eventuais fissuras presentes nas edificações.

A adoção de medidas de observação permitirá em fase de obra monitorizar os movimentos ocorridos em interferências e, se necessário, tomar medidas de minimização dos movimentos das estruturas e consequentemente reduzir os riscos humanos e materiais associados a estes movimentos. Assim sendo, foram estabelecidos dois níveis de observação (I e II), que se diferenciam, respetivamente, pela complexidade crescente da instrumentação instalada e pela frequência de leitura a realizar.

- Observação Nível I – Monitorização recorrendo essencialmente a prismas topográficos;
- Observação Nível II – Monitorização recorrendo prismas topográficos a clinómetros, fissurómetros e sismógrafos.

Note-se que os sismógrafos devem ser instalados o mais próximo possível às fundações das edificações e que os fissurómetros devem ser instalados apenas em caso de presença de fissuras.

4 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

A necessidade observação da zona de intervenção, em particular do comportamento do terreno, dos elementos estruturais das contenções, suporte primário dos túneis e das interferências, obriga à implementação de um sistema de monitorização integrado que interfira o menos possível com as atividades de construção. Em simultâneo, dado que a obra se insere em meio urbano, é fundamental coordenar o posicionamento dos dispositivos com os condicionamentos existentes.

A localização proposta para os aparelhos citados encontra-se representada nas peças desenhadas. O posicionamento definitivo da instrumentação prevista poderá eventualmente ter que ser ajustado, dependendo das condições existentes no local.

Sempre que possível, irão utilizar os piezómetros executados nas campanhas de prospeção geotécnica e hidrogeológica complementares.

O critério para a instalação de equipamentos de observação em interferências, nomeadamente a observação Nível I, resulta da Avaliação de Danos descrita em documento autónomo.

5 DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS CARATERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE LEITURA

Nos subcapítulos subsequentes encontram-se descritas sumariamente, as caraterísticas dos vários dispositivos de instrumentação e observação. Essas caraterísticas constituem um complemento às especificações técnicas do Metro (ET- 208 – PP INS ET 208).

5.1 Prisma topográfico para edifícios e contenções

Os prismas topográficos para edifícios e contenções consistem num elemento fixo na sua fachada ou nos elementos estruturais das contenções e permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada (Figura 2).

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada, com base em pontos estáveis, materializados através do mesmo tipo de dispositivos, localizados fora da zona de influência das obras a executar. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

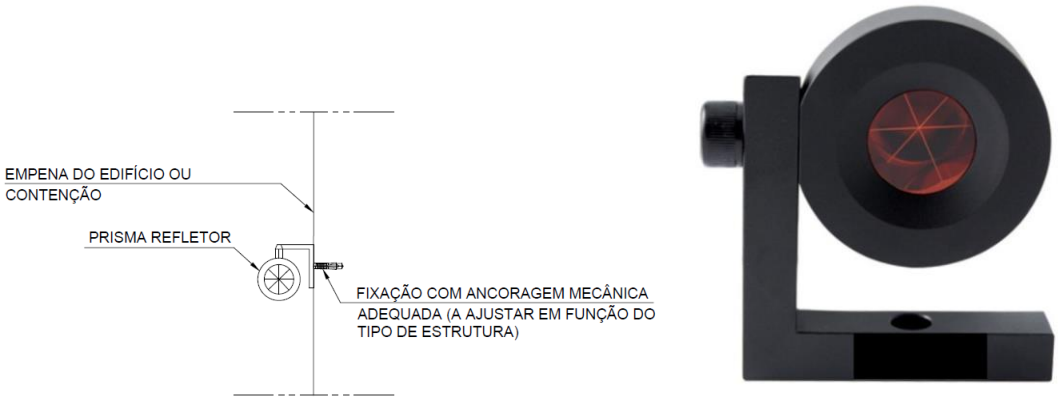


Figura 2 – Prisma topográfico para edifícios e contenções

5.2 Prisma topográfico para pavimento

Os prismas topográficos para pavimento consistem num elemento adequadamente fixo ao pavimento com elevada resistência ao tráfego pedonal e rodoviário, materializado por meio de uma placa metálica que permite a realização leituras dos deslocamentos verticais.

As leituras serão efetuadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

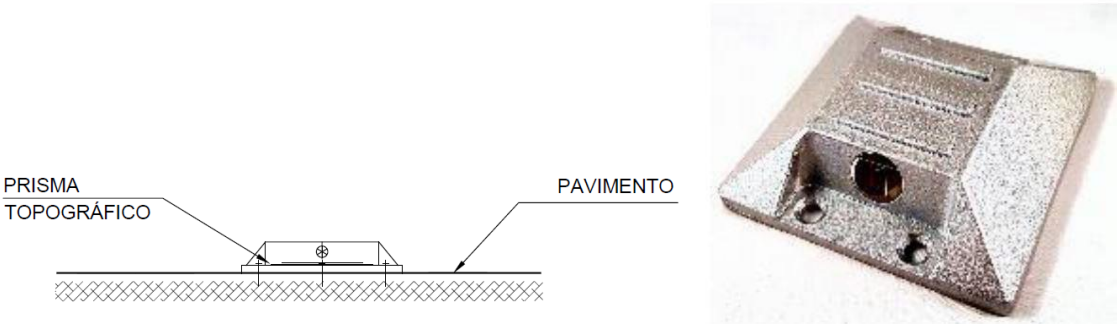


Figura 3 - Prisma topográfico para pavimento

5.3 Extensómetro multiponto

Os extensómetros permitem o controlo dos deslocamentos verticais em profundidade e encontram-se definidos nas seções de monitorização onde também estão previstas medições de deslocamentos e convergências no interior das galerias subterrâneas (Figura 4).

Os extensómetros terão 1 ou 2 ancoragens fixadas a diferentes profundidades. O sensor de deslocamento deverá ser do tipo corda vibrante dotado com sensor de temperatura.

Do conjunto deste dispositivo deverá fazer parte integrante:

- Barras/varas em aço inoxidável ou fibra de vidro

- Ancoragem (injetável com calda de cimento ou tipo *packer*)
- Bainha de encamisamento das barras/varas
- Cabeça de referência do elétrico

O extensómetro será instalado em furo previamente executado de diâmetro, no mínimo, de Ø76 mm (furação destrutiva), que terá um comprimento superior à profundidade de instalação de cerca de 1,00 m.

As cabeças dos extensómetros deverão ser equipadas com um prisma topográfico que permita obter as leituras à superfície. Aos valores das leituras das ancoragens deverão ser adicionados os assentamentos de superfície obtidos através dos prismas.

Os componentes serão montados de acordo às indicações do fabricante e instalados no furo nas cotas previstas função do seu comprimento total. Existirá uma ancoragem na extremidade correspondente à base do furo e uma segunda a 1/3 do seu comprimento total.

Uma vez finalizado o posicionamento do dispositivo, proceder-se-á a sua selagem por meio de calda de cimento.

As cabeças dos extensómetros serão protegidas por caixas com tampas metálicas adequadas.

O dispositivo será de leitura elétrica, o sensor de deslocamento ou transdutor, será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20ºC e +80ºC), possuindo no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura ≥ 100mm
- Precisão < 0,30% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,0066% da capacidade de leitura

O dispositivo será calibrado antes de ser utilizado e as leituras serão realizadas a partir da superfície. Após a realização da medição, os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

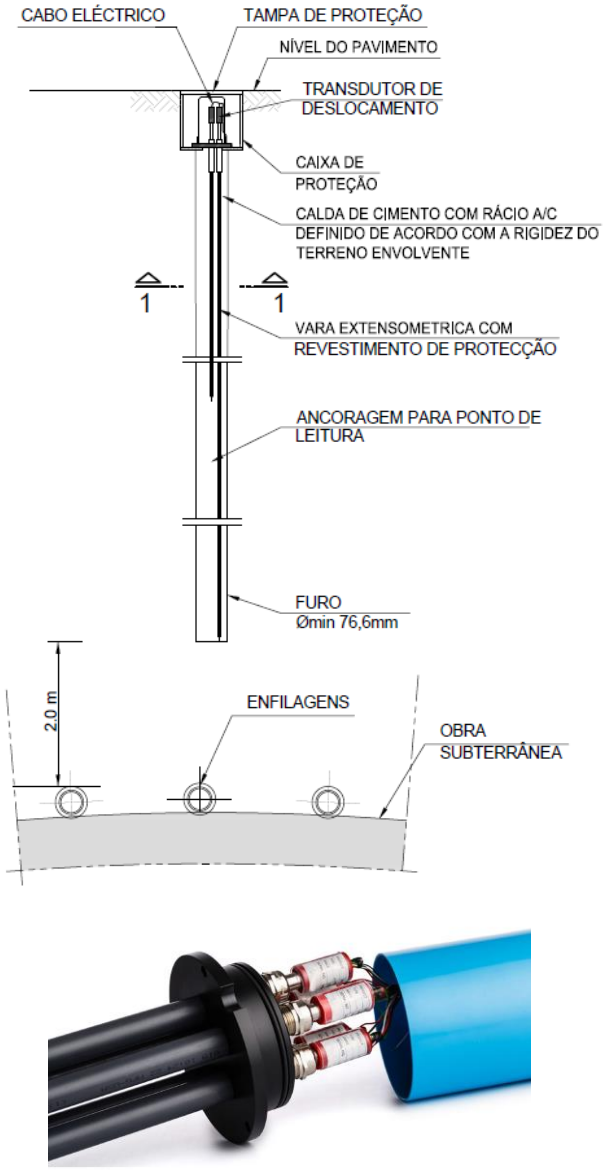


Figura 4 – Extensómetro multiponto

5.4 Inclinómetros

Os inclinómetros são constituídos por tubos com calhas guias nos quais, aquando da realização de leituras, é inserido um sensor deslizante que mede simultaneamente a distância percorrida no interior do tubo e a variação do ângulo entre os rolamentos do sensor.

As calhas inclinométricas serão em PVC, tipo ABS de alta resistência (com uniões entre troços de tubos adequadas), com diâmetro exterior de Ø84 mm e permitirão a passagem de um sensor deslizante (torpedo) dotado de pontos de referência (roletes) espaçados de 0,5 m. Este torpedo conterá dois sensores do tipo servo-acelerómetros montados com desfasamento de 90º. Uma vez no interior da calha, a profundidade a que se encontra o torpedo será controlada por uma

escala graduada de 0,5 m e impressa no próprio cabo elétrico que liga o torpedo à caixa de leituras à superfície.

A execução dos inclinómetros externos aos elementos de contenção ocorrerá antes da execução de trabalhos de escavação e apenas quando finalizados os trabalhos de execução das estruturas de contenção (onde aplicável) de modo a evitar que os mesmos sejam danificados.

Uma vez finalizado o posicionamento das calhas, proceder-se-á ao preenchimento do espaço anelar entre a face exterior da calha e as paredes do furo por meio de calda de cimento com bentonite.

Os inclinómetros serão instalados no tardoz das estruturas de contenção, realizando-se para tal uma furação à rotação de 101,6 mm (Figura 5).

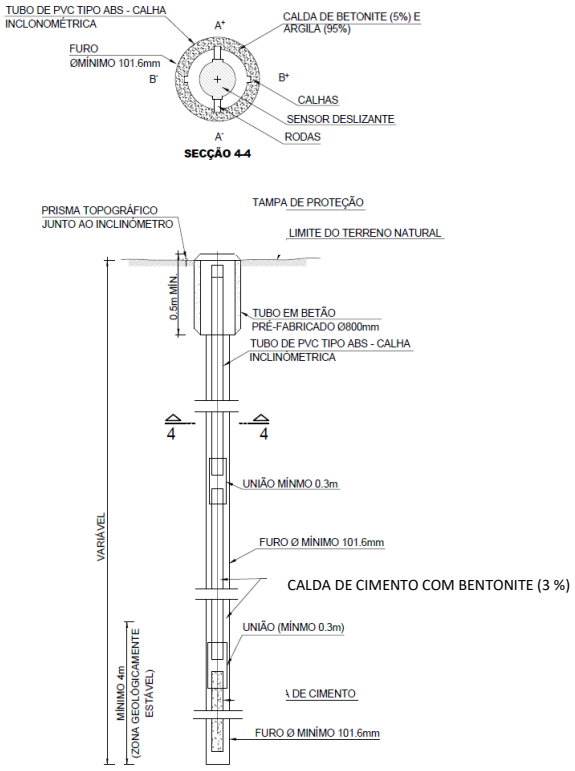


Figura 5 – Inclinómetro

Dentro das condições normais de operação, o erro máximo de cálculo da deflexão no topo de um tubo calha com 30 m de profundidade deverá ser de aproximadamente + 5 mm.

À superfície, as calhas serão protegidas através de caixas com tampas metálicas adequadas. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

5.5 Sensor de nível líquido

O sensor de nível líquido permite medir deslocamentos diferenciais e totais entre diversos pontos de uma estrutura. É constituído por um conjunto de sensores de elevada precisão que medem continuamente a variação de nível de um líquido num circuito fechado. O conjunto de sensores encontra-se ligado a um depósito que constitui o nível de referência do sistema (Figura 6). Os deslocamentos totais podem ser obtidos através da soma dos deslocamentos diferenciais com os deslocamentos totais do nível de referência, no caso de este último estar sujeito a movimentos.

As leituras serão realizadas automaticamente e enviadas para a base de dados de monitorização.

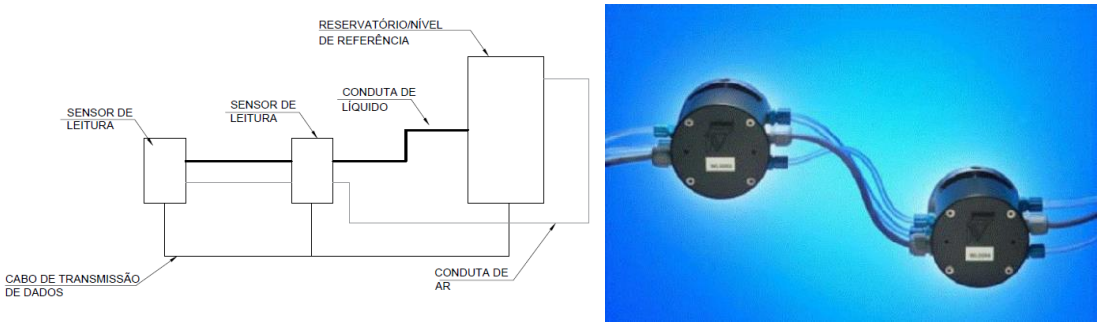


Figura 6 – Sensor de nível líquido

5.6 Piezómetro elétrico

Os piezómetros elétricos são constituídos por um dispositivo instalado no interior de um furo com diâmetro mínimo de 86 mm e envolto em areia de filtro na zona de resposta onde se pretende efetuar medições do nível piezométrico, sendo o restante espaço preenchido com material impermeável (trecho imediatamente acima com bentonite e os restantes trechos com calda de cimento, com bentonite). O topo dos piezómetros será protegida por caixas com tampas metálicas adequadas (Figura 7).

A leitura do nível piezométrico será obtida por meio de um transdutor de pressão de corda vibrante instalado no interior do furo. O fio elétrico virá à superfície de forma a possibilitar a ligação a um equipamento de registo de leituras e posteriormente carregados na base de dados de monitorização.

O dispositivo de leitura elétrica, possui as seguintes características:

- Capacidade de leitura: 500 kPa
- Precisão < 0,100% da capacidade de leitura
- Resolução: ±0,025% da capacidade de leitura

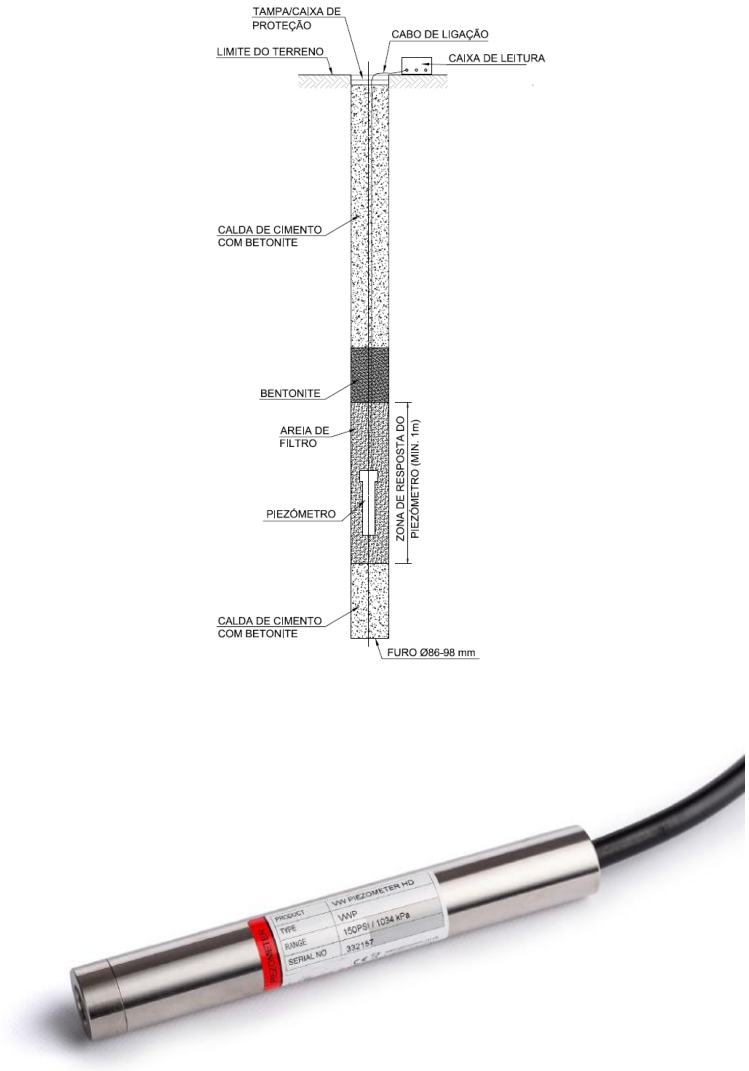


Figura 7 - Piezómetro elétrico com uma câmara

5.7 Piezómetro de Casagrande com ponteira do tipo LNEC

Os piezómetros com ponteira do tipo LNEC são um tipo de piezómetro recomendado para medição do nível de água em formações de muito baixa permeabilidade, cuja zona de resposta se localiza na extremidade inferior do piezómetro (ponteira) (Figura 8). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

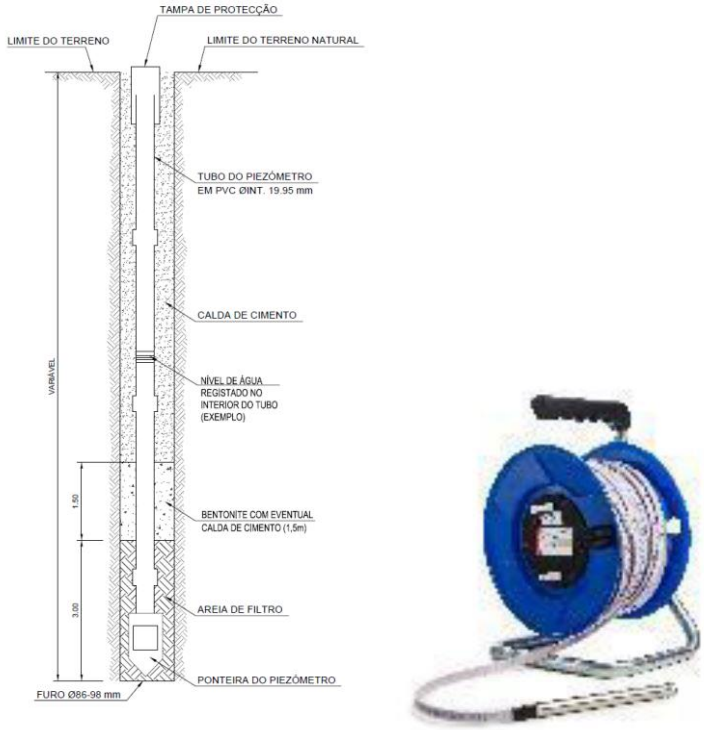


Figura 8 - Piezómetro com ponteira do tipo LNEC

5.8 Piezómetro do tipo Casagrande - câmara simples, dupla ou tripla

Os piezómetros do tipo Casagrande permitem a aferição de aquíferos a diferentes profundidades. São constituídos por troços tubos com 75 mm de diâmetro, solidarizados entre si através de uniões exteriores. Na zona onde se pretende efetuar a leitura do nível piezométrico esses tubos apresentam ranhuras com 4,5mm de espessura sendo a sua zona envolvente preenchida com areia (Figura 9 – piezómetro duplo). O número de tubos ou zonas de resposta dita a sua designação, ou seja de câmara simples – 1 tubo, câmara dupla – 2 tubos ou de câmara tripla – 3 tubos.

Na sua extremidade esses tubos são envoltos com geotêxtil (Figura 9). Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

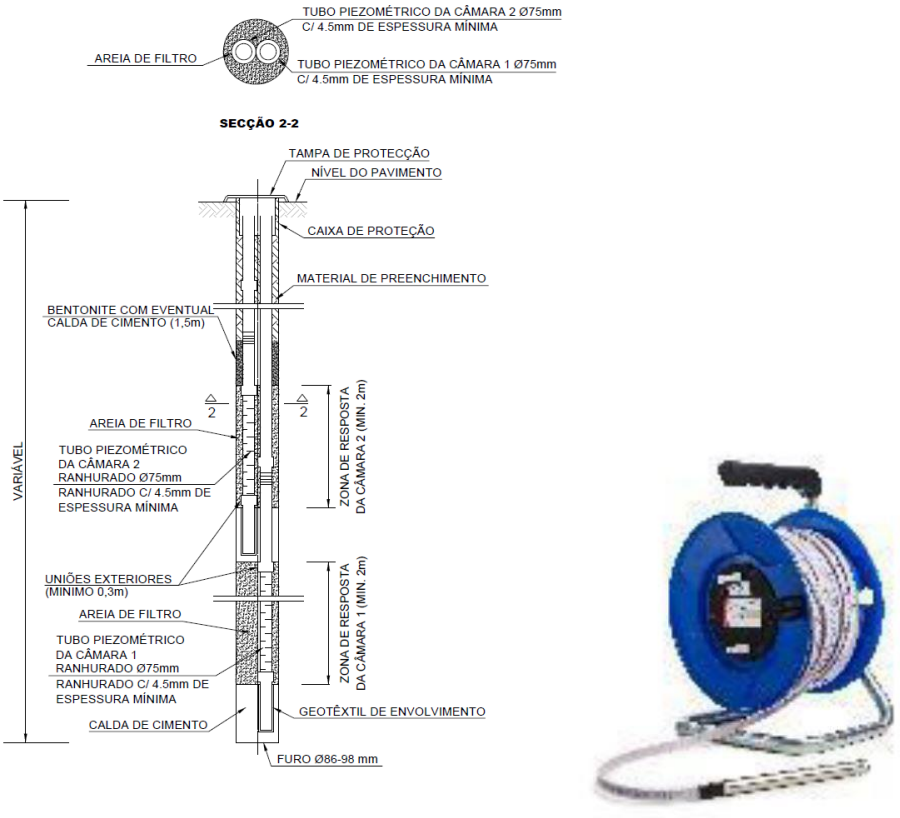


Figura 9 - Piezómetro do tipo Casagrande – Câmara dupla

5.9 Prisma topográfico para carril

Os prismas topográficos para carril, consistem num prisma instalado nas travessas das linhas do comboio da IP (Figura 10) ou num prisma para pavimento fixo entre os carris para as linhas da Carris (Figura 11). Este elementos permitem a leitura dos deslocamentos tridimensionais X,Y e Z. A fixação dos prismas será materializada preferencialmente através de fixação mecânica adequada.

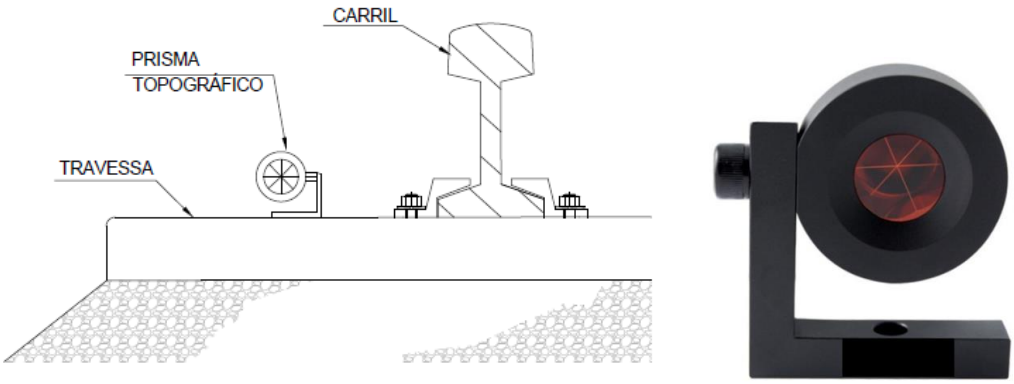


Figura 10 – Prisma topográfico para carril – Linhas IP

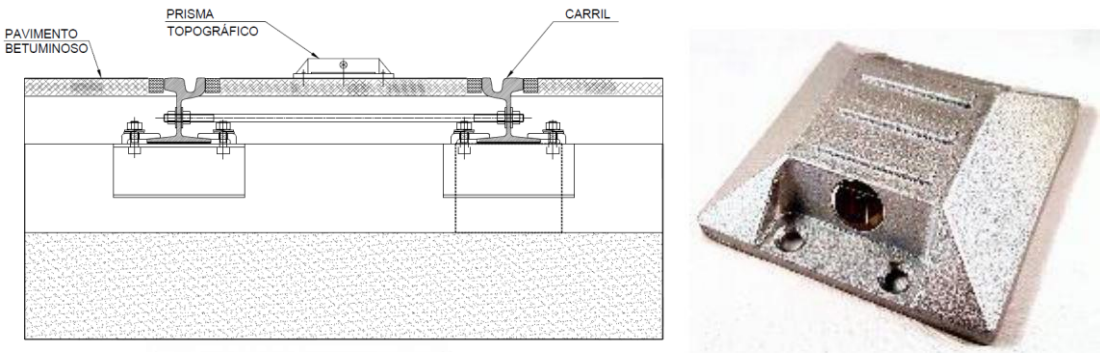


Figura 11 – Prisma topográfico para carril – Linhas Carris

As leituras serão realizadas por meio de uma estação total robotizada, devidamente referenciada com base em pontos estáveis localizados fora da zona de influência de deslocamentos. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

5.10 Extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge*

Os extensómetros para escoras do tipo *strain-gauge* permitem a medição indireta de deslocamentos muito pequenos por intermédio de sensores de corda vibrante que medem a extensão dos elementos estruturais aos quais se encontram ligados através de soldadura (Figura 12). Estes dispositivos serão instalados nas escoras metálicas que constituem a solução de travamento da contenção, permitindo medir a extensão acomodada pelas mesmas e consequentemente a força instalada aquando da execução dos trabalhos de escavação.

Deverão ser utilizados *strain-gauges* de corda vibrante, com campo de leitura não inferior a 3000με, resolução < 1,0με e precisão de ordem inferior a ± 0,5% da capacidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -20ºC e +80ºC). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

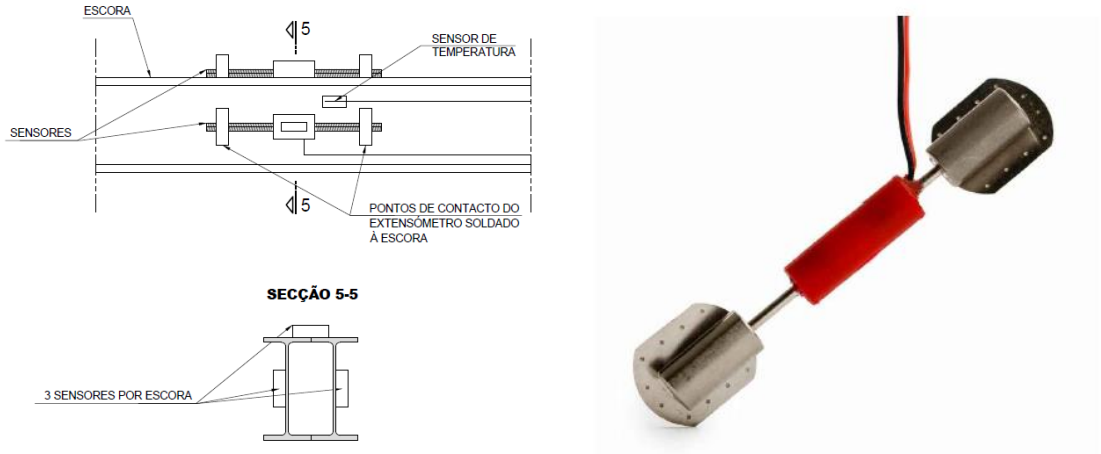


Figura 12 - Extensómetro para escoras do tipo *strain-gauge*

5.11 Fissurómetros

Este tipo de diapositivos permitirá acompanhar a evolução da abertura de uma determinada fissura.

Os fissurómetros a utilizar deverão ser planos e deverão permitir a realização de leituras de deslocamentos na horizontal e na vertical. Será ainda necessário que possuam capacidade resistente adequada às intempéries, devendo ser fixos de forma adequada (mecanicamente).

O seu alcance máximo será, no mínimo de 25 mm, na horizontal e 10 mm na vertical, devendo a sua resolução ser, no mínimo, de 0,1 mm (Figura 13). Para garantir esta resolução será necessário recorrer no ato da medição a uma craveira digital que se acopla ao fissurómetro.

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

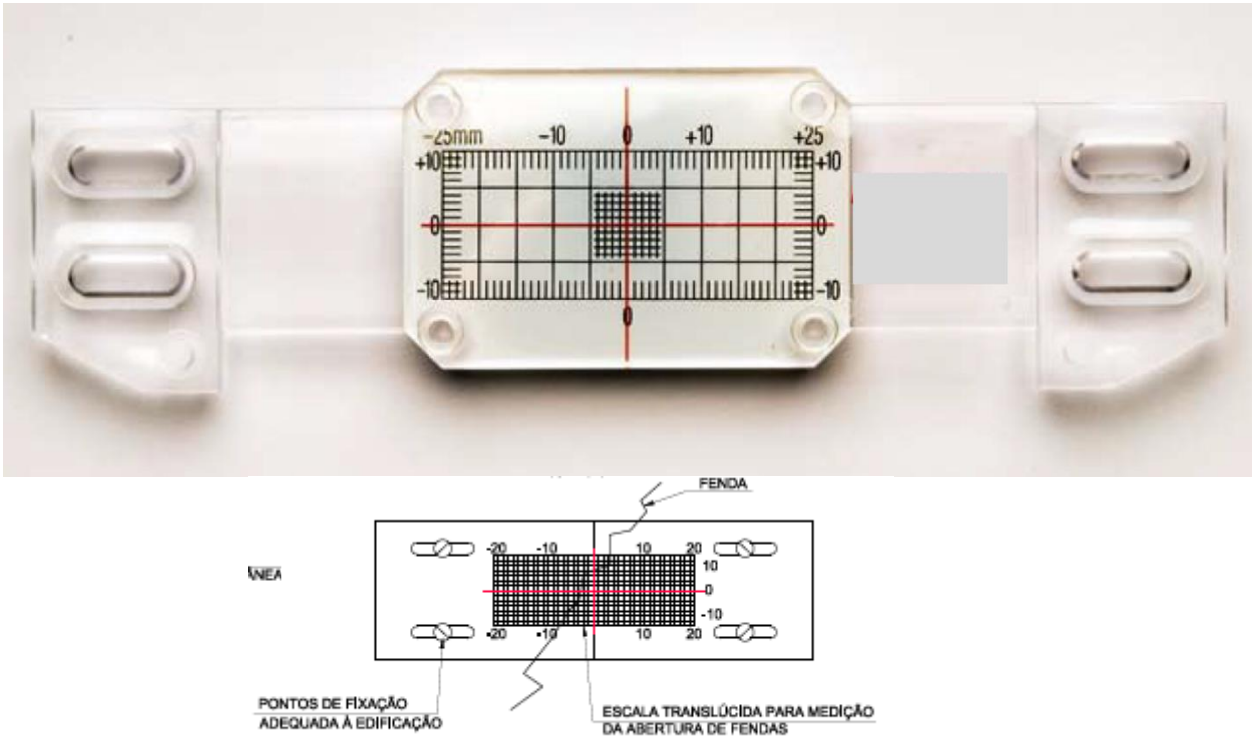


Figura 13 – Fissurómetro

5.12 Células de carga

O recurso a células de carga em ancoragens permitirá o acompanhamento da evolução e magnitude da tração instalada nestes elementos em fase de obra.

As células de carga a adotar nas ancoragens provisórias serão do tipo elétrico.

Em condições normais de leitura, o erro associado a estes dispositivos não deverá ultrapassar os ± 0,1% da capacidade máxima de leitura. A sua capacidade máxima de leitura deverá ser superior aos 1500 kN.

A instalação das células de carga será efetuada antes da realização do ensaio de receção detalhado da ancoragem. As células serão posicionadas sobre a chapa de apoio da ancoragem, sendo posteriormente colocada uma chapa metálica rígida adicional e posteriormente a placa de distribuição das cunhas.

A superfície de contacto com a célula deve estar plana e limpa. A colocação da célula deve ser criteriosa, de forma a que a mesma fique centrada com o eixo da aplicação da carga, evitando-se assim excentricidades, com consequência no rigor das leituras (Figura 14). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

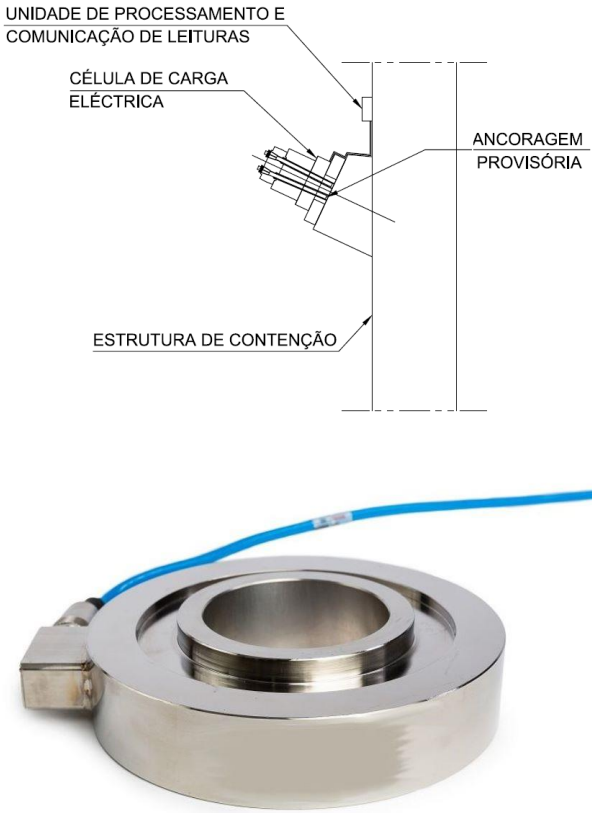


Figura 14 – Célula de carga em ancoragens

5.13 Deslocamentos e convergências em galerias subterrâneas

Face aos condicionamentos associados à necessidade de monitorizar as galerias subterrâneas durante a sua execução, a medição das convergências será materializada recorrendo a elemento ótico que permitirá, em condições mais adversas obter com maior precisão leituras de deslocamentos tridimensionais X, Y e Z. A instalação destes dispositivos de forma sistemática e em vários pontos de leitura em seção transversal de cada galeria a executar, permitirá ler não só os deslocamentos do ponto monitorizado, mas também criar secções de medição de convergências, através do controlo de diferentes cordas.

O sistema de fixação destes dispositivos é mecânico e deverá ser realizado ao betão projetado do suporte primário (através de resina epóxi ou de calda de cimento de presa rápida). Na sua extremidade visível a barra é roscada, de forma a permitir acoplar o prisma (Figura 15).

A sua colocação não deverá ultrapassar o primeiro dia após a realização total do suporte primário. Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

De modo a permitir a instalação dos prismas o mais rápido possível, antes que a espessura total do suporte primário esteja aplicada, serão utilizados dispositivos de proteção da fixação que permitirão proteger o elemento de fixação do prisma durante a aplicação das sucessivas camadas de betão projetado (Figura 15).

Figura 15 – Prisma de convergência

5.14 Sismógrafo

Preconiza-se durante a fase de construção o posicionamento de sismógrafos junto às edificações mais vulneráveis. Pretende-se o registo das velocidades e frequências de vibrações eventualmente provocadas pela execução dos trabalhos de construção (Figura 16).

As medições de vibrações serão feitas através de um geofone triaxial com uma capacidade de leitura de 2-250 Hz (janela de calibração mínima 1-160 Hz). Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

No caso dos sismógrafos utilizados simultaneamente para a monitorização dos limites de integridade estrutural e de vibrações de incomodidade humana, serão adotados dispositivos com a sensibilidade necessária à monitorização dos respetivos limites (conforme Plano de Monitorização Ambiental).

Figura 16 – Sismógrafo

5.15 Clinómetro

Os clinómetros permitiram a medição da variação de inclinação das paredes dos edifícios. Quando possível, estes fornecerão leituras remotamente, sendo constituídos por bases de leitura em bronze, concebidas para garantir o posicionamento preciso e repetitivo do equipamento de leitura (Figura 17).

As bases de leitura serão fixas de forma mecânica e permanente à estrutura, sendo instaladas diretamente, normalmente na vertical, ou soldadas numa chapa em T, de dimensões adequadas para permitir a sua instalação na horizontal em elementos verticais.

O equipamento de leitura será constituído por sensor instalado num elemento em aço inoxidável, permitindo a realização de leituras nas bases instaladas em superfície verticais ou horizontais, através de uma unidade de leitura.

O dispositivo será dotado com sensor de temperatura (medição entre -30ºC e +70ºC).

O equipamento de leitura possuirá no mínimo as seguintes características:

- Capacidade de leitura: ± 15º a partir da vertical
- Resolução: 0,0013º
- Precisão: < 0,06% da capacidade máxima de leitura

Após a realização da medição os dados recolhidos são carregados na base de dados de monitorização.

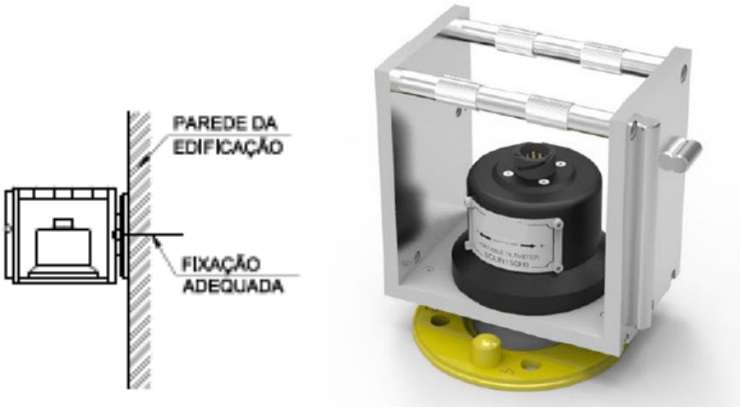


Figura 17 – Clinómetro

5.16 Prisma topográfico de referência

Para garantir a adequada leitura dos vários dispositivos topográficos instalados será necessário posicionar elementos adicionais que constituirão a sua referência. Constituem dispositivos de precisão de leitura ótica, sendo utlizados para a realização de leituras nos eixos X, Y e Z (Figura 18). À semelhança dos anteriores também estes dispositivos têm uma importância crítica na criação de uma rede de instrumentação, pois permitem ter um conjunto de coordenadas de referência invariáveis e não-suscetíveis a deslocamentos. Nesse sentido, a escolha da sua localização deve ser realizada de forma criteriosa.

Procurou-se distribuir este tipo de dispositivos de forma a garantir que possuem alcance até cerca de 200 metros, sendo necessário garantir visibilidade direta entre este elemento e aquele que se pretende ler. Cada dispositivo a ler (prisma topográfico) deverá estar referenciado, no mínimo, a 3 unidades de referência, de forma a permitir a existência de redundância e consequentemente, o controlo cruzado entre os vários dispositivos.

O prisma ótico encontra-se acoplado a uma haste metálica robusta que será adequadamente fixa à parede do elemento que será considerado como fixo.

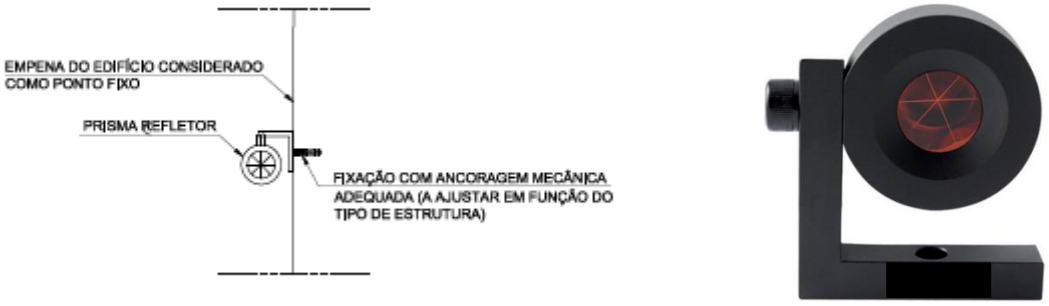


Figura 18 – Prisma topográfico de referência

5.17 Estação total robotizada

De forma a minimizar os erros de leitura associados serão adotadas estações totais robotizadas com precisão angular de 0,5” e precisão em distância de 0,6mm. Estas estações permitirão a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nos vários elementos que se pretende instrumentar.

A estação total será assente numa estrutura de suporte fixa a um poste ou na fachada de um edifício. O equipamento encontrar-se-á protegido por elementos antivandalismo e possuirá fonte de alimentação autónoma (Figura 19).

O sistema de referência será o Datum 73 e o referencial altimétrico o Datum Cascais (1938). Todos os trabalhos serão apoiados na rede geodésica do País. Os dados recolhidos são automaticamente enviados para a base de dados de monitorização.

Figura 19 – Estação total robotizada

6 FREQUÊNCIA DAS LEITURAS

A frequência de leituras foi definida tendo em consideração a frente de obra, o faseamento construtivo adotado, os cenários de risco associados a cada solução geotécnica e o tipo de dispositivos de instrumentação escolhidos.

A realização de leituras de referência permitirá aferir o comportamento base das interferências e do terreno antes do início dos trabalhos. Simultaneamente, permitirá também confirmar que os dispositivos se encontram em pleno funcionamento.

A frequência das leituras a adaptar na fase de construção e exploração são as que constam na Tabela 1, para escavações a céu aberto, e na Tabela 2 para escavações em meio subterrâneo.

Tabela 1 Frequência de leituras – Escavações a céu aberto

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	**Fase de obra**			
	Leituras de referência	**Durante a realização de trabalhos de escavação**	**Durante a paragem de trabalhos de escavação**	**Após a conclusão dos trabalhos na zona**
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Sensor de nível líquido		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bissemanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bissemanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Tabela 2 Frequência de leitura – Escavações subterrâneas

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	**Fase de obra**			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	**20 - 60 m**	**60 - 100 m**	**> 100 m**
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bissemanal	Bissemanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro	Diariamente			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – suporte primário	Diariamente			

7 CRITÉRIOS DE ALERTA E ALARME, INCLUINDO PLANO DE CONTINGÊNCIA

7.1 Critérios de alerta e alarme

O estabelecimento dos limites de alerta e alarme para as grandezas medidas pelos dispositivos de instrumentação e observação, tem por objetivo antecipar a ocorrência dos cenários de risco e assim reduzir o risco de existência de danos nas estruturas a executar e nas interferências existentes.

Os valores a adotar nos limites de alerta e alarme para os vários dispositivos de instrumentação têm como ponto de partida a previsão dos resultados esperados, obtidos a partir dos modelos de cálculo. Estes valores constituíram os limites de referência.

Entende-se como limite de alerta um primeiro estágio, onde os valores medidos nos sistemas de instrumentação são um pouco superiores aos de referência. Considera-se um estado de alarme quando a evolução dos valores medidos apresenta uma velocidade/variação no tempo acentuada, sendo em muito superior aos valores de referência.

Caso sejam atingidos os valores estabelecidos para os níveis de alerta, será obrigatório fazer uma análise da evolução das leituras, para se poder encarar atempadamente a aplicação de medidas de contingência.

Uma vez estimados, os efeitos nas interferências foram analisados seguindo a metodologia da avaliação de danos. Em conformidade com os resultados desta análise, foram estabelecidos limites de alerta e alarme que permitam de forma controlada e atempada evitar que a deformação induzida pelos assentamentos nas interferências exceda a Categoria 2 de danos do método de Burland.

Em fase de Projeto de Execução estes valores poderão ter que ser ajustados, função do desenvolvimento do projeto no que respeita aos resultados obtidos no plano de prospeção complementar atualmente em curso e nos resultados dos modelos de cálculo. A abordagem será definir um valor de referência baseado nos resultados dos modelos de cálculo e caraterizar os cenários de alerta e alarme como uma percentagem desse valor.

Os diagramas que descrevem as ações a adotar encontram-se no Anexo 11.1.

8 SISTEMA DE RECOLHA AUTOMATIZADA DE INFORMAÇÃO E BASE DE DADOS PARA CONSULTA E GESTÃO DE DADOS DE MONITORIZAÇÃO

Será implementado um sistema de recolha de dados automático que realiza leituras através de equipamentos automatizados/robotizados e os envia para a base de dados de consulta e gestão de dados de monitorização.

Para a recolha de dados topográficos, o sistema é baseado numa rede de estações totais robotizadas que periodicamente realizam a leitura de deslocamentos através de prismas instalados nas estruturas tais como edificações e contenções, e os envia através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Sempre for possível os dados dos dispositivos serão recolhidos automaticamente e enviados através de uma unidade de comunicação sem fios para uma base de dados.

Para os restantes dispositivos, os dados serão recolhidos por equipas que se deslocarão ao local onde os mesmos se encontram instalados, sendo os mesmos posteriormente carregados na base de dados.

O acesso à base de dados pode ser realizado através de uma página de internet que permite a consulta da informação associada a cada dispositivo, com base em esquemas onde é indicada a localização aproximada de cada dispositivo (Figura 20).

Figura 20 – Interface de acesso aos dados de monitorização

A base de dados de consulta e gestão consiste numa aplicação informática que recorre a servidores remotos, que permitirão o acesso controlado em qualquer momento aos dados recolhidos. A gestão de dados permite que os mesmos sejam processados de modo a poderem serem calculados mapas de isolinhas de assentamento, taxas de deformação, rotações e distorções (Figura 21).

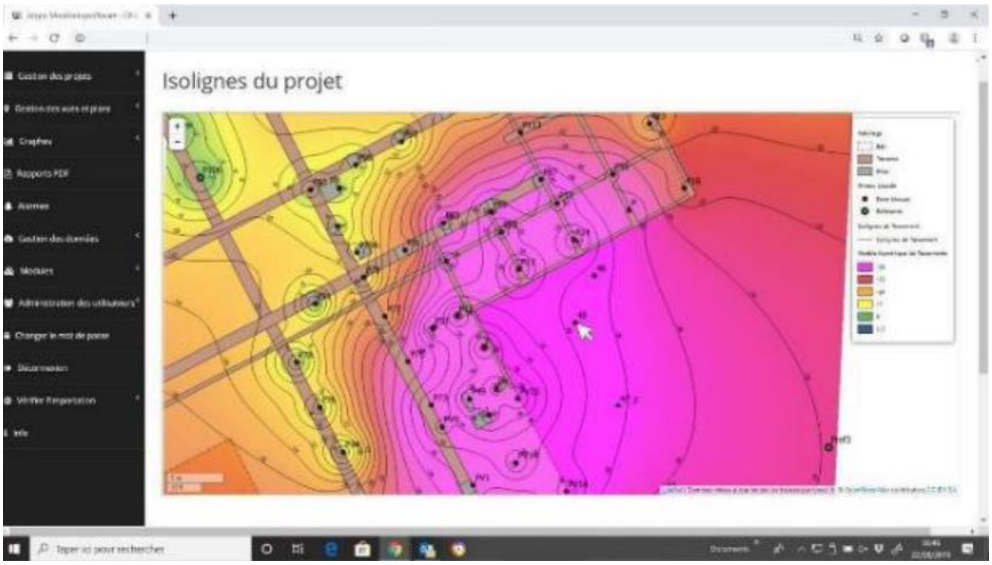


Figura 21 – Processamento de dados de monitorização

Adicionalmente, o sistema permite a incorporação de alertas automáticos baseados em valores pré-estabelecidos e o envio automático de notificações aos utilizadores (Figura 22).

Figura 22 – Módulo de definição de limites de alerta e alarme

9 RELATÓRIOS DE MONITORIZAÇÃO

Serão apresentados relatórios periódicos (diários) enviados por email com um resumo da informação de monitorização relevante para a análise da evolução do comportamento das estruturas. Neste relatório será apresentado o estado de cada dispositivo instalado relativamente ao limite de alerta e alarme definido.

Dado o número de dispositivos incluídos no plano de observação tentará evitar-se relatórios demasiado extensos. Os dados completos de todos os dispositivos estarão disponíveis em formato digital na base de dados para consulta e gestão de dados de monitorização (ver ponto 8).

10 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência tem por objetivo definir os procedimentos a seguir para a gestão de um potencial cenário de risco, com vista à eliminação ou mitigação das suas consequências.

Estes procedimentos definem as ações e as entidades responsáveis pela sua execução e incluem, genericamente, as seguintes ações:

- Recolha e análise de informação obtida a partir dos dispositivos de instrumentação;
- Identificação do cenário de risco;
- Implementação de medidas de mitigação.

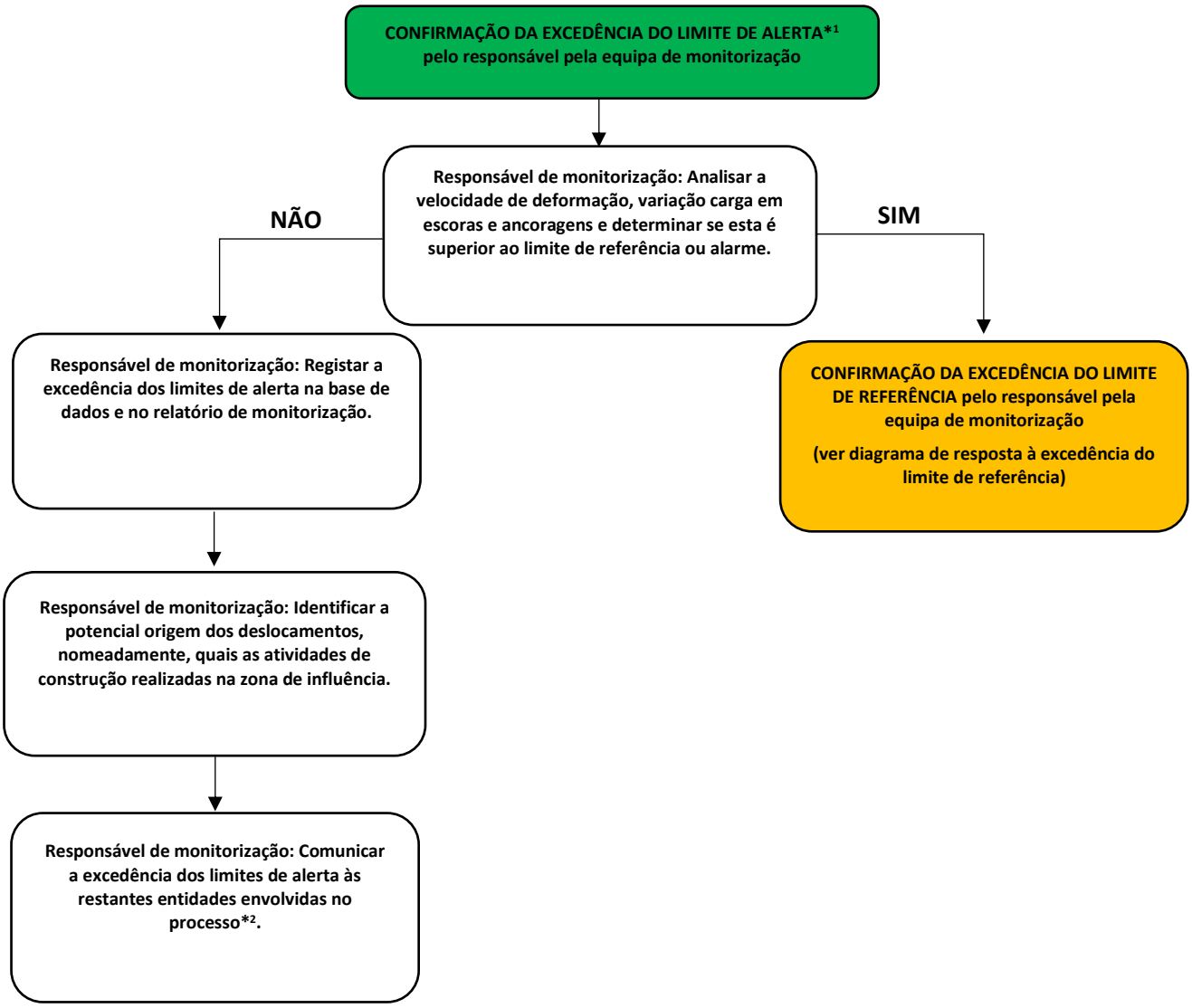
Os procedimentos definidos no contexto do presente Plano de Instrumentação e Observação iniciam-se com a excedência dos limites de alerta, referência e alarme. Não obstante, poderão desenvolver-se cenários de risco não-previstos em que não existindo um dispositivo de instrumentação para o qual os limites a este atribuídos foram excedidos, deva ser relevante declarar a excedência de um determinado limite, em resultado de um conjunto de observações indiciadoras de um potencial cenário de risco (i.e. observação visual de deformações excessivas em elementos não-instrumentados).

Os diagramas que descrevem os procedimentos adotar encontram-se no Anexo 11.2.

11 ANEXOS

11.1 Anexo A - Critérios de alerta e alarme, incluindo medidas de atuação/plano de contingência

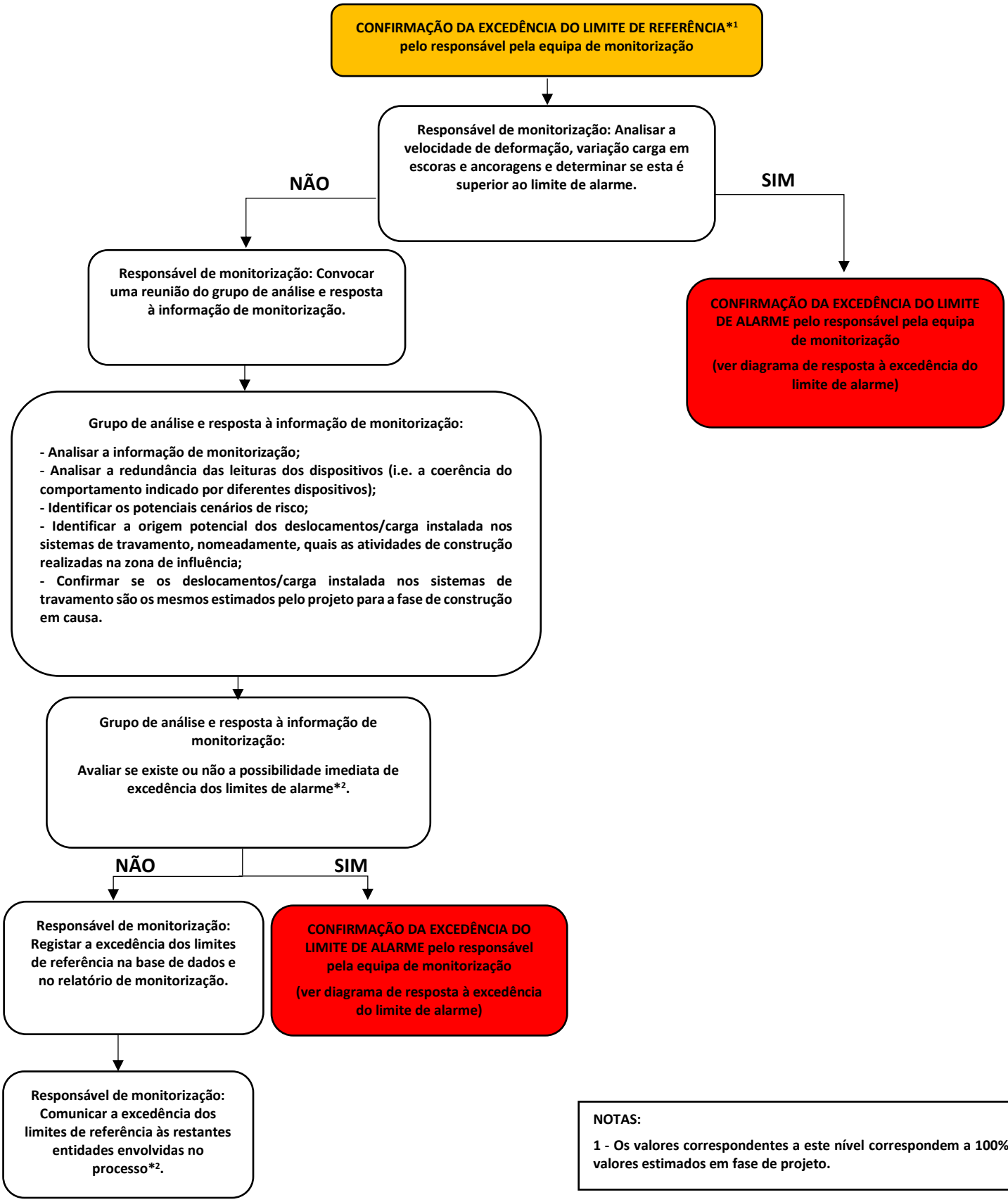
DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALERTA



NOTAS:

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 80% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE REFERÊNCIA



NOTAS:

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 100% dos valores estimados em fase de projeto.

DIAGRAMA DE AÇÃO PARA EXCEDÊNCIA DOS LIMITES DE ALARME

CONFIRMAÇÃO DA EXCEDÊNCIA DO LIMITE DE ALARME*1 pelo responsável pela equipa de monitorização

Responsável de monitorização: Convocar uma reunião do grupo de análise e resposta à informação de monitorização.

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

- **Analisar a informação de monitorização;**
- **Analisar a redundância das leituras dos dispositivos (i.e. a coerência do comportamento indicado por diferentes dispositivos);**
- **Identificar os potenciais cenários de risco;**
- **Identificar a origem potencial dos deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento, nomeadamente, quais as atividades de construção realizadas na zona de influência;**
- **Confirmar se os deslocamentos/carga instalada nos sistemas de travamento são os mesmos estimados pelo projeto para a fase de construção em causa.**

No máximo em 24 horas

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

Avaliar se existe ou não a possibilidade imediata de desenvolvimento de um cenário de risco*2.

No máximo em 24 horas

NÃO

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- **Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;**
- **Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;**
- **Realização de inspeções visuais à estrutura;**
- **Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;**
- **Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista;**

No máximo em 24 horas

Responsável de monitorização: Registar a excedência dos limites de alarme na base de dados e no relatório de monitorização.

No máximo em 24 horas

(Ver continuação)

SIM

Grupo de análise e resposta à informação de monitorização:

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE REFORÇO DO ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO

- **Avaliar a necessidade de instalação de dispositivos de monitorização adicionais;**
- **Avaliar a necessidade do aumento da frequência de leitura dos dispositivos;**
- **Realização de inspeções visuais à estrutura;**
- **Avaliação do impacto dos deslocamentos identificados das estruturas afetadas;**
- **Definição de novos limites de ALARME em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista.**

IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RISCO

Consultar os seguintes quadros:

- **Quadro A – AC – Escavação a céu aberto com escoras e ancoragens**
- **Quadro B – AC – Escavação a céu aberto com escoras**
- **Quadro C – AC – Escavação a céu aberto com ancoragens**

(Continuação)

Responsável de monitorização: Comunicar a excedência dos limites de alarme às restantes entidades envolvidas no processo*[3].

No máximo em 24 horas

NOTAS

1 - Os valores correspondentes a este nível correspondem a 130% dos valores estimados em fase de projeto.

2 - As medidas de mitigação correspondentes à interrupção da obra, isolamento de áreas, evacuação da superfície, interrupção de serviços de drenagem/abastecimento/telecomunicações e interrupção da circulação rodoviária/ferroviária, deverão ser implementadas quando se considere não existir tempo suficiente para a implementação de medidas de mitigação de risco ou risco demasiado elevado.

11.2 Anexo B - Medidas de atuação/ plano de contingência

Quadro A – AC – Escavação a céu aberto com escoras e ancoragens

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Limitação da afluência de água por recalçamento da ficha das cortinas;
- Furos de drenagem/alívio de pressão adicionais no fundo da escavação;
- Instalação de escoras metálicas adicionais;
- Realização de ancoragens adicionais;
- Realização de vigas de distribuição adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da escavação.

Quadro B – AC – Escavação a céu aberto com escoras

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Limitação da afluência de água por recalçamento da ficha das cortinas;
- Furos de drenagem/alívio de pressão adicionais no fundo da escavação;
- Instalação de escoras metálicas adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Realização de injeções de selagem;
- Execução de colunas de calda de cimento para tratamento do terreno no tardoz da contenção;
- Aterro da escavação.

Quadro C – AC – Escavação a céu aberto com ancoragens

As medidas abaixo indicadas deverão ser avaliadas em função do cenário de risco identificado e validadas pela equipa projetista:

- Limitação da afluência de água por recalçamento da ficha das cortinas;
- Furos de drenagem/alívio de pressão adicionais no fundo da escavação;
- Realização de ancoragens adicionais;
- Realização de vigas de distribuição adicionais;
- Adaptação do faseamento da escavação em cada nível;
- Realização de injeções de selagem;
- Aterro da escavação.

Registo e Controlo de Alterações

Revisão	Data	Descrição
0	2024-10-03	Emissão inicial

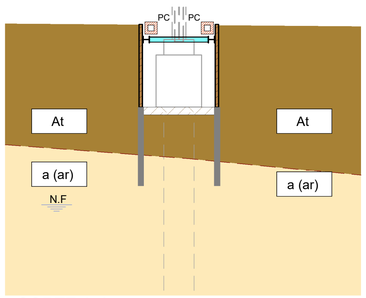
PLANTA DE DIMENSIONAMENTO
INSTRUMENTAÇÃO DA CONTENÇÃO
Esc.1 : 250

LEGENDA DE DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO:

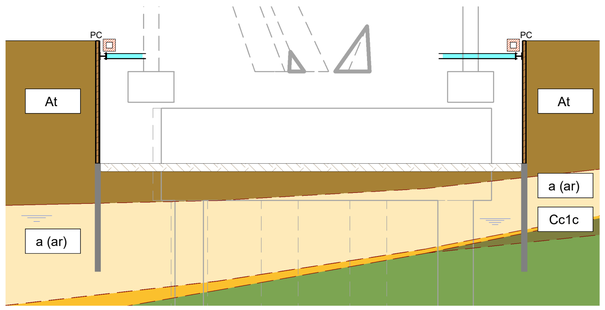
- PE/PC - PRISMA TOPOGRÁFICO (PE-EDIFÍCIOS / PC-CONTENÇÕES)
- E - EXTENSÓMETRO MULTIPONTO (*)
- I - INCLINÓMETRO (NO TARDOZ DAS ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO)
- CV - EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA PERFIS EM AÇO - ESCORAS METÁLICAS (*)
- FS - FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)
- CC - CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA COM *STRAIN GAUGES* (CAPACIDADE ATÉ 1500 kN)
- C - PRISMA DE CONVERGÊNCIA
- S - SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)
- TI - TILTIMETRO (EDIFÍCIOS)

NOTAS:

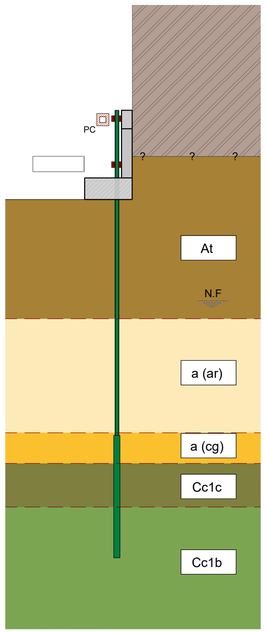
1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. Após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. Nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. Não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas. No caso da int45 e int 41 o posicionamento dependerá de levantamento de pormenor a realizar.
6. Após a realização da furação para a execução dos piezómetros, deverá esgotar-se a água do furo antes da sua instalação. Após a conclusão da instalação, deverá novamente esgotar-se a água do furo de modo a evitar erros de leitura.
7. O comprimento dos piezómetros de câmara isolada deverá ser confirmado em função dos resultados obtidos na furação.
8. Em preparação da realização de furação para a instalação de instrumentação, deverão ser realizadas as respetivas verificações para confirmação de que não existem serviços ou outras estruturas que possam ser intercetadas pela furação.
9. A instalação dos piezómetros localizados no interior das escavações a céu aberto deverá ser realizada após a execução das paredes moldadas, garantindo que a perfuração é realizada até uma profundidade que permita um encastramento mínimo de 1 m no complexo vulcânico de lisboa.



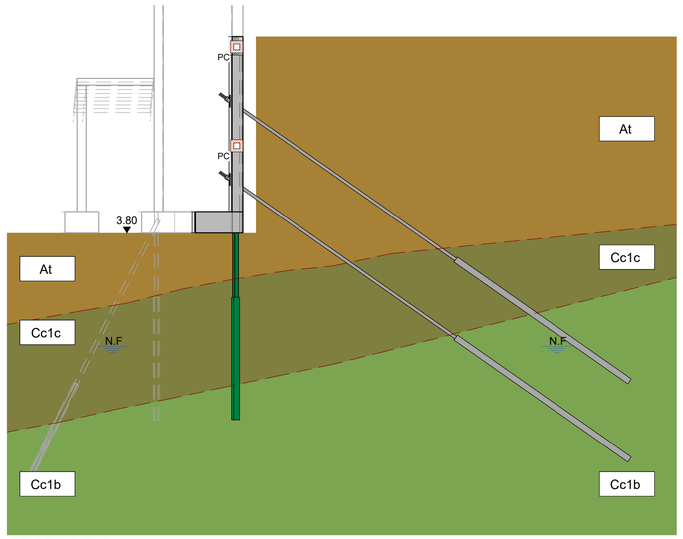
CORTE A-A
INSTRUMENTAÇÃO
Esc. 1 : 100



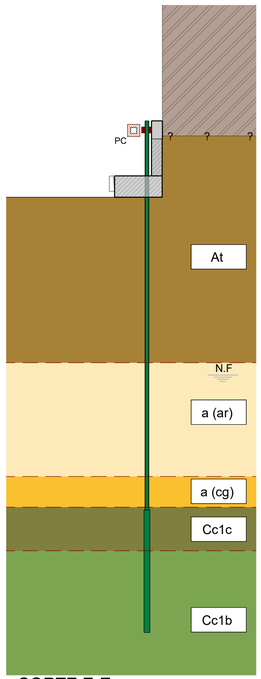
CORTE B-B
INSTRUMENTAÇÃO
Esc. 1 : 100



CORTE C-C
INSTRUMENTAÇÃO
Esc. 1 : 100



CORTE D-D
INSTRUMENTAÇÃO
Esc. 1 : 100



CORTE E-E
INSTRUMENTAÇÃO
Esc. 1 : 100

ALTERAÇÕES				
0	Emissão inicial	04/10/2024 DATA	PM. DES.	RP VERIF.

Data:

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

Aprov. | Verif. | Proj. | Des.

INSTRUMENTAÇÃO
ESTAÇÃO DE ALCANTARA

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO
PLANTA E CORTES

Escalas:
Des. nº 133463 F. ___/___
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP — Versão
Folha

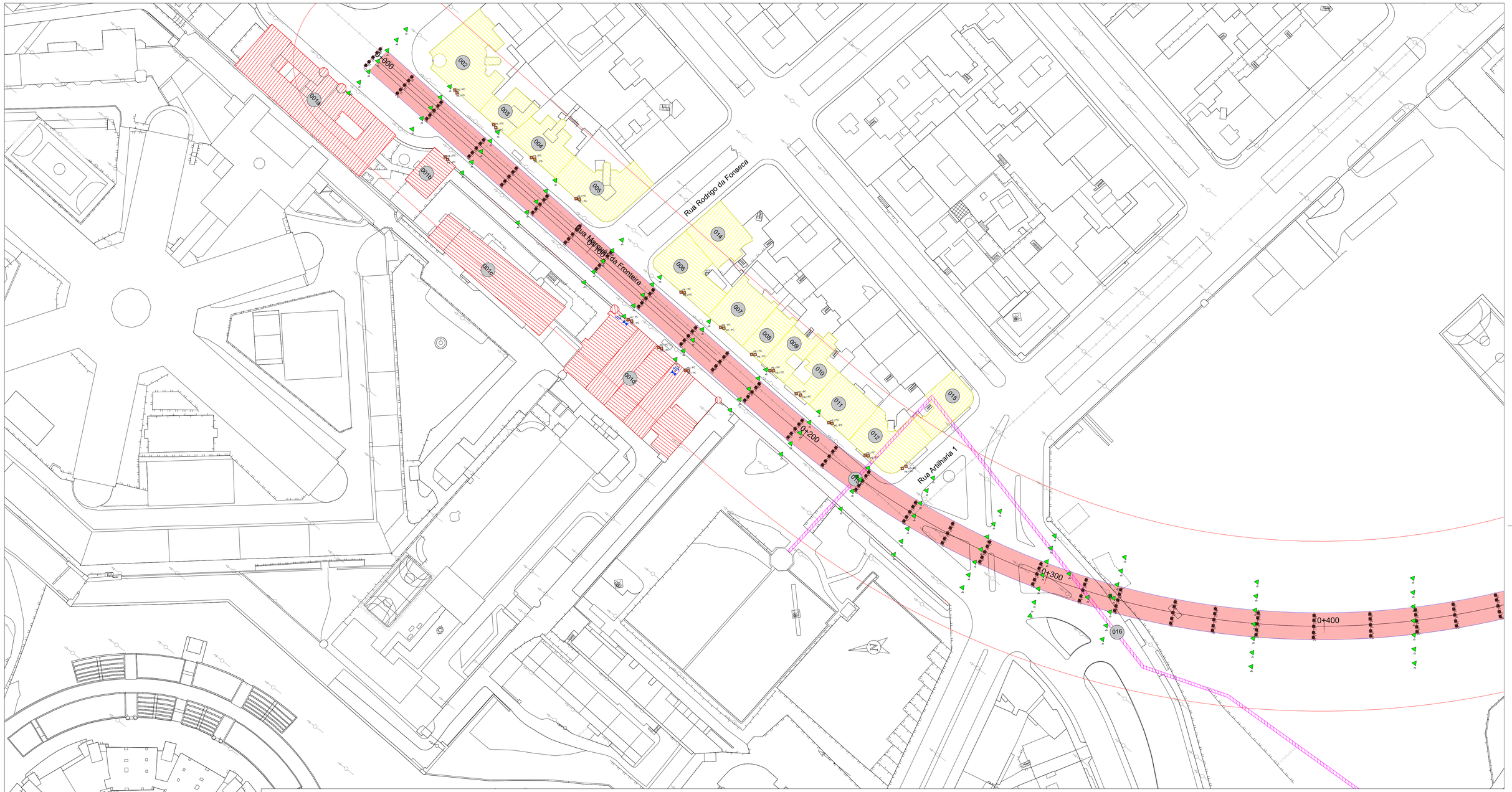
PK1 TROÇO 85 · PONTE PK 211 TROÇO 84 · E. CAMPOLIDE PK 219 TROÇO 83 · MT. SANTO TROÇO 82 · ALCANTARA PK 227 TROÇO 81

MOTAENGIL ENGENHARIA · spie batignolles · coba Consult · JET SJ · JLCM TALPROJECTO

Aprov.	RP	04/10/2024
Verif.	RT	04/10/2024
Proj.	PM	04/10/2024
Des.	PM	04/10/2024

Identificação Empresa Projetista: COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO
Escalas:
Folha: 01/01
Desenho nº LVSSA MSA PE INS VDT VDA DW 089600 0 (01-01)
Alter. 04/10/2024

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.



Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC -Prisma topográfico para carril
- CV -Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS -Fissurómetro (edifícios)
- CC -Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C -Prisma de convergência
- S -Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI -Tiltimetro (edifícios) (*)
- PR -Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES		DATA	DES.	VERIF.
0	EMISSÃO INICIAL			

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

INSTRUMENTAÇÃO
85º TROÇO (PARCIAL): TÉRMINO SÃO SEBASTIÃO / EST. CAMPOLIDE
TÚNEL. TROÇO 85
PLANO DE OBSERVAÇÃO
(2/2)

Data:
Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

Escalas: Des. nº 133442 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP —
Versão
Folha

Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

Identificação Empresa Projetista: COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO
Escalas: 1/500
Folha: /
Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN T85 DW 087002 0
Alter. 0

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	Fase de obra			
	Leituras de referência	Durante a realização de trabalhos de escavação	Durante a paragem de trabalhos de escavação	Após a conclusão dos trabalhos na zona
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismografo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	Fase de obra			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	20 - 60 m	60 - 100 m	> 100 m
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro (tiltmeter)	Bi-semanal	Bi-semanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros Tipo Casagrande	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bi-semanal	Bi-semanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro de corda vibrante para estruturas enterradas	Diariamente			
Extensómetro	Diariamente			
Sensor de nível líquido	6 leituras diárias			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – sup. primário	Diariamente			

Rua Rodrigo da Fonseca

Rua Marquês da Fronteira

Rua Artilharia 1

Tímpano com o túnel existente

0+000

0+100

0+200

0+300

001a

001b

001c

001d

002

003

004

005

006

007

008

009

010

011

012

013

014

015

016

Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC - Prisma topográfico para carril
- CV - Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS - Fissurómetro (edifícios)
- CC - Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C - Prisma de convergência
- S - Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI - Tiltímetro (edifícios) (*)
- PR - Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL			
		DATA	DES.	VERIF.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO
85º TROÇO (PARCIAL): TÉRMINO SÃO SEBASTIÃO / EST. CAMPOLIDE

TÚNEL TROÇO 85
PLANO DE OBSERVAÇÃO
(1/2)

Metropolitano de Lisboa

Data:
Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

Escalas: Des. nº 133441 F. /
Alter.
Substitui
Substituido
Nº SAP — Versão
Folha

Aprov.
Verif.
Proj. FAB / PMM
Des.

Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Escalas: 1/500
Folha: /

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN T85 DW 087001 0
Alter. 0

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.

Rua Almeida e Sousa

Rua Ferreira Borges

Rua Infantaria 16

Rua Tomás da Anunciação

Rua Francisco Metrass

Rua 4 de Infantaria

Rua Correia Teles

Quartel de Campo de Ourique

Rua Ferreira Borges

Infantaria

1+700

1+600

1+500

VER DESENHO
LVSSA MSA AP INS EST CO DW 083001

Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE/PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC - Prisma topográfico para carril
- CV - Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS - Fissurómetro (edifícios)
- CC - Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C - Prisma de convergência
- S - Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI - Tiltímetro (edifícios) (*)
- PR - Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL			
		DATA	DES.	VERIF.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

Data:

INSTRUMENTAÇÃO
84º TROÇO: EST. CAMPOLIDE / EST. CAMPO OURIQUE

TÚNEL. TROÇO 84
PLANO DE OBSERVAÇÃO
(4/4)

Aprov. | Verif. | Proj. | Des.

Escalas:
Des. nº 133446 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP — Versão
Folha

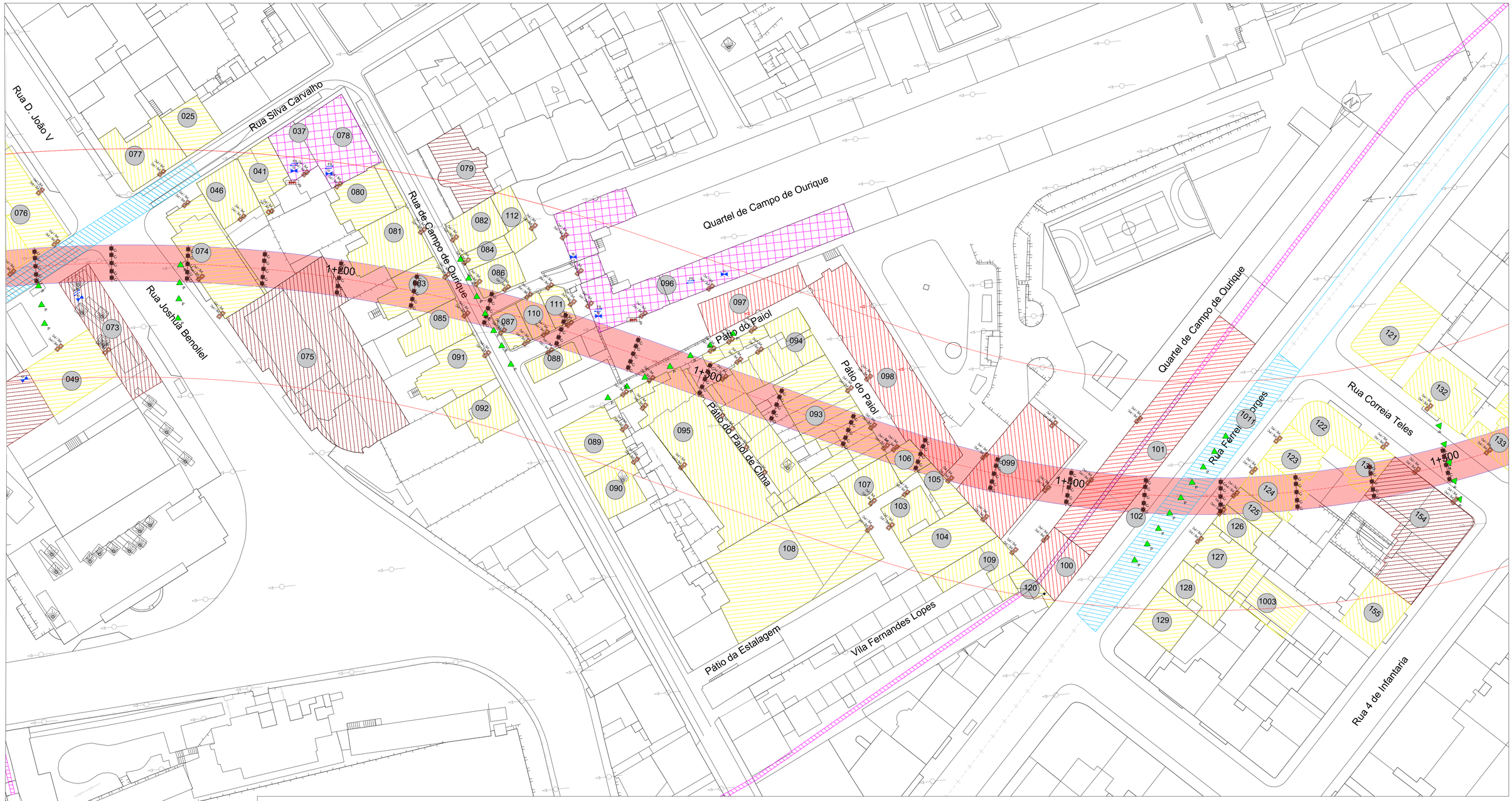
MOTA-ENGIL ENGENHARIA · spie batignolles · COBA · JET · JLCM

Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Aprov. | Verif. | Proj. FAB / PMM | Des.

Escalas: 1/500
Folha: /

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN T84 DW 087004 0
Alter. 0



Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC - Prisma topográfico para carril
- CV - Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS - Fissurómetro (edifícios)
- CC - Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C - Prisma de convergência
- S - Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI - Tiltimetro (edifícios) (*)
- PR - Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL			
		DATA	DES.	VERIF.

Data:

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

INSTRUMENTAÇÃO
84º TROÇO: EST. CAMPOLIDE / EST. CAMPO OURIQUE

TÚNEL. TROÇO 84
PLANO DE OBSERVAÇÃO
(3/4)

Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

Escalas:
Des. nº 133445 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP — Versão
Folha

MOTA-ENGIL ENGENHARIA
COBA JET S.J. JLCM TALPROJECTO

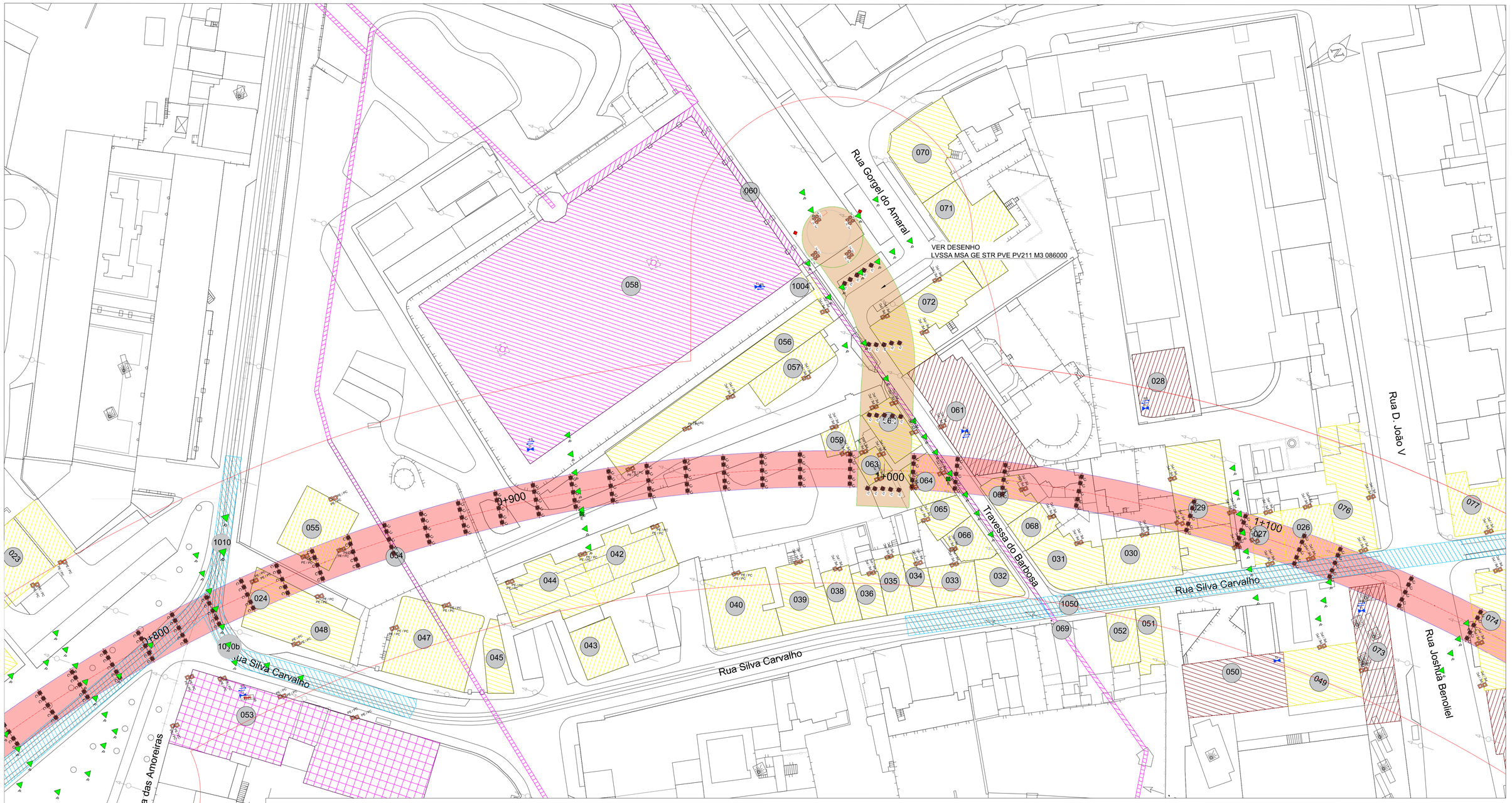
Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Aprov.
Verif.
Proj. FAB / PMM
Des.

Escalas: 1/500
Folha: /

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN T84 DW 087003 0
Alter. 0

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.



Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC -Prisma topográfico para carril
- CV -Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS -Fissurómetro (edifícios)
- CC -Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C -Prisma de convergência
- S -Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI -Tiltimetro (edifícios) (*)
- PR -Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES		DATA	DES.	VERIF.
0	EMISSÃO INICIAL			

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

INSTRUMENTAÇÃO
84º TROÇO: EST. CAMPOLIDE / EST. CAMPO OURIQUE

TÚNEL. TROÇO 84
PLANO DE OBSERVAÇÃO
(2/4)

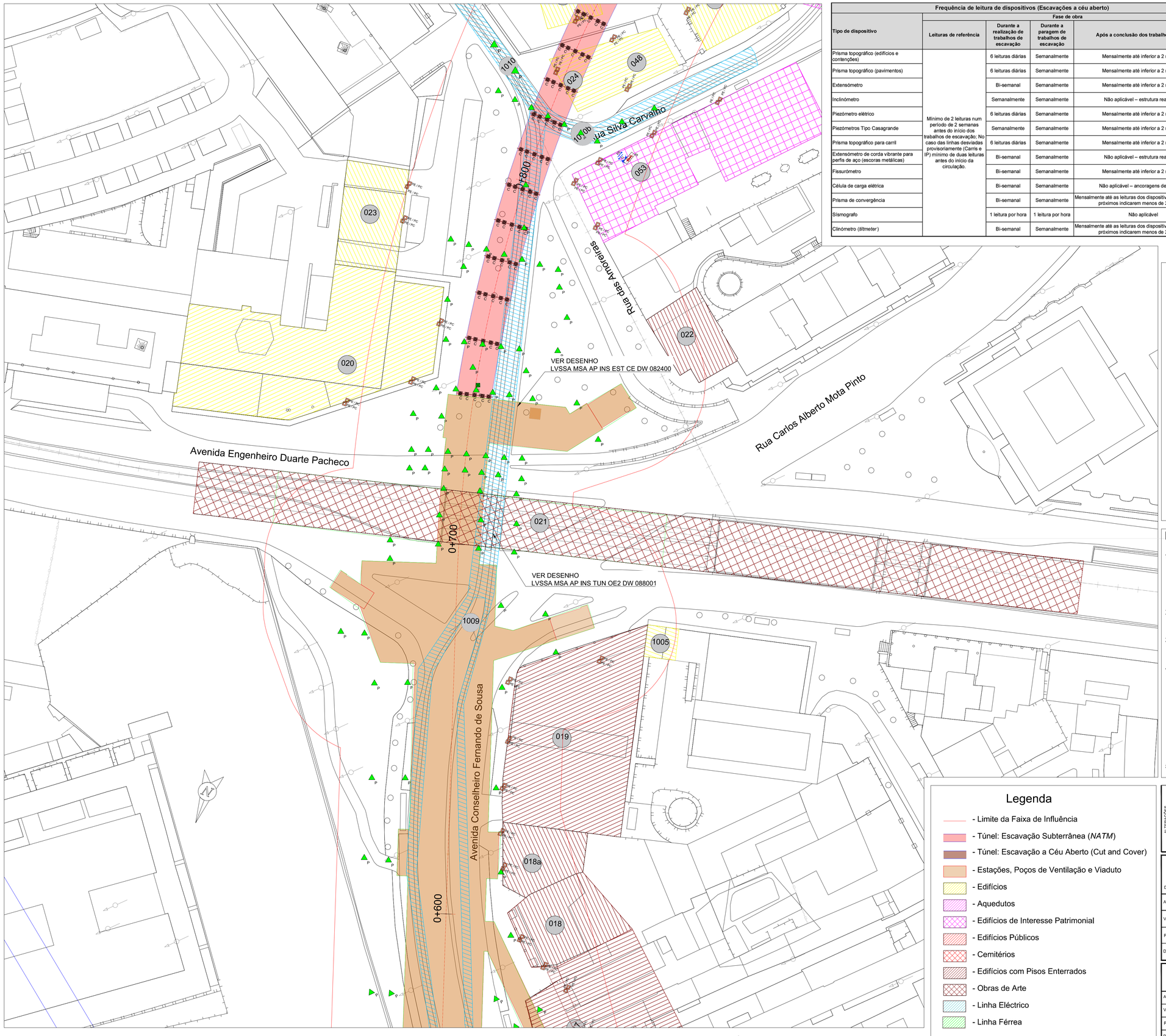
Data:
Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

Escalas: Des. nº 133444 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP —
Versão
Folha

Aprov.
Verif.
Proj. FAB / PMM
Des.

Identificação Empresa Projetista: COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO
Escalas: 1/500
Folha: /
Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN T84 DW 087002 0
Alter. 0

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.



Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	Fase de obra			
	Leituras de referência	Durante a realização de trabalhos de escavação	Durante a paragem de trabalhos de escavação	Após a conclusão dos trabalhos na zona
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sísmografo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	Fase de obra			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	20 - 60 m	60 - 100 m	> 100 m
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro (tiltmeter)	Bi-semanal	Bi-semanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros Tipo Casagrande	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bi-semanal	Bi-semanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro de corda vibrante para estruturas enterradas	Diariamente			
Extensómetro	Diariamente			
Sensor de nível líquido	6 leituras diárias			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – sup. primário	Diariamente			

Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC - Prisma topográfico para carril
- CV - Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS - Fissurómetro (edifícios)
- CC - Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C - Prisma de convergência
- S - Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI - Tiltímetro (edifícios) (*)
- PR - Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrica
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES

		DATA	DES.	VERIF.
0	EMISSÃO INICIAL			

Data:

Aprov.

Verif.

Proj.

Des.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO
84º TROÇO: EST. CAMPOLIDE / EST. CAMPO OURIQUE

TÚNEL. TROÇO 84
PLANO DE OBSERVAÇÃO
(1/4)

Metropolitano de Lisboa

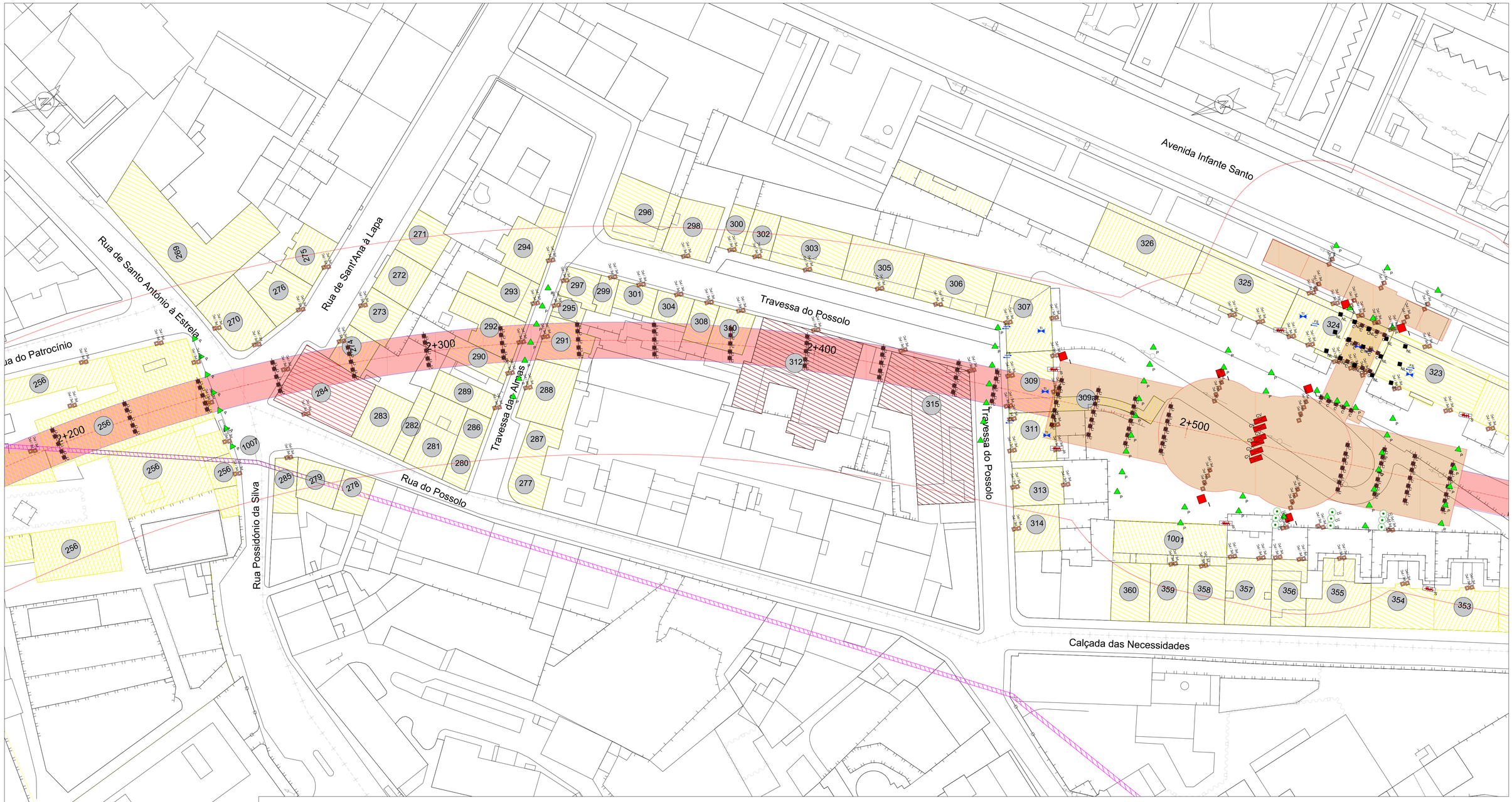
Escalas:
Des. nº 133443 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP — Versão
Folha

MOTAENGIL ENGENHARIA · COBA · JET SJ · JLCM

Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Escalas: 1/500
Folha: /

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN T84 DW 087001 0
Alter. 0



Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC -Prisma topográfico para carril
- CV -Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS -Fissurómetro (edifícios)
- CC -Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C -Prisma de convergência
- S -Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI -Tiltímetro (edifícios) (*)
- PR -Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL	DATA	DES.	VERIF.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

INSTRUMENTAÇÃO
83º TROÇO: EST.CAMPO OURIQUE / EST. INFANTE SANTO

TÚNEL. TROÇO 83
PLANO DE OBSERVAÇÃO
(3/3)

Data:
Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

Escalas:
Des. nº 133449 F. /
Alter.
Substituí
Substituído
Nº SAP — Versão
Folha

MOTA-ENGIL ENGENHARIA · coba · JET · JLCM

Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

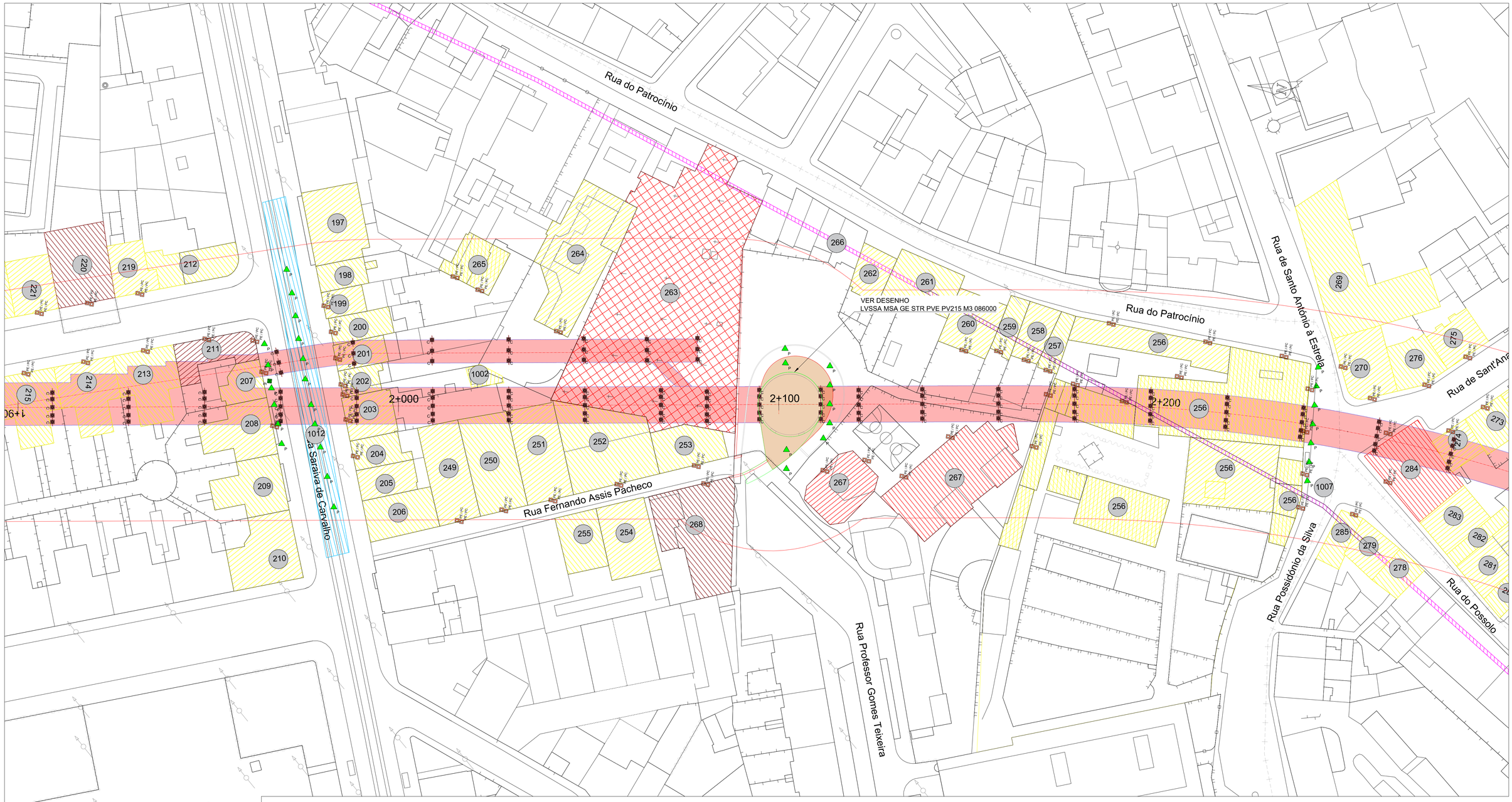
Escalas: 1/500 Folha: /

Aprov.
Verif.
Proj. FAB / PMM
Des.

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN T83 DW 087003 0

Alter. 0

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.



Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC - Prisma topográfico para carril
- CV - Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS - Fissurómetro (edifícios)
- CC - Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C - Prisma de convergência
- S - Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI - Tiltimetro (edifícios) (*)
- PR - Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL			
		DATA	DES.	VERIF.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

INSTRUMENTAÇÃO
83º TROÇO: EST,CAMPO OURIQUE / EST, INFANTE SANTO

TÚNEL. TROÇO 83
PLANO DE OBSERVAÇÃO
(2/3)

Data:
Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

Escalas: Des. nº 133448 F. /
Alter.
Substitui
Substituido
Nº SAP — Versão
Folha

MOTA-ENGIL ENGENHARIA · COBA · JET, S.J. · JLCM

Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Escalas: 1/500
Folha: /

Aprov.
Verif.
Proj. FAB / PMM
Des.

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN T83 DW 087002 0
Alter. 0

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	Fase de obra			
	Leituras de referência	Durante a realização de trabalhos de escavação	Durante a paragem de trabalhos de escavação	Após a conclusão dos trabalhos na zona
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sísmografo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	Fase de obra			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	20 - 60 m	60 - 100 m	> 100 m
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro (tiltmeter)	Bi-semanal	Bi-semanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros Tipo Casagrande	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bi-semanal	Bi-semanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro de corda vibrante para estruturas enterradas	Diariamente			
Extensómetro	Diariamente			
Sensor de nível líquido	6 leituras diárias			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – sup. primário	Diariamente			

Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC - Prisma topográfico para carril
- CV - Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS - Fissurómetro (edifícios)
- CC - Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C - Prisma de convergência
- S - Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI - Tiltimetro (edifícios) (*)
- PR - Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

Rua Tomás da Anunciação
Rua Coelho da Rocha
Rua Almeida e Sousa
Rua Ferreira Borges
Rua 4 de Infantaria
Rua Francisco Metrass
1+900
1+800
1+700
VER DESENHO LVSSA MSA AP INS EST CO DW 083001

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL			
		DATA	DES.	VERIF.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

INSTRUMENTAÇÃO
83º TROÇO: EST.CAMPO OURIQUE / EST. INFANTE SANTO

TÚNEL. TROÇO 83
PLANO DE OBSERVAÇÃO
(1/3)

Data:
Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

Escalas:
Des. nº 133447 F. /
Alter.
Substitui
Substituido
Nº SAP — Versão
Folha

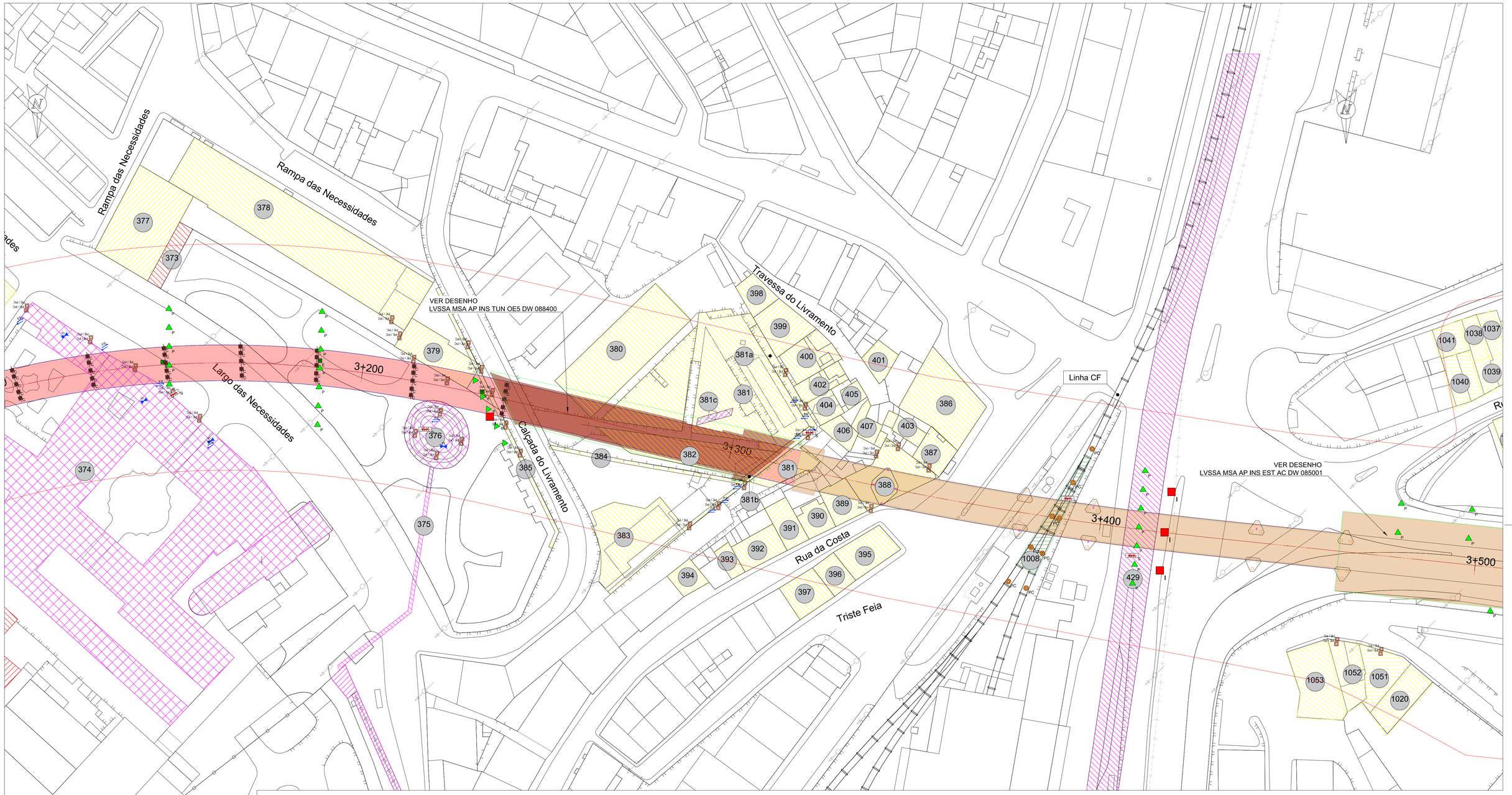
MOTAENGIL ENGENHARIA
COBA JET.PT JLCM TALPROJECTO

Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Aprov.
Verif.
Proj. FAB / PMM
Des.

Escalas: 1/500
Folha: /

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN T83 DW 087001 0
Alter. 0



Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC - Prisma topográfico para carril
- CV - Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS - Fissurómetro (edifícios)
- CC - Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C - Prisma de convergência
- S - Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI - Tiltimetro (edifícios) (*)
- PR - Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL			
		DATA	DES.	VERIF.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

INSTRUMENTAÇÃO
82º TROÇO: EST. INFANTE SANTO / EST. ALCÂNTARA

TÚNEL. TROÇO 82
PLANO DE OBSERVAÇÃO
(3/3)

Data:
Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

Escalas:
Des. nº 133452 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP — Versão
Folha

MOTAENGIL ENGENHARIA · ajm · COBA · JET SJ · JLCM / TALPROJECTO

Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

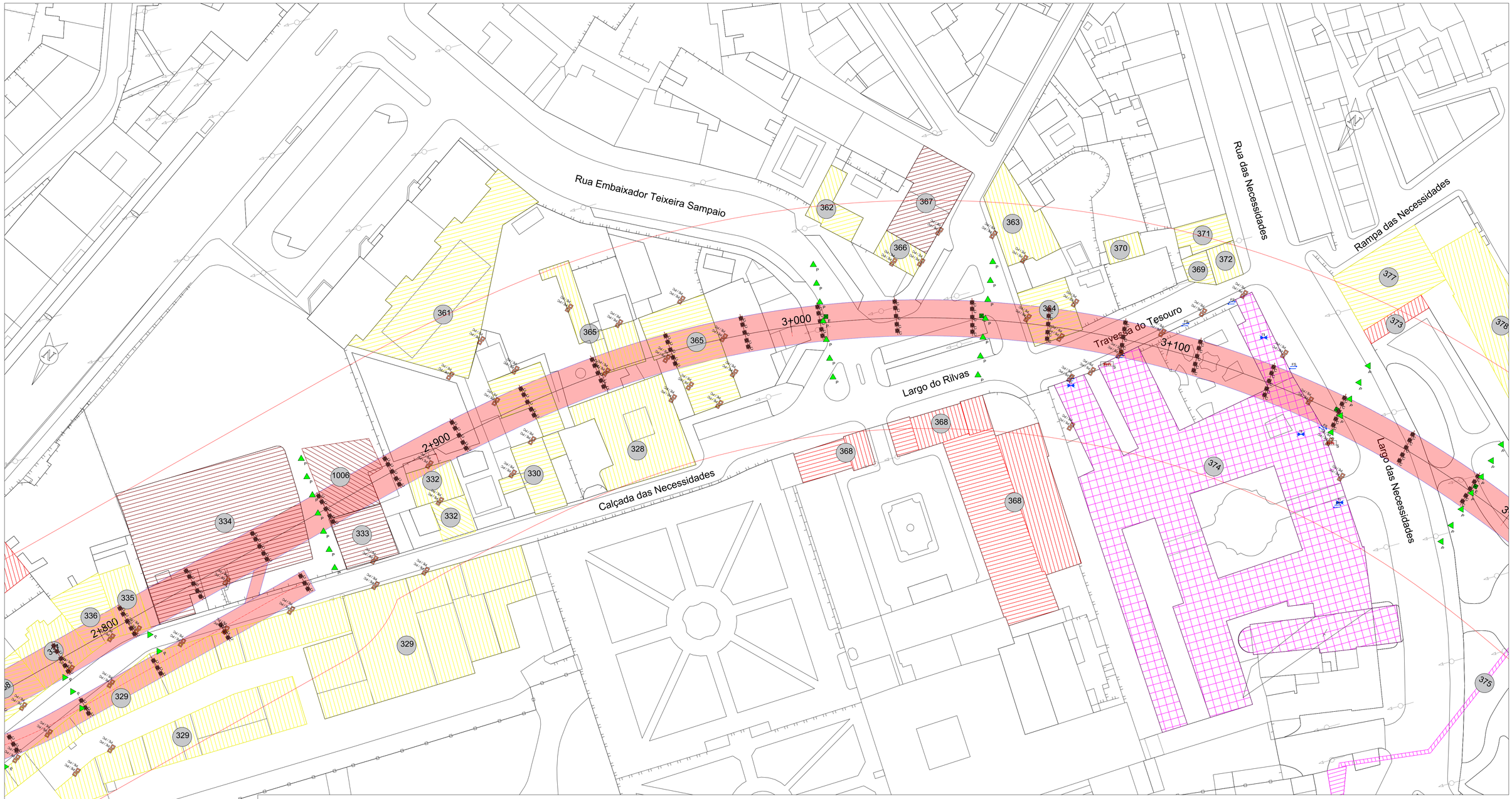
Escalas: 1/500
Folha: /

Aprov.
Verif.
Proj. FAB / PMM
Des.

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN T82 DW 087003 0

Alter. 0

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.



Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PQ - Piezómetro tipo casagrande
- PC -Prisma topográfico para carril
- CV -Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS -Fissurómetro (edifícios)
- CC -Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C -Prisma de convergência
- S -Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI -Tiltimetro (edifícios) (*)
- PR -Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL			
		DATA	DES.	VERIF.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

INSTRUMENTAÇÃO
82º TROÇO: EST. INFANTE SANTO / EST. ALCÂNTARA

TÚNEL TROÇO 82
PLANO DE OBSERVAÇÃO
(2/3)

Data:
Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

Escalas:
Des. nº 133451 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP — Versão
Folha

MOTA-ENGIL ENGENHARIA · spie batignolles international · COBA · JET SJ · JLCM

Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Aprov.
Verif.
Proj. FAB / PMM
Des.

Escalas: 1/500
Folha: /

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN T82 DW 087002 0
Alter. 0

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	Fase de obra			
	Leituras de referência	Durante a realização de trabalhos de escavação	Durante a paragem de trabalhos de escavação	Após a conclusão dos trabalhos na zona
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismografo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	Fase de obra			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	20 - 60 m	60 - 100 m	> 100 m
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro (tiltmeter)	Bi-semanal	Bi-semanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros Tipo Casagrande	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bi-semanal	Bi-semanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro de corda vibrante para estruturas enterradas	Diariamente			
Extensómetro	Diariamente			
Sensor de nível líquido	6 leituras diárias			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – sup. primário	Diariamente			

Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC - Prisma topográfico para carril
- CV - Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS - Fissurómetro (edifícios)
- CC - Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C - Prisma de convergência
- S - Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI - Tiltimetro (edifícios) (*)
- PR - Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL			
		DATA	DES.	VERIF.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

INSTRUMENTAÇÃO
82º TROÇO: EST. INFANTE SANTO / EST. ALCÂNTARA

TÚNEL. TROÇO 82
PLANO DE OBSERVAÇÃO
(1/3)

Data:
Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

Escalas:
Des. nº 133450 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP — Versão
Folha

MOTA-ENGIL ENGENHARIA · spie batignolles · COBA · JET · JLCM

Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Escalas: 1/500
Folha: /

Aprov.
Verif.
Proj. FAB / PMM
Des.

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN T82 DW 087001 0

Alter. 0

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.

Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC -Prisma topográfico para carril
- CV -Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS -Fissurómetro (edifícios)
- CC -Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C -Prisma de convergência
- S -Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI -Tiltimetro (edifícios) (*)
- PR -Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES		DATA	DES.	VERIF.
0	EMISSÃO INICIAL			

Data:

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

INSTRUMENTAÇÃO
81º TROÇO: EST. ALCÂNTARA / TÉRMINO ALCÂNTARA

TÚNEL. TROÇO 81
PLANO DE OBSERVAÇÃO
(2/2)

Escalas: Des. nº 133454 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP —
Versão
Folha

Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

Aprov.
Verif.
Proj. FAB / PMM
Des.

Identificação Empresa Projetista: COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO
Escalas: 1/500
Folha: /
Alter. 0

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN T81 DW 087002 0

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	Fase de obra			
	Leituras de referência	Durante a realização de trabalhos de escavação	Durante a paragem de trabalhos de escavação	Após a conclusão dos trabalhos na zona
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sísmografo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	Fase de obra			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	20 - 60 m	60 - 100 m	> 100 m
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro (tiltmeter)	Bi-semanal	Bi-semanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros Tipo Casagrande	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bi-semanal	Bi-semanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro de corda vibrante para estruturas enterradas	Diariamente			
Extensómetro	Diariamente			
Sensor de nível líquido	6 leituras diárias			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – sup. primário	Diariamente			

VER DESENHO
LVSSA MSA AP INS EST AC DW 085001

VER DESENHO
LVSSA MSA AP INS TUN OE6 DW 088001

Rua de Alcântara
Acesso à Ponte 25 de Abril
3+500
Rua Quinta do Jacinto
Calçada da Tapada
3+600
3+700
3+800
Rua 3
Rua 4
Rua 5
Rua 6
Rua 7
Rua 10
Rua Quinta do Jacinto

Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC - Prisma topográfico para carril
- CV - Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS - Fissurómetro (edifícios)
- CC - Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C - Prisma de convergência
- S - Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI - Tiltimetro (edifícios) (*)
- PR - Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL			
		DATA	DES.	VERIF.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

Data:
Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

INSTRUMENTAÇÃO
81º TROÇO: EST. ALCÂNTARA / TÉRMINO ALCÂNTARA

TÚNEL. TROÇO 81
PLANO DE OBSERVAÇÃO
(1/2)

Escalas:
Des. nº 133453 F. /
Alter.
Substitui
Substituido
Nº SAP
Versão
—
Folha

MOTA-ENGIL ENGENHARIA · COBA · JET · JLCM

Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Escalas: 1/500
Folha: /

Aprov.
Verif.
Proj. FAB / PMM
Des.

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN T81 DW 087001 0

Alter. 0

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	Fase de obra			
	Leituras de referência	Durante a realização de trabalhos de escavação	Durante a paragem de trabalhos de escavação	Após a conclusão dos trabalhos na zona
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sísmografo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	Fase de obra			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	20 - 60 m	60 - 100 m	> 100 m
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro (tiltmeter)	Bi-semanal	Bi-semanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros Tipo Casagrande	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bi-semanal	Bi-semanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro de corda vibrante para estruturas enterradas	Diariamente			
Extensómetro	Diariamente			
Sensor de nível líquido	6 leituras diárias			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – sup. primário	Diariamente			

VER DESENHO
LVSSA MSA GE STR PVE PV217 M3 086000

3+600
3+900
4+000
4+097

Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC -Prisma topográfico para carril
- CV -Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS -Fissurómetro (edifícios)
- CC -Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C -Prisma de convergência
- S -Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI -Tiltímetro (edifícios) (*)
- PR -Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES

		DATA	DES.	VERIF.
0	EMISSÃO INICIAL			

Data:

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

INSTRUMENTAÇÃO
OBRA ESPECIAL 7

OBRA ESPECIAL OE7
TÚNEL TÉRMINO
PLANO DE OBSERVAÇÃO

Escalas:
Des. nº 133462 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP — Versão
Folha

MOTA-ENGIL ENGENHARIA · spie batignolles · COBA · JET · JLCM

Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Aprov.
Verif.
Proj. FAB / PMM
Des.

Escalas: 1/500
Folha: /

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN OE7 DW 088001 0
Alter. 0

Desenho elaborado/adpatado sobre as bases edidáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.

PLANTA DE INSTRUMENTAÇÃO FASE - A

1:250

PLANTA DE INSTRUMENTAÇÃO FASE - B

1:250

LEGENDA DE DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO:

- PE / PC - PRISMA TOPOGRÁFICO (PE-EDIFÍCIOS / PC-CONTENÇÕES)
- P - PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)
- E - EXTENSÓMETRO MULTIPONTO (*)
- I - INCLINÓMETRO
- PL - PIEZÓMETRO ELÉTRICO (*)
- PG - PIEZÓMETRO TIPO CASAGRANDE
- PC - PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL
- CV - EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA PERFIS EM AÇO - ESCORAS METÁLICAS (*)
- FS - FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)
- CC - CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA COM *STRAIN GAUGES* (CAPACIDADE ATÉ 1500 kN) (*)
- C - PRISMA DE CONVERGÊNCIA
- S - SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS) (*)
- TI - TILTIMETRO (EDIFÍCIOS) (*)
- PR - PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA (LEITURA X,Y,Z)
- ET - ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)

(*) LIGAÇÃO A UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE AQUISIÇÃO DE DADOS

NOTAS:

1. A POSIÇÃO DOS VÁRIOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO PODERÁ TER QUE SER AJUSTADA EM FASE DE OBRA, EM FUNÇÃO DA REALIDADE LOCAL, FACE À EXISTÊNCIA DE EVENTUAIS CONDICIONAMENTOS NÃO DETETADOS NO PROJETO. APÓS A INSTALAÇÃO AS COORDENADAS DEVERÃO LEVANTADAS.
2. A INSTRUMENTAÇÃO DEVERÁ SER ADEQUADAMENTE PROTEGIDA, NO SENTIDO DE EVITAR QUE A MESMA SEJA DANIFICADA DURANTE A EXECUÇÃO DA OBRA.
3. A FREQUÊNCIA DE LEITURAS PROPOSTA PODERÁ TER QUE SER REDEFINIDA, FUNÇÃO DA EVOLUÇÃO DO COMPORTAMENTO OBSERVADO NOS VÁRIOS DISPOSITIVOS DE LEITURA.
4. A REALIZAÇÃO DE LEITURAS EM PRISMAS TOPOGRÁFICOS PARA EDIFÍCIOS E PAVIMENTOS PRESSUPÕE O RECURSO A ELEMENTOS DE REFERÊNCIA, POSICIONADOS EM LOCAIS NÃO SUJEITOS A PERTURBAÇÕES E A UMA DISTÂNCIA TAL QUE O ERRO DE LEITURA SEJA MINIMIZADO. NAS VÁRIAS PEÇAS DESENHADAS SÃO INDICADAS AS LOCALIZAÇÕES PROPOSTAS PARA OS DISPOSITIVOS DE REFERÊNCIA, QUE SERÃO MATERIALIZADOS POR PRISMAS TOPOGRÁFICOS DE PRECISÃO POSICIONADOS EM EDIFÍCIOS. NÃO OBSTANTE, NO INICIO DA OBRA, ESTES PODERÃO SOFRER REVISÃO EM FUNÇÃO DOS CONDICIONALISMOS IDENTIFICADOS NA SUA INSTALAÇÃO.
5. O NÚMERO DE FISSURÓMETROS A INSTALAR DEPENDERÁ DO NÚMERO DE FENDAS DETETADAS.
6. APÓS A REALIZAÇÃO DA FURAÇÃO PARA A EXECUÇÃO DOS PIEZÓMETROS, DEVERÁ ESGOTAR-SE A ÁGUA DO FURO ANTES DA SUA INSTALAÇÃO. APÓS A CONCLUSÃO DA INSTALAÇÃO, DEVERÁ NOVAMENTE ESGOTAR-SE A ÁGUA DO FURO DE MODO A EVITAR ERROS DE LEITURA.
7. O COMPRIMENTO DOS PIEZÓMETROS DE CÂMARA ISOLADA DEVERÁ SER CONFIRMADO EM FUNÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA FURAÇÃO.
8. EM PREPARAÇÃO DA REALIZAÇÃO DE FURAÇÃO PARA A INSTALAÇÃO DE INSTRUMENTAÇÃO, DEVERÃO SER REALIZADAS AS RESPETIVAS VERIFICAÇÕES PARA CONFIRMAÇÃO DE QUE NÃO EXISTEM SERVIÇOS OU OUTRAS ESTRUTURAS QUE POSSAM SER INTERCETADAS PELA FURAÇÃO.

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL	03/10/2024	LC	AM
		DATA	DES.	VERIF.

Data:

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJECTO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

ESTRUTURAS
OBRA ESPECIAL OE6 - TÚNEL ALVITO

PLANO DE OBSERVAÇÃO

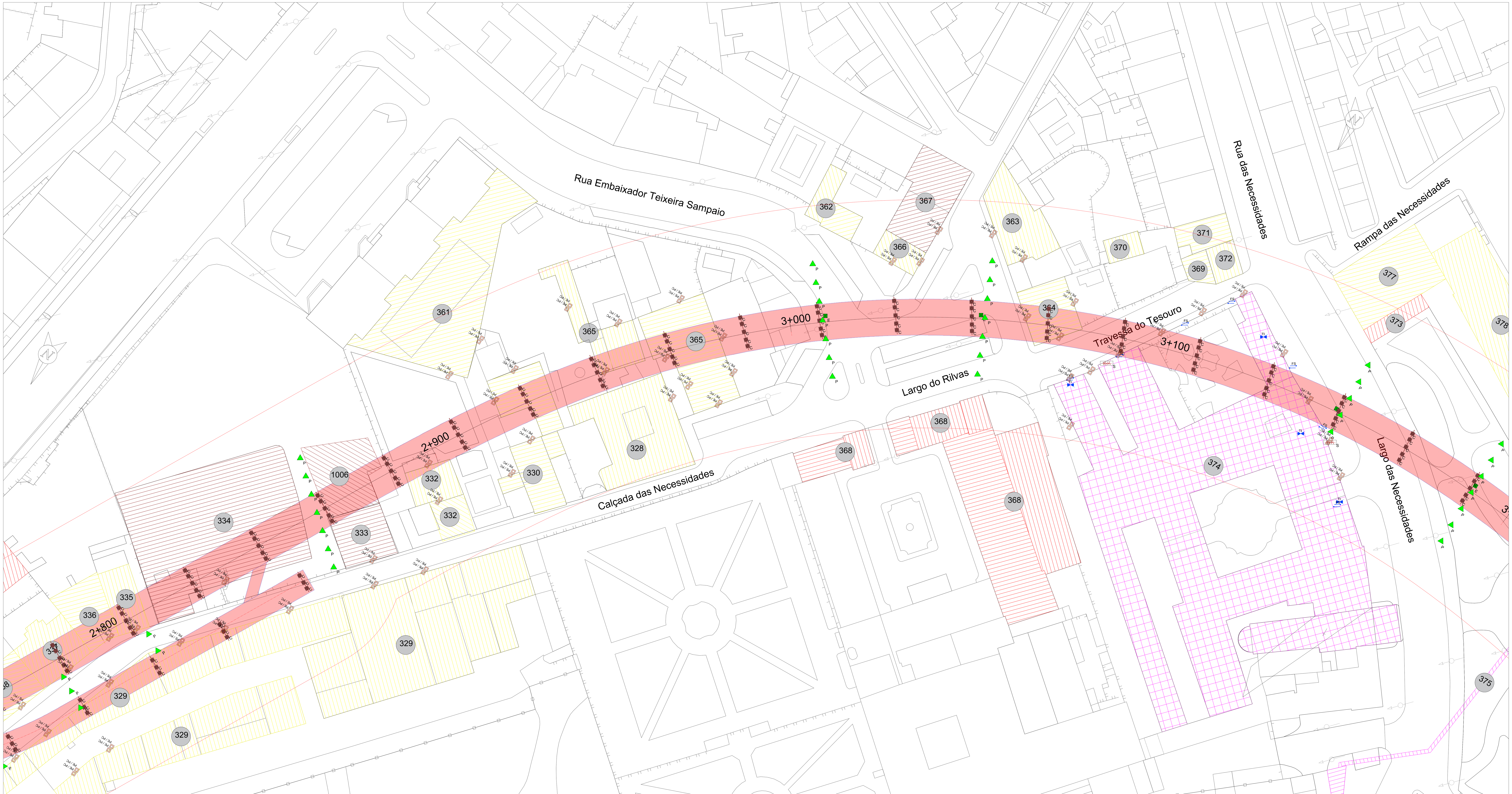
Escalas:
Des. nº 133461 F. 1 / 1
Alter.
Subtitul
Subsubsão
Nº SAP — Versão
Folha

JET TROÇO 01 · TALPROJECTO TROÇO 04 · A. CARMONA TROÇO 02 · MAF ARVO TROÇO 03 · ALCANTARA TROÇO 01

MOTA-ENGIL ENGENHARIA · SOCIEDADE PORTUGUESA DE GEOTECNIA
cobo · JET · JLCM

Aprov.	JBP	03/10/2024
Verif.	SN	03/10/2024
Proj.	AM	03/10/2024
Des.	LC	03/10/2024

Identificação Empresa Projetista: COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO
Escalas: INDICADAS
Folha: 01 / 01
Desenho nº: LVSSA MSA PE INS TUN OE6 DW 088001 0
Alter. 0



Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- Prisma topográfico (pavimentos)
- Extensómetro multiponto (*)
- Inclinómetro
- Piezómetro elétrico (*)
- Piezómetro tipo casagrande
- Prisma topográfico para carril
- Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- Fissurómetro (edifícios)
- Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- Prisma de convergência
- Sismógrafo (edifícios) (*)
- Tiltimetro (edifícios) (*)
- Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES		DATA	DES.	VERIF.
0	EMISSÃO INICIAL			

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO
OBRA ESPECIAL 4

OBRA ESPECIAL OE4
TÚNEL VIA DE RESGUARDO 2
PLANO DE OBSERVAÇÃO (2/2)

Metropolitano de Lisboa

Data: | Aprov. | Verif. | Proj. | Des.

Escalas: | Des. nº 133459 F. / | Alter. | Substitui | Substituido | Nº SAP — | Versão | Folha

TROÇO 85 · TROÇO 84 · TROÇO 83 · TROÇO 82 · TROÇO 81

Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Escalas: 1/500 | Folha: /

Aprov. | Verif. | Proj. FAB / PMM | Des.

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN OE4 DW 088002 0

Alter. 0

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	Fase de obra			
	Leituras de referência	Durante a realização de trabalhos de escavação	Durante a paragem de trabalhos de escavação	Após a conclusão dos trabalhos na zona
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sísmografo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	Fase de obra			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	20 - 60 m	60 - 100 m	> 100 m
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro (tiltmeter)	Bi-semanal	Bi-semanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros Tipo Casagrande	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bi-semanal	Bi-semanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro de corda vibrante para estruturas enterradas	Diariamente			
Extensómetro	Diariamente			
Sensor de nível líquido	6 leituras diárias			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – sup. primário	Diariamente			

Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC - Prisma topográfico para carril
- CV - Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS - Fissurómetro (edifícios)
- CC - Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C - Prisma de convergência
- S - Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI - Tiltímetro (edifícios) (*)
- PR - Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL			
		DATA	DES.	VERIF.

Data:

Aprov.

Verif.

Proj.

Des.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO
OBRA ESPECIAL 4

OBRA ESPECIAL OE4
TÚNEL VIA DE RESGUARDO 2
PLANO DE OBSERVAÇÃO (1/2)

Metropolitano de Lisboa

Escalas:
Des. nº 133458 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP — Versão
Folha

Aprov.

Verif.

Proj. FAB / PMM

Des.

MOTA-ENGIL ENGENHARIA · spie batignolles · cobo · JET · JLCM

Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Escalas: 1/500

Folha: /

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN OE4 DW 088001 0

Alter. 0

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	Fase de obra			
	Leituras de referência	Durante a realização de trabalhos de escavação	Durante a paragem de trabalhos de escavação	Após a conclusão dos trabalhos na zona
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sísmografo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	Fase de obra			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	20 - 60 m	60 - 100 m	> 100 m
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro (tiltmeter)	Bi-semanal	Bi-semanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros Tipo Casagrande	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bi-semanal	Bi-semanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro de corda vibrante para estruturas enterradas	Diariamente			
Extensómetro	Diariamente			
Sensor de nível líquido	6 leituras diárias			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – sup. primário	Diariamente			

VER DESENHO
LVSSA MSA GE STR PVE PV215 M3 086000

Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- Prisma topográfico (pavimentos)
- Extensómetro multiponto (*)
- Inclinómetro
- Piezómetro elétrico (*)
- Piezómetro tipo casagrande
- Prisma topográfico para carril
- Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- Fissurómetro (edifícios)
- Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- Prisma de convergência
- Sismógrafo (edifícios) (*)
- Tiltimetro (edifícios) (*)
- Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL			
		DATA	DES.	VERIF.

Data:

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

INSTRUMENTAÇÃO
OBRA ESPECIAL 3

OBRA ESPECIAL OE3
TÚNEL VIA DE RESGUARDO 1
PLANO DE OBSERVAÇÃO

Escalas:
Des. nº 133457 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP — Versão
Folha

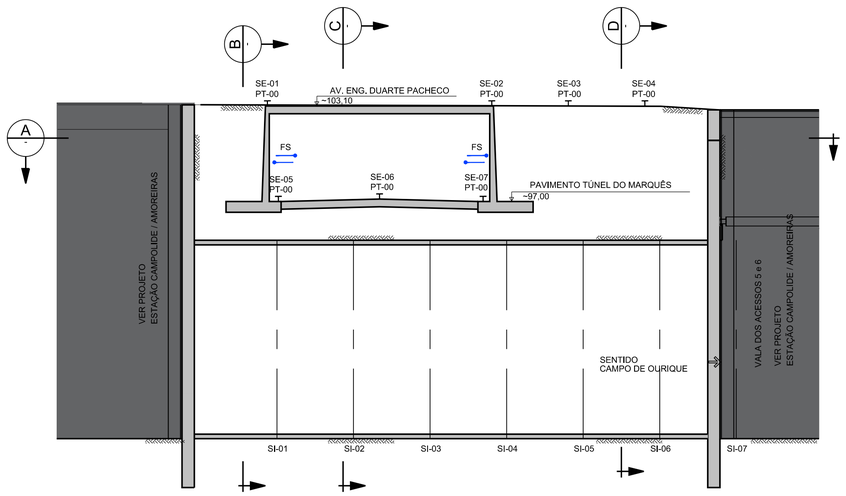
MOTA-ENGIL ENGENHARIA · spie batignolles · COBA · JET · JLCM

Aprov.
Verif.
Proj. FAB / PMM
Des.

Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

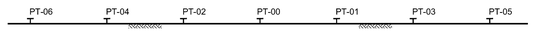
Escalas: 1/500
Folha: /

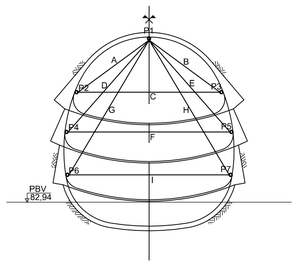
Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN OE3 DW 088001 0
Alter. 0



PERFIL LONGITUDINAL DE INSTRUMENTAÇÃO

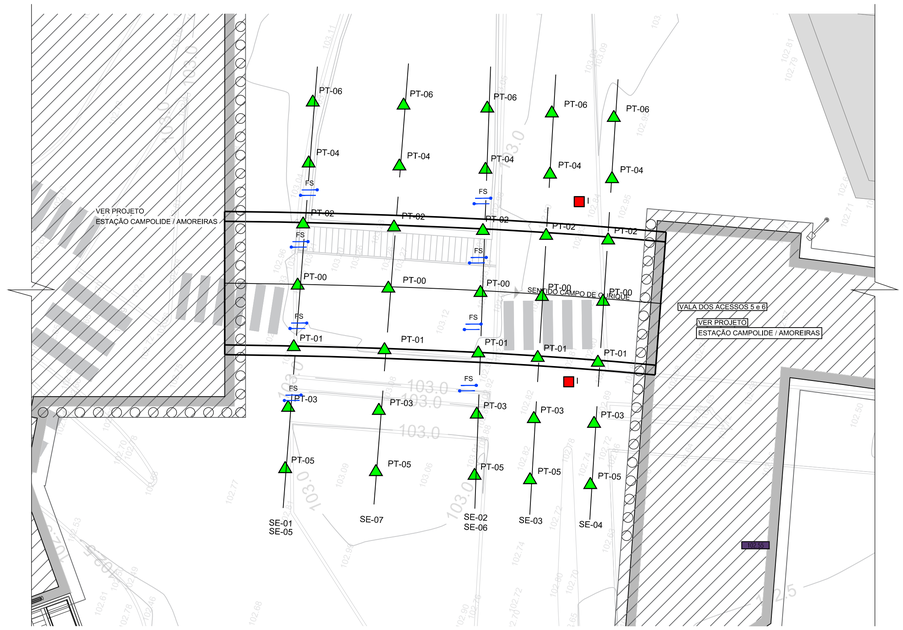
ESC. 1:200





B INSTRUMENTOS

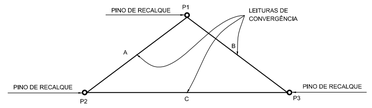
ESC. 1:200



PLANTA - INSTRUMENTAÇÃO

ESC. 1:250

ESQUEMA TÍPICO DOS INSTRUMENTOS



ESQUEMA TÍPICO DOS INSTRUMENTOS

ESC. S/ESC.

Legenda

- FS — Fissurómetro
- I — Inclinómetro
- P — Prisma topográfico

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL	10/10/2024	TAS	RVR
		DATA	DES.	VERIF.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

Data:

Aprov.

Verif.

Proj.

Des.

INSTRUMENTAÇÃO
OBRA ESPECIAL 2

ESTRUTURAS PROVISÓRIAS

INSTRUMENTAÇÃO - PLANTA,
PERFIL LONGITUDINAL E SECÇÃO

Escalas:

Des. nº 133456 F. /

Alter.

Substitui

Substituido

Nº SAP —

Versão

Folha

TROÇO 1 TROÇO 2 TROÇO 3 TROÇO 4 TROÇO 5 TROÇO 6 TROÇO 7

MOTA-ENGIL ENGENHARIA
coba JET SJ JLCM

Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Escalas:
1/200
1/250

Folha:
01/01

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN OE2 DW 088400 0

Alter. 0

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	Fase de obra			
	Leituras de referência	Durante a realização de trabalhos de escavação	Durante a paragem de trabalhos de escavação	Após a conclusão dos trabalhos na zona
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sismógrafo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	Fase de obra			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	20 - 60 m	60 - 100 m	> 100 m
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro (tiltmeter)	Bi-semanal	Bi-semanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros Tipo Casagrande	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bi-semanal	Bi-semanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro de corda vibrante para estruturas enterradas	Diariamente			
Extensómetro	Diariamente			
Sensor de nível líquido	6 leituras diárias			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – sup. primário	Diariamente			

Rua Rodrigo da Fonseca

Rua Marquês da Fronteira

Rua Artilharia 1

Tímpano com o túnel existente

0+000

0+100

0+200

0+300

002 003 004 005 006 007 008 009 010 011 012 013 014 015 016

001a 001b 001c 001d

Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC - Prisma topográfico para carril
- CV - Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS - Fissurómetro (edifícios)
- CC - Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C - Prisma de convergência
- S - Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI - Tiltímetro (edifícios) (*)
- PR - Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL			
		DATA	DES.	VERIF.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

INSTRUMENTAÇÃO
OBRA ESPECIAL 1

OBRA ESPECIAL OE1
TÍMPANO TÉRMINO S.SEBASTIÃO
PLANO DE OBSERVAÇÃO

Data:
Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

Escalas:
Des. nº 133454 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP — Versão
Folha

MOTAENGIL ENGENHARIA
spie batignolles
coba JET JLCM

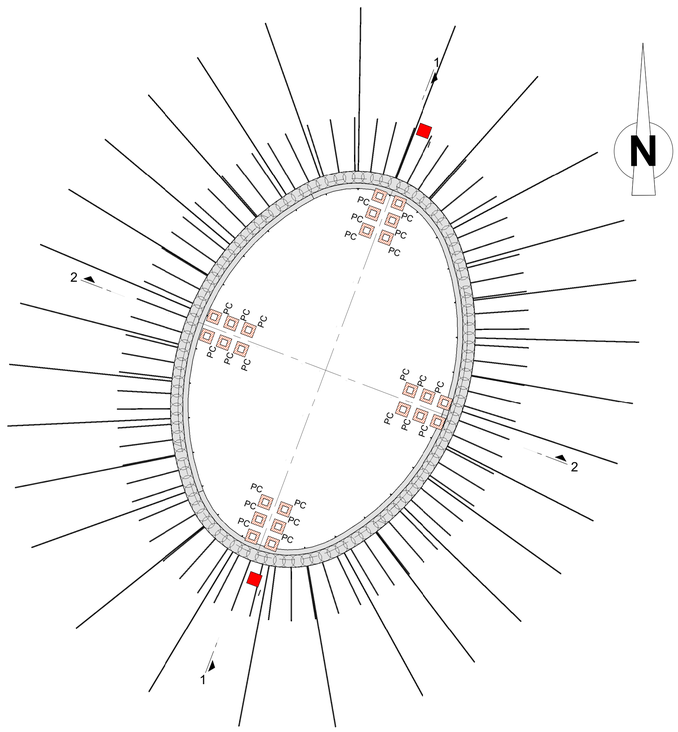
Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Escalas: 1/500
Folha: /

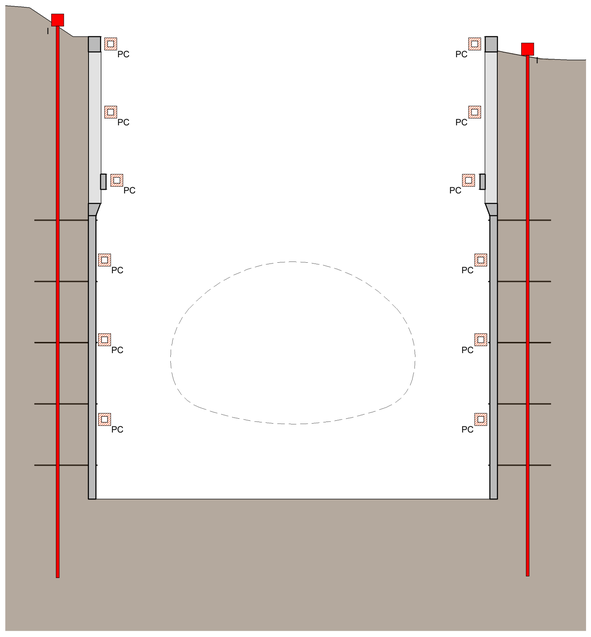
Aprov.
Verif.
Proj. FAB / PMM
Des.

Desenho nº LVSSA MSA PE INS TUN OE1 DW 088001 0
Alter. 0

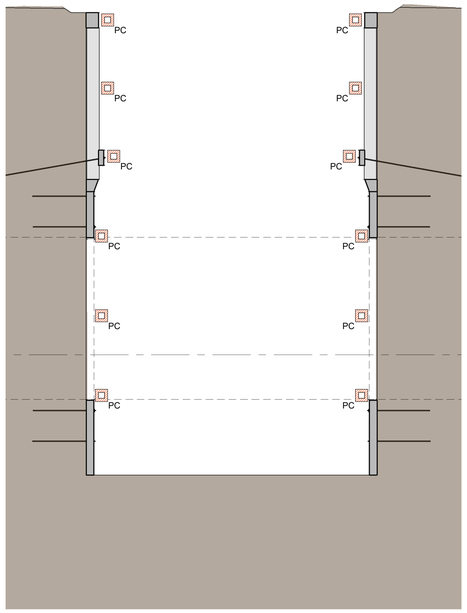
Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.



PLANTA DE IMPLANTAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO DA CONTENÇÃO
Esc. 1 : 200



CORTE 1-1
INSTRUMENTAÇÃO DA CONTENÇÃO
Esc. 1 : 200



CORTE 2-2
INSTRUMENTAÇÃO DA CONTENÇÃO
Esc. 1 : 200

LEGENDA DE DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO:

- PE/PC - PRISMA TOPOGRÁFICO (PE-EDIFÍCIOS / PC-CONTENÇÕES)
- E - EXTENSÓMETRO MULTIPONTO (*)
- I - INCLINÓMETRO (NO TARDOZ DAS ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO)
- CV - EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA PERFIS EM AÇO - ESCORAS METÁLICAS (*)
- FS - FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)
- CC - CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA COM *STRAIN GAUGES* (CAPACIDADE ATÉ 1500 kN)
- C - PRISMA DE CONVERGÊNCIA
- S - SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)
- TI - TILTIMETRO (EDIFÍCIOS)

NOTAS:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. Após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. Nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. Não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas. No caso da int45 e int 41 o posicionamento dependerá de levantamento de pormenor a realizar.
6. Após a realização da furação para a execução dos piezómetros, deverá esgotar-se a água do furo antes da sua instalação. Após a conclusão da instalação, deverá novamente esgotar-se a água do furo de modo a evitar erros de leitura.
7. O comprimento dos piezómetros de câmara isolada deverá ser confirmado em função dos resultados obtidos na furação.
8. Em preparação da realização de furação para a instalação de instrumentação, deverão ser realizadas as respetivas verificações para confirmação de que não existem serviços ou outras estruturas que possam ser intercetadas pela furação.
9. A instalação dos piezómetros localizados no interior das escavações a céu aberto deverá ser realizada após a execução das paredes moldadas, garantindo que a perfuração é realizada até uma profundidade que permita um encastramento mínimo de 1 m no complexo vulcânico de lisboa.

ALTERAÇÕES				
0	Emissão inicial	04/10/2024	AH	RP
		DATA	DES.	VERIF.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

Data:

Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

INSTRUMENTAÇÃO
POÇO DE VENTILAÇÃO 217

ESTRUTURAS PROVISÓRIAS
PLANTA E CORTES DE INSTRUMENTAÇÃO

Escalas:
Des. nº 133471 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP
Versão
Folha

DET TROÇO 85 · CHAMPS DE MARTINS TROÇO 84 · PV 211 · C. CURIQUE TROÇO 83 · PV 215 · INF. SANTO TROÇO 82 · ALCÂNTARA TROÇO 81 · PV 217

MOTA-ENGIL ENGENHARIA · spie batignolles · coba Portugal · JET SJ · JLCM TALPROJECTO

Aprov.	RP	04/10/2024
Verif.	RT	04/10/2024
Proj.	AH, AS, CM, PM	04/10/2024
Des.	AH	04/10/2024

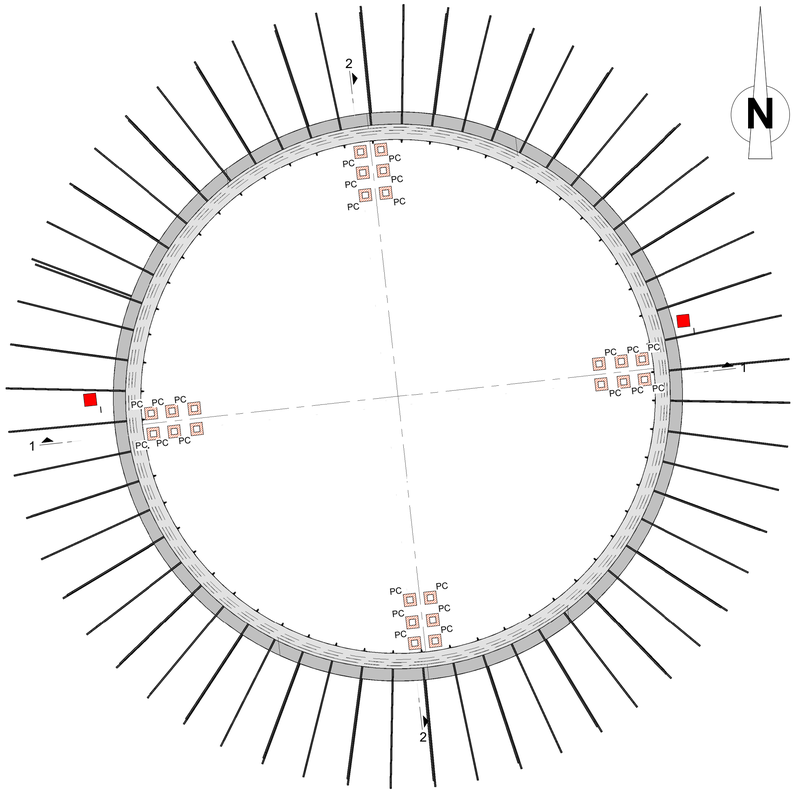
Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Escalas: 1/200
Folha: 01/01

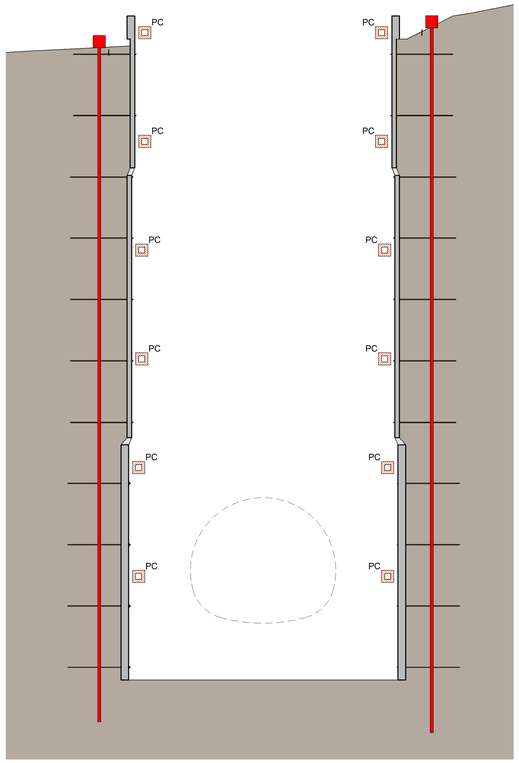
Desenho nº LVSSA MSA PE INS PVE PV217 DW 086400 0 (01-01)

Alter. 04/10/2024

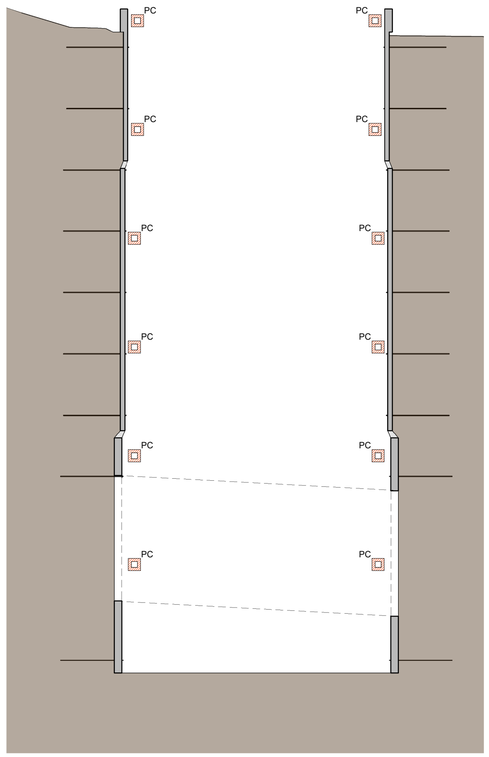
Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.



PLANTA DE IMPLANTAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO DA CONTENÇÃO
Esc. 1 : 100



CORTE 1-1
INSTRUMENTAÇÃO DA CONTENÇÃO
Esc. 1 : 200



CORTE 2-2
INSTRUMENTAÇÃO DA CONTENÇÃO
Esc. 1 : 200

LEGENDA DE DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO:

- PE/PC - PRISMA TOPOGRÁFICO (PE-EDIFÍCIOS / PC-CONTENÇÕES)
- E - EXTENSÓMETRO MULTIPONTO (*)
- I - INCLINÓMETRO (NO TARDOZ DAS ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO)
- CV - EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA PERFIS EM AÇO - ESCORAS METÁLICAS (*)
- FS - FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)
- CC - CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA COM *STRAIN GAUGES* (CAPACIDADE ATÉ 1500 kN)
- C - PRISMA DE CONVERGÊNCIA
- S - SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)
- TI - TILTIMETRO (EDIFÍCIOS)

NOTAS:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. Após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. Nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. Não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas. No caso da int45 e int 41 o posicionamento dependerá de levantamento de pormenor a realizar.
6. Após a realização da furação para a execução dos piezómetros, deverá esgotar-se a água do furo antes da sua instalação. Após a conclusão da instalação, deverá novamente esgotar-se a água do furo de modo a evitar erros de leitura.
7. O comprimento dos piezómetros de câmara isolada deverá ser confirmado em função dos resultados obtidos na furação.
8. Em preparação da realização de furação para a instalação de instrumentação, deverão ser realizadas as respetivas verificações para confirmação de que não existem serviços ou outras estruturas que possam ser intercetadas pela furação.
9. A instalação dos piezómetros localizados no interior das escavações a céu aberto deverá ser realizada após a execução das paredes moldadas, garantindo que a perfuração é realizada até uma profundidade que permita um encastramento mínimo de 1 m no complexo vulcânico de lisboa.

ALTERAÇÕES				
0	Emissão inicial	04/10/2024	AH	RP
		DATA	DES.	VERIF.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

Data:

Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

INSTRUMENTAÇÃO
POÇO DE VENTILAÇÃO 215

ESTRUTURAS PROVISÓRIAS
PLANTA E CORTES DE INSTRUMENTAÇÃO

Escalas:
Des. nº 133470 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP
Versão
Folha

JET TROÇO 85 · CAMPO DE MARTIRES TROÇO 84 · PV 211 · C. CURIQUE TROÇO 83 · PV 215 · INF. SANTO TROÇO 82 · ALCÂNTARA TROÇO 81 · PV 217

MOTA-ENGIL ENGENHARIA · spie batignolles · coba Portugal · JET SJ · JLCM

Aprov.	RP	04/10/2024
Verif.	RT	04/10/2024
Proj.	AH, AS, CM, PM	04/10/2024
Des.	AH	04/10/2024

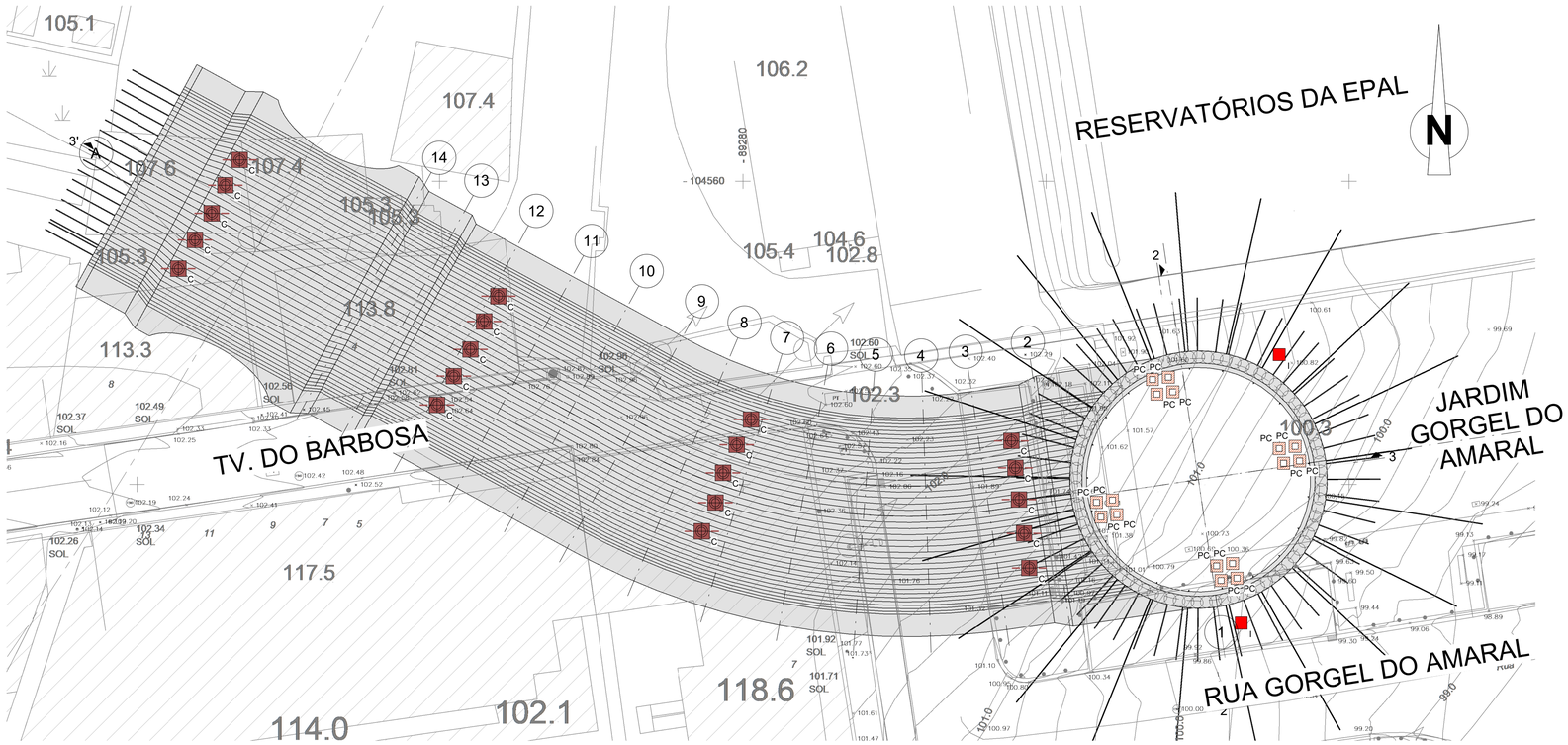
Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Escalas: 1/200
Folha: 01/01

Desenho nº LVSSA MSA PE INS PVE PV215 DW 086400 0 (01-01)

Alter. 04/10/2024

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.



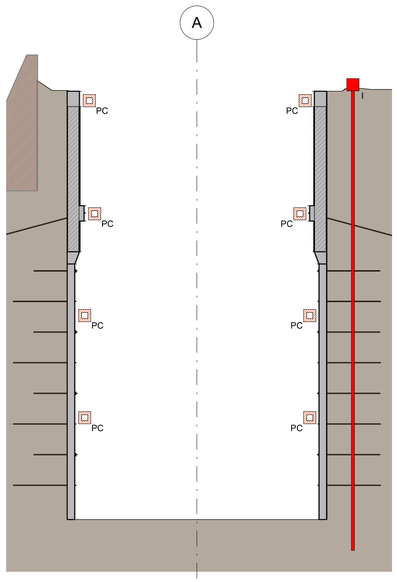
PLANTA DE IMPLANTAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO DA CONTENÇÃO
Esc. 1 : 200

LEGENDA DE DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO:

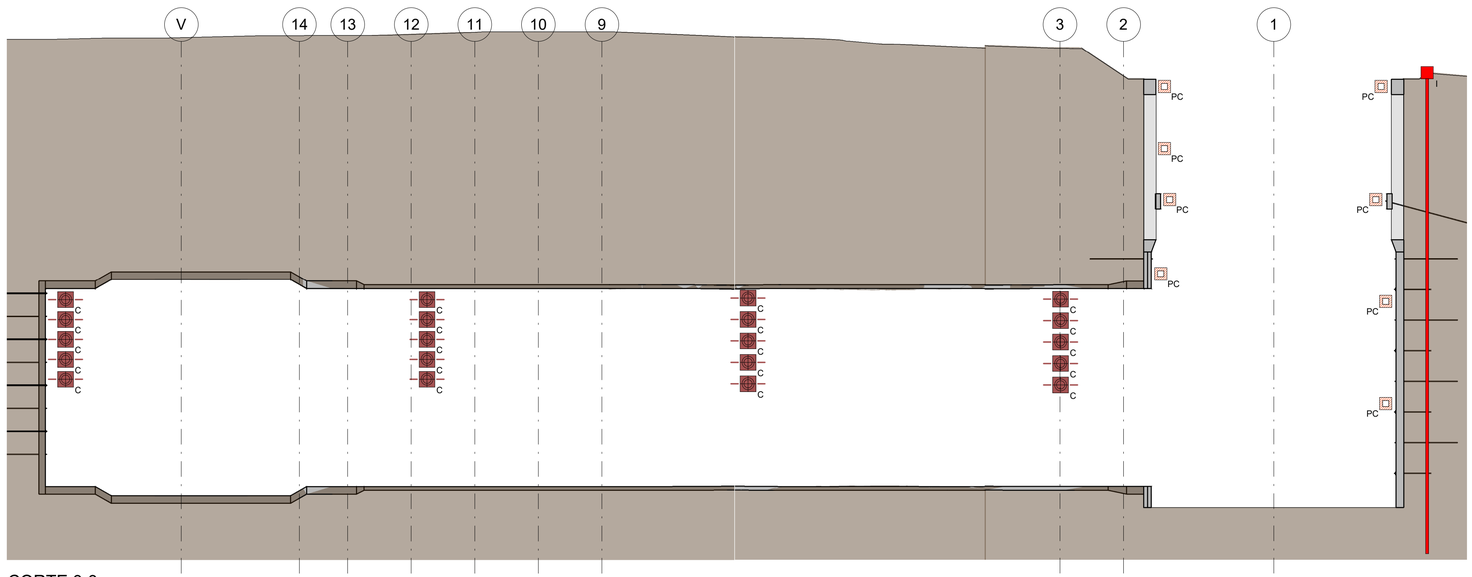
- PE/PC - PRISMA TOPOGRÁFICO (PE-EDIFÍCIOS / PC-CONTENÇÕES)
- E - EXTENSÓMETRO MULTIPONTO (*)
- I - INCLINÓMETRO (NO TARDOZ DAS ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO)
- CV I - EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA PERFIS EM AÇO - ESCORAS METÁLICAS (*)
- FS - FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)
- CC - CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA COM *STRAIN GAUGES* (CAPACIDADE ATÉ 1500 kN)
- C - PRISMA DE CONVERGÊNCIA
- S - SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)
- TI - TILTIMETRO (EDIFÍCIOS)

NOTAS:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. Após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. Nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. Não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas. No caso da int45 e int 41 o posicionamento dependerá de levantamento de pormenor a realizar.
6. Após a realização da furação para a execução dos piezómetros, deverá esgotar-se a água do furo antes da sua instalação. Após a conclusão da instalação, deverá novamente esgotar-se a água do furo de modo a evitar erros de leitura.
7. O comprimento dos piezómetros de câmara isolada deverá ser confirmado em função dos resultados obtidos na furação.
8. Em preparação da realização de furação para a instalação de instrumentação, deverão ser realizadas as respetivas verificações para confirmação de que não existem serviços ou outras estruturas que possam ser intercetadas pela furação.
9. A instalação dos piezómetros localizados no interior das escavações a céu aberto deverá ser realizada após a execução das paredes moldadas, garantindo que a perfuração é realizada até uma profundidade que permita um encastramento mínimo de 1 m no complexo vulcânico de lisboa.



CORTE 2-2
INSTRUMENTAÇÃO DA CONTENÇÃO
Esc. 1 : 200



CORTE 3-3
INSTRUMENTAÇÃO DA CONTENÇÃO
Esc. 1 : 200

ALTERAÇÕES				
0	Emissão inicial	04/10/2024 DATA	AH DES.	RP VERIF.

Data:

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

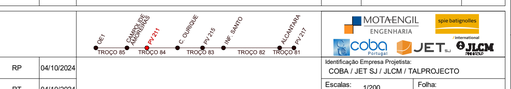
Metropolitano de Lisboa

Aprov.			
Verif.			
Proj.			
Des.			

INSTRUMENTAÇÃO
POÇO DE VENTILAÇÃO 211

ESTRUTURAS PROVISÓRIAS
PLANTA E CORTES DE INSTRUMENTAÇÃO

Escalas:
Des. nº 133469 F. ___/___
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP — Versão
Folha



Aprov.	RP	04/10/2024
Verif.	RT	04/10/2024
Proj.	AH, AS, CM, PM	04/10/2024
Des.	AH	04/10/2024

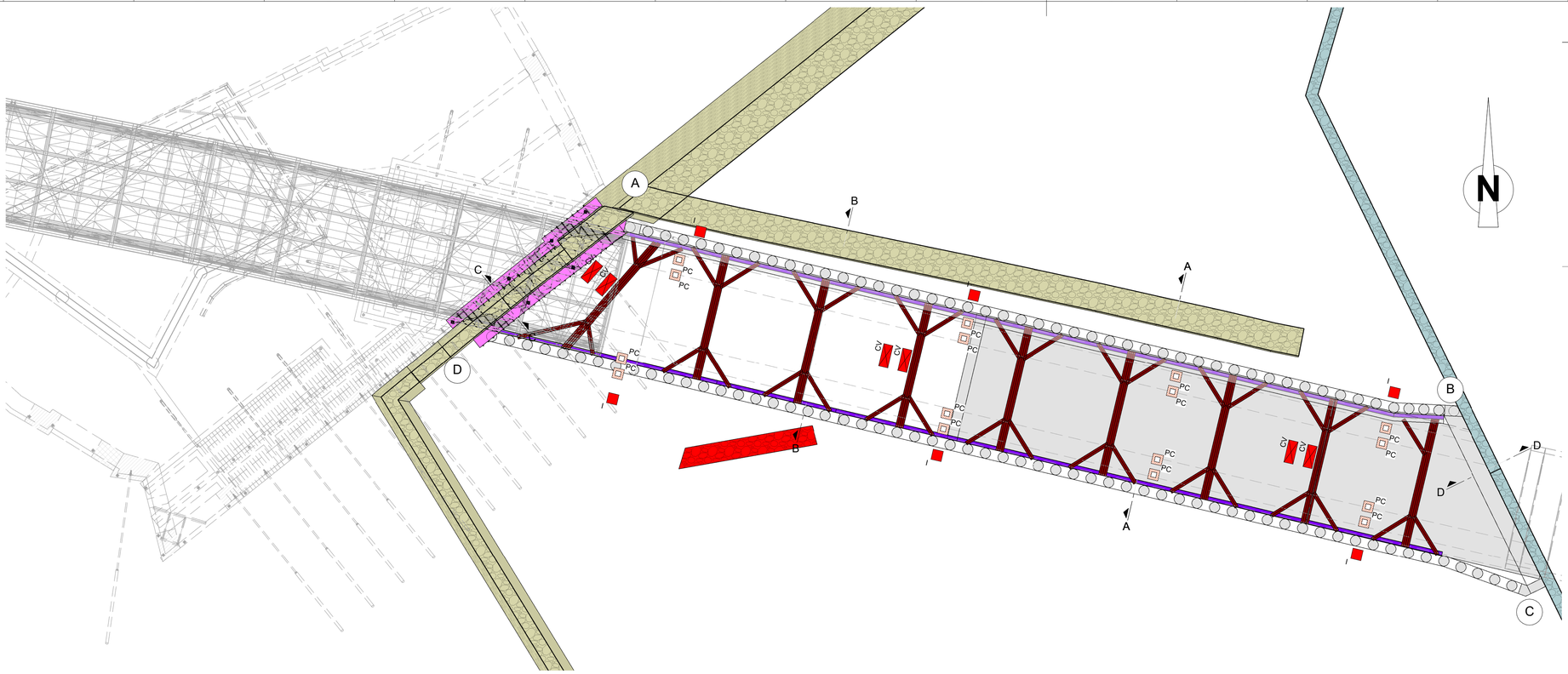
Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Escalas: 1/200
Folha: 01/01

Desenho nº LVSSA MSA PE INS PVE PV211 DW 086400 0 (01-01)

Alter. 04/10/2024

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.



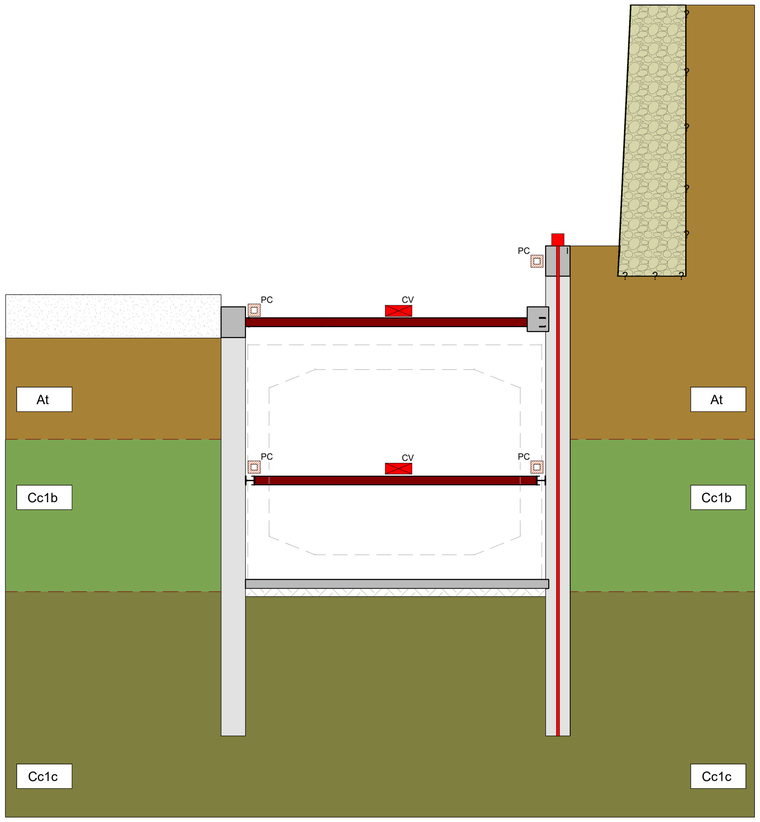
PLANTA DE DIMENSIONAMENTO
INSTRUMENTAÇÃO DA CONTENÇÃO
Esc. 1 : 200

LEGENDA DE DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO:

- PE/PC - PRISMA TOPOGRÁFICO (PE-EDIFÍCIOS / PC-CONTENÇÕES)
- E - EXTENSÓMETRO MULTIPONTO (*)
- I - INCLINÓMETRO (NO TARDOZ DAS ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO)
- CV - EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA PERFIS EM AÇO - ESCORAS METÁLICAS (*)
- FS - FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)
- CC - CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA COM *STRAIN GAUGES* (CAPACIDADE ATÉ 1500 kN)
- C - PRISMA DE CONVERGÊNCIA
- S - SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)
- TI - TILTIMETRO (EDIFÍCIOS)

NOTAS:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. Após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. Nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. Não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas. No caso da int45 e int 41 o posicionamento dependerá de levantamento de pormenor a realizar.
6. Após a realização da furação para a execução dos piezómetros, deverá esgotar-se a água do furo antes da sua instalação. Após a conclusão da instalação, deverá novamente esgotar-se a água do furo de modo a evitar erros de leitura.
7. O comprimento dos piezómetros de câmara isolada deverá ser confirmado em função dos resultados obtidos na furação.
8. Em preparação da realização de furação para a instalação de instrumentação, deverão ser realizadas as respetivas verificações para confirmação de que não existem serviços ou outras estruturas que possam ser intercetadas pela furação.
9. A instalação dos piezómetros localizados no interior das escavações a céu aberto deverá ser realizada após a execução das paredes moldadas, garantindo que a perfuração é realizada até uma profundidade que permita um encastramento mínimo de 1 m no complexo vulcânico de lisboa.



CORTE A-A E B-B
INSTRUMENTAÇÃO DA CONTENÇÃO
Esc. 1 : 100

ALTERAÇÕES				
0	Emissão inicial	04/10/2024	PM	RP
		DATA	DES.	VERIF.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

INSTRUMENTAÇÃO
ESTAÇÃO DE ALCANTARA

PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO
PLANTA

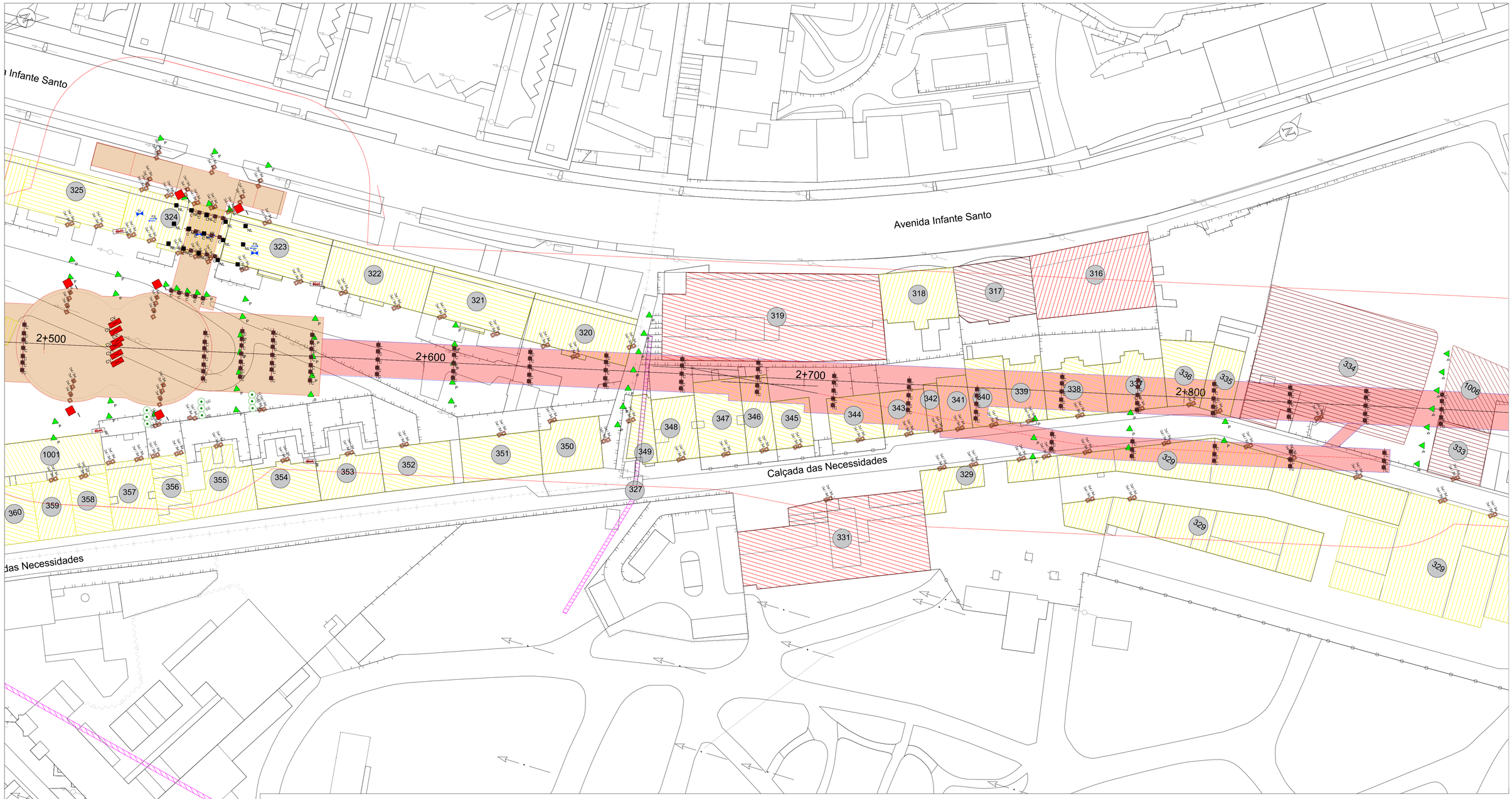
Escalas: Des. nº 133460 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP — Versão
Folha

Aprov.	RP	04/10/2024
Verif.	RT	04/10/2024
Proj.	AH, AS, CM, PM	04/10/2024
Des.	PM	04/10/2024

Desenho nº LVSSA MSA PE INS OE OE5 DW 088400 0 (01-01)

Identificação Empresa Projetista: COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO
Escalas: 1:100 1:200
Folha: 01/01
Alter. 04/10/2024

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.



Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PI - Piezómetro elétrico (*)
- PQ - Piezómetro tipo casagrande
- PC - Prisma topográfico para carril
- CV - Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS - Fissurómetro (edifícios)
- CC - Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C - Prisma de convergência
- S - Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI - Tiltímetro (edifícios) (*)
- PR - Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL			
		DATA	DES.	VERIF.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

INSTRUMENTAÇÃO
ESTAÇÃO INFANTE SANTO

ESTAÇÃO INFANTE SANTO
PLANO DE OBSERVAÇÃO
(2/2)

Data:
Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

Escalas:
Des. nº 133467 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP — Versão
Folha

MOTA-ENGIL ENGENHARIA · spie batignolles international · COBA · JET · JLCM

Identificação Empresa Projetista:
COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Escalas: 1/500
Folha: /

Desenho nº LVSSA MSA PE INS EST IS DW 084002 0
Alter. 0

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações a céu aberto)				
Tipo de dispositivo	Fase de obra			
	Leituras de referência	Durante a realização de trabalhos de escavação	Durante a paragem de trabalhos de escavação	Após a conclusão dos trabalhos na zona
Prisma topográfico (edifícios e contenções)	Mínimo de 2 leituras num período de 2 semanas antes do início dos trabalhos de escavação; No caso das linhas desviadas provisoriamente (Carris e IP) mínimo de duas leituras antes do início da circulação.	6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Inclinómetro		Semanalmente	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Piezómetro elétrico		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Piezómetros Tipo Casagrande		Semanalmente	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico para carril		6 leituras diárias	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Extensómetro de corda vibrante para perfis de aço (escoras metálicas)		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – estrutura reaterrada
Fissurómetro		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até inferior a 2 mm/mês
Célula de carga elétrica		Bi-semanal	Semanalmente	Não aplicável – ancoragens desativadas
Prisma de convergência		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês
Sísmografo		1 leitura por hora	1 leitura por hora	Não aplicável
Clinómetro (*tiltmeter*)		Bi-semanal	Semanalmente	Mensalmente até as leituras dos dispositivos topográficos mais próximos indicarem menos de 2 mm/mês

Frequência de leitura de dispositivos (Escavações subterrâneas)				
Tipo de instrumento	Fase de obra			
	Distância relativa à frente de escavação			
	< 20 m	20 - 60 m	60 - 100 m	> 100 m
Prisma topográfico (edifícios)	6 leituras diárias	Cada 2 dias	Semanalmente	Quinzenalmente até inferior a 2 mm/mês
Prisma topográfico (pavimentos)	6 leituras diárias			
Clinómetro (tiltmeter)	Bi-semanal	Bi-semanal		
Piezómetro elétrico	6 leituras diárias	Cada 2 dias		
Piezómetros Tipo Casagrande	Semanalmente	Semanalmente		
Fissurómetro	Bi-semanal	Bi-semanal		
Sismógrafo	1 leitura por hora	1 leitura por hora	1 leitura por hora	
Prisma de convergência	Diariamente	Cada 2 dias	Cada 2 dias	
Extensómetro de corda vibrante para estruturas enterradas	Diariamente			
Extensómetro	Diariamente			
Sensor de nível líquido	6 leituras diárias			
Inclinómetro	Semanalmente	Semanalmente	Semanalmente	
Inspeção visual – sup. primário	Diariamente			

Legenda de dispositivos de instrumentação e observação:

- PE / PC - Prisma topográfico (PE-Edifícios / PC-Contenções)
- P - Prisma topográfico (pavimentos)
- E - Extensómetro multiponto (*)
- I - Inclinómetro
- PL - Piezómetro elétrico (*)
- PG - Piezómetro tipo casagrande
- PC -Prisma topográfico para carril
- CV -Extensómetro de corda vibrante para perfis em aço - escoras metálicas (*)
- FS -Fissurómetro (edifícios)
- CC -Célula de carga elétrica com *strain gauges* (capacidade até 1500 kN) (*)
- C -Prisma de convergência
- S -Sismógrafo (edifícios) (*)
- TI -Tiltimetro (edifícios) (*)
- PR -Prisma topográfico de referência (leitura x,y,z)
- ET - Estação total robotizada (edifícios)

(*) Ligação a um sistema automático de aquisição de dados

Notas:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas.

Legenda

- Limite da Faixa de Influência
- Túnel: Escavação Subterrânea (*NATM*)
- Túnel: Escavação a Céu Aberto (Cut and Cover)
- Estações, Poços de Ventilação e Viaduto
- Edifícios
- Aquedutos
- Edifícios de Interesse Patrimonial
- Edifícios Públicos
- Cemitérios
- Edifícios com Pisos Enterrados
- Obras de Arte
- Linha Eléctrico
- Linha Férrea

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL			
		DATA	DES.	VERIF.

Data:

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO
ESTAÇÃO INFANTE SANTO

ESTAÇÃO INFANTE SANTO
PLANO DE OBSERVAÇÃO
(1/2)

Metropolitano de Lisboa

Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

Escalas: Des. nº 133466 F. __/__
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP — Versão —
Folha

MOTA-ENGIL ENGENHARIA · spie batignolles · COBA · JET SJ · JLCM

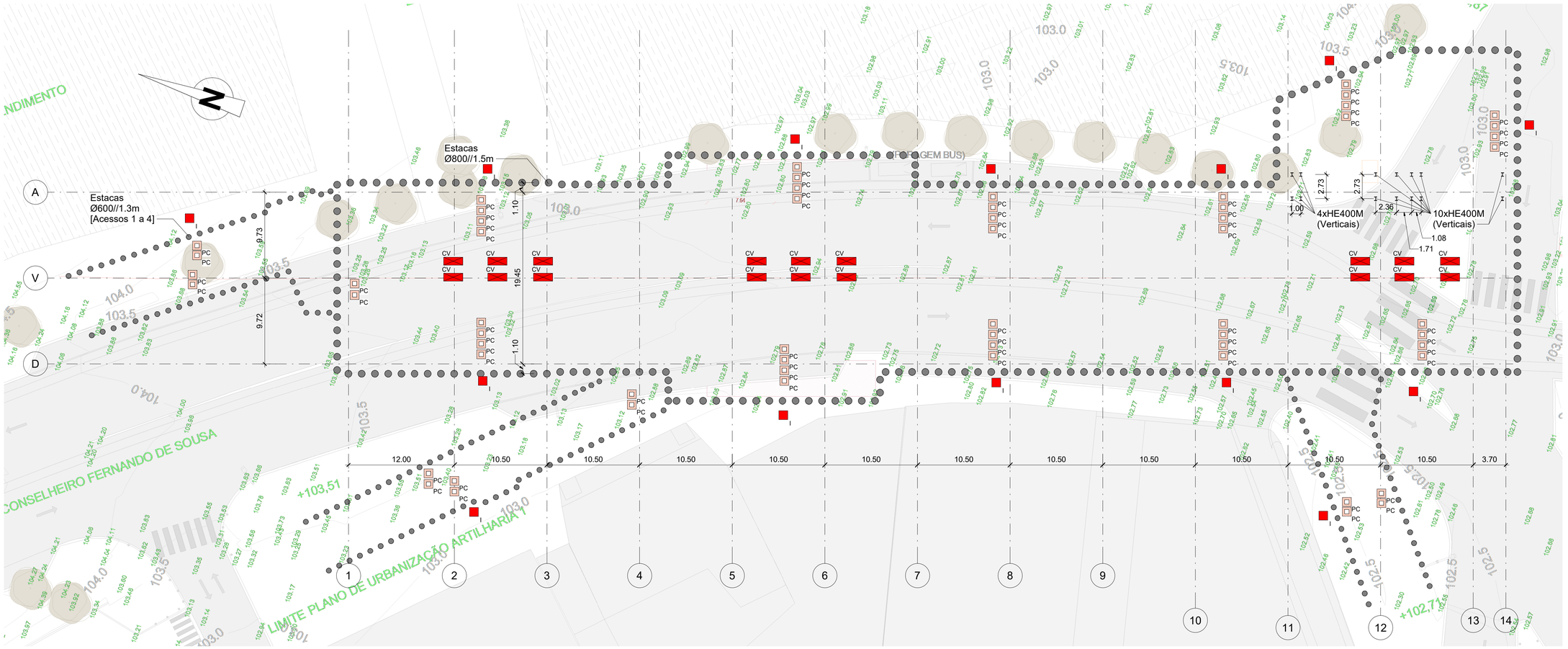
Aprov.
Verif.
Proj. FAB / PMM
Des.

Identificação Empresa Projetista: COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO
Escalas: 1/500
Folha: __/__
Desenho nº LVSSA MSA PE INS EST IS DW 084001 0
Alter. 0

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.

PLANTA DE IMPLANTAÇÃO - CORPO DA ESTAÇÃO

Esc.1 : 250



LEGENDA DE DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO:

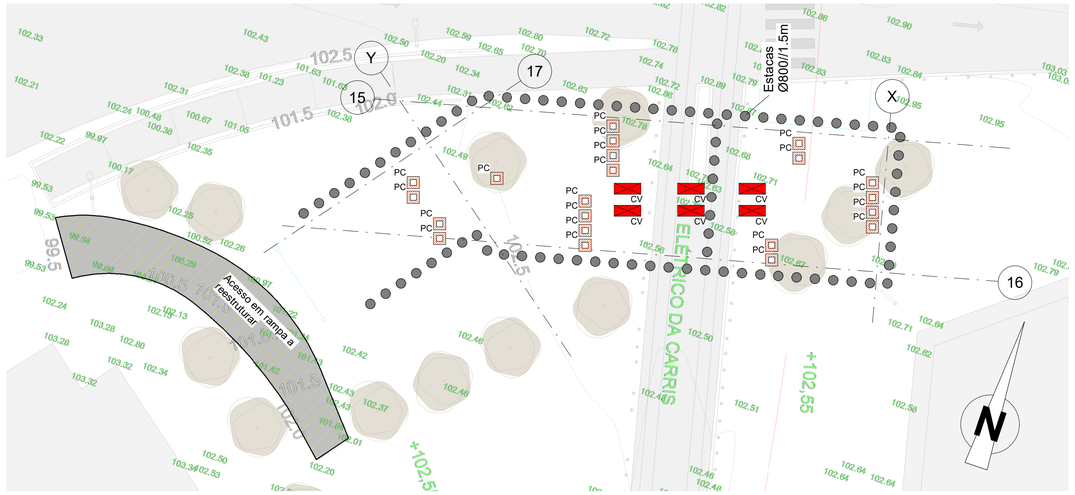
- PE/PC - PRISMA TOPOGRÁFICO (PE-EDIFÍCIOS / PC-CONTENÇÕES)
- E - EXTENSÓMETRO MULTIPONTO (*)
- I - INCLINÓMETRO (NO TARDOZ DAS ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO)
- CV - EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA PERFIS EM AÇO - ESCORAS METÁLICAS (*)
- FS - FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)
- CC - CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA COM *STRAIN GAUGES* (CAPACIDADE ATÉ 1500 kN)
- C - PRISMA DE CONVERGÊNCIA
- S - SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS)
- TI - TILTIMETRO (EDIFÍCIOS)

NOTAS:

1. A posição dos vários dispositivos de instrumentação poderá ter que ser ajustada em fase de obra, em função da realidade local, face à existência de eventuais condicionamentos não detetados no projeto. Após a instalação as coordenadas deverão levantadas.
2. A instrumentação deverá ser adequadamente protegida, no sentido de evitar que a mesma seja danificada durante a execução da obra.
3. A frequência de leituras proposta poderá ter que ser redefinida, função da evolução do comportamento observado nos vários dispositivos de leitura.
4. A realização de leituras em prismas topográficos para edifícios e pavimentos pressupõe o recurso a elementos de referência, posicionados em locais não sujeitos a perturbações e a uma distância tal que o erro de leitura seja minimizado. Nas várias peças desenhadas são indicadas as localizações propostas para os dispositivos de referência, que serão materializados por prismas topográficos de precisão posicionados em edifícios. Não obstante, no inicio da obra, estes poderão sofrer revisão em função dos condicionalismos identificados na sua instalação.
5. O número de fissurómetros a instalar dependerá do número de fendas detetadas. No caso da int45 e int 41 o posicionamento dependerá de levantamento de pormenor a realizar.
6. Após a realização da furação para a execução dos piezómetros, deverá esgotar-se a água do furo antes da sua instalação. Com a conclusão da instalação, deverá novamente esgotar-se a água do furo de modo a evitar erros de leitura.
7. O comprimento dos piezómetros de câmara isolada deverá ser confirmado em função dos resultados obtidos na furação.
8. Em preparação da realização de furação para a instalação de instrumentação, deverão ser realizadas as respetivas verificações para confirmação de que não existem serviços ou outras estruturas que possam ser intercetadas pela furação.
9. A instalação dos piezómetros localizados no interior das escavações a céu aberto deverá ser realizada após a execução das paredes moldadas, garantindo que a perfuração é realizada até uma profundidade que permita um encastramento mínimo de 1 m no complexo vulcânico de lisboa.

PLANTA DE IMPLANTAÇÃO - ACESSO 5

Esc.1 : 250

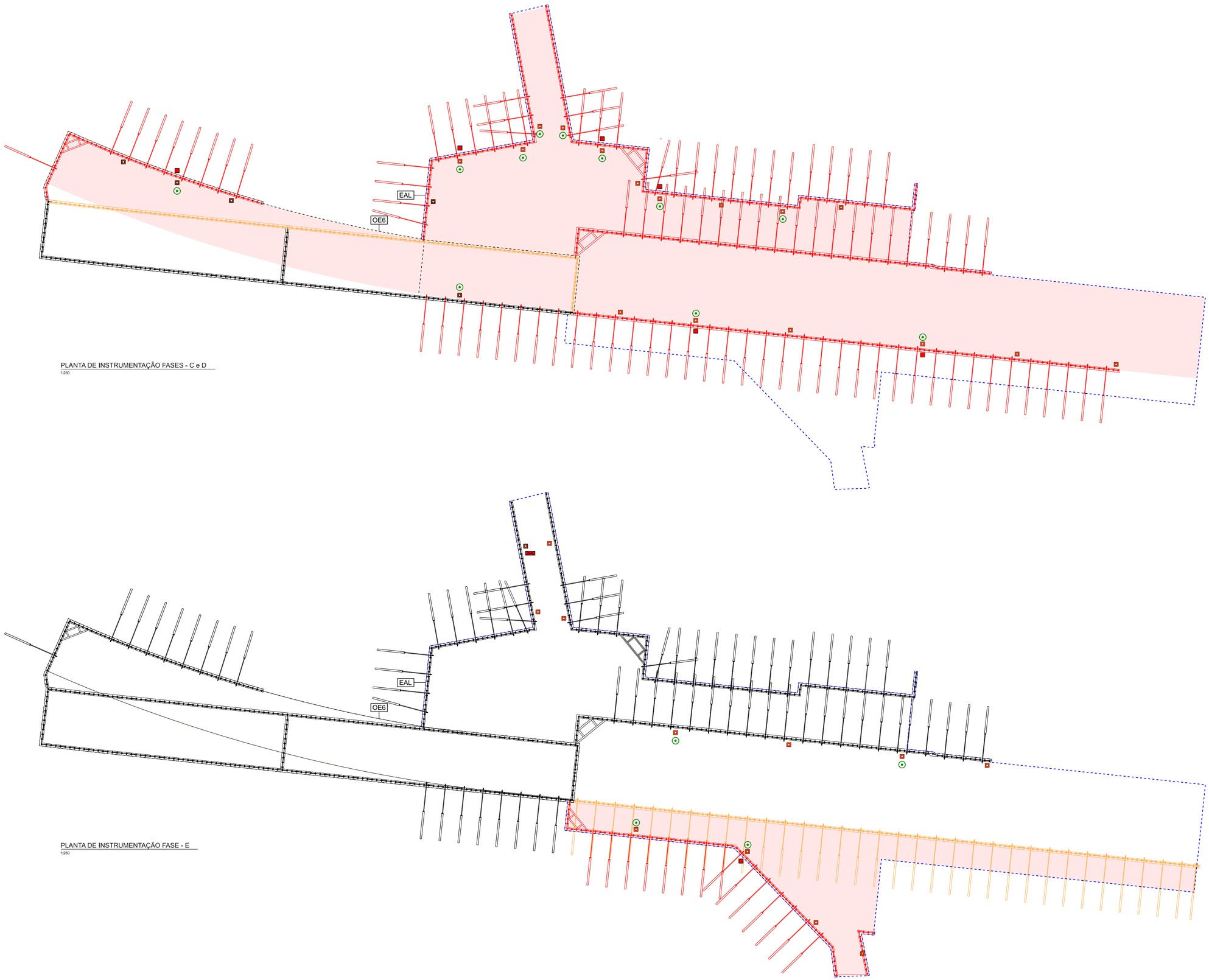


ALTERAÇÕES				
0	Emissão Inicial	04/10/2024	AS	RP
		DATA	DES.	VERIF.

Data:	PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA PROJETO DE EXECUÇÃO	Metropolitano de Lisboa	
Aprov.	INSTRUMENTAÇÃO ESTAÇÃO DE CAMPOLIDE/AMOREIRAS	Escalas: Des. nº 133464 F. __/__ Alter. Substitui Substituído	
Verif.			
Proj.	ESTRUTURAS PROVISÓRIAS PLANTA DE INSTRUMENTAÇÃO	Nº SAP —	Versão Folha
Des.			

Aprov.	RP	04/10/2024	CR1 TROÇO 85 · EST. CAMPOLIDE PP.211 · TROÇO 84 · C. CARREIRAS PP.215 · TROÇO 83 · INF. SANTO PP.219 · TROÇO 82 · ALCÂNTARA PP.217 · TROÇO 81
Verif.	RT	04/10/2024	Identificação Empresa Projetista: COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO
Proj.	AS, AH, CM, PM	04/10/2024	Escalas: 1:250 · Folha: 01/01
Des.	AS	04/10/2024	Desenho nº LVSSA MSA PE INS EST CE DW 082400 0 (01-01) · Alter. 04/10/2024

Desenho elaborado/adaptado sobre as bases editáveis do Programa Preliminar do Prolongamento da Linha Vermelha entre S. Sebastião e Alcântara, do Metropolitano de Lisboa, E.P.E.



PLANTA DE INSTRUMENTAÇÃO FASES - C e D

1:250

PLANTA DE INSTRUMENTAÇÃO FASE - E

1:250

LEGENDA DE DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO:

- PE / PC - PRISMA TOPOGRÁFICO (PE-EDIFÍCIOS / PC-CONTENÇÕES)
- P - PRISMA TOPOGRÁFICO (PAVIMENTOS)
- E - EXTENSÓMETRO MULTIPONTO (*)
- I - INCLINÓMETRO
- PL - PIEZÓMETRO ELÉTRICO (*)
- PG - PIEZÓMETRO TIPO CASAGRANDE
- PC - PRISMA TOPOGRÁFICO PARA CARRIL
- CV - EXTENSÓMETRO DE CORDA VIBRANTE PARA PERFIS EM AÇO - ESCORAS METÁLICAS (*)
- FS - FISSURÓMETRO (EDIFÍCIOS)
- CC - CÉLULA DE CARGA ELÉTRICA COM *STRAIN GAUGES* (CAPACIDADE ATÉ 1500 kN) (*)
- C - PRISMA DE CONVERGÊNCIA
- S - SISMÓGRAFO (EDIFÍCIOS) (*)
- TI - TILTIMETRO (EDIFÍCIOS) (*)
- PR - PRISMA TOPOGRÁFICO DE REFERÊNCIA (LEITURA X,Y,Z)
- ET - ESTAÇÃO TOTAL ROBOTIZADA (EDIFÍCIOS)

(*) LIGAÇÃO A UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE AQUISIÇÃO DE DADOS

NOTAS:

1. A POSIÇÃO DOS VÁRIOS DISPOSITIVOS DE INSTRUMENTAÇÃO PODERÁ TER QUE SER AJUSTADA EM FASE DE OBRA, EM FUNÇÃO DA REALIDADE LOCAL, FACE À EXISTÊNCIA DE EVENTUAIS CONDICIONAMENTOS NÃO DETETADOS NO PROJETO, APÓS A INSTALAÇÃO AS COORDENADAS DEVERÃO LEVANTADAS.
2. A INSTRUMENTAÇÃO DEVERÁ SER ADEQUADAMENTE PROTEGIDA, NO SENTIDO DE EVITAR QUE A MESMA SEJA DANIFICADA DURANTE A EXECUÇÃO DA OBRA.
3. A FREQUÊNCIA DE LEITURAS PROPOSTA PODERÁ TER QUE SER REDEFINIDA, FUNÇÃO DA EVOLUÇÃO DO COMPORTAMENTO OBSERVADO NOS VÁRIOS DISPOSITIVOS DE LEITURA.
4. A REALIZAÇÃO DE LEITURAS EM PRISMAS TOPOGRÁFICOS PARA EDIFÍCIOS E PAVIMENTOS PRESSUPÕE O RECURSO A ELEMENTOS DE REFERÊNCIA, POSICIONADOS EM LOCAIS NÃO SUJEITOS A PERTURBAÇÕES E A UMA DISTÂNCIA TAL QUE O ERRO DE LEITURA SEJA MINIMIZADO. NAS VÁRIAS PEÇAS DESENHADAS SÃO INDICADAS AS LOCALIZAÇÕES PROPOSTAS PARA OS DISPOSITIVOS DE REFERÊNCIA, QUE SERÃO MATERIALIZADOS POR PRISMAS TOPOGRÁFICOS DE PRECISÃO POSICIONADOS EM EDIFÍCIOS. NÃO OBSTANTE, NO INICIO DA OBRA, ESTES PODERÃO SOFRER REVISÃO EM FUNÇÃO DOS CONDICIONALISMOS IDENTIFICADOS NA SUA INSTALAÇÃO.
5. O NÚMERO DE FISSURÓMETROS A INSTALAR DEPENDERÁ DO NÚMERO DE FENDAS DETETADAS.
6. APÓS A REALIZAÇÃO DA FURAÇÃO PARA A EXECUÇÃO DOS PIEZÓMETROS, DEVERÁ ESGOTAR-SE A ÁGUA DO FURO ANTES DA SUA INSTALAÇÃO. APÓS A CONCLUSÃO DA INSTALAÇÃO, DEVERÁ NOVAMENTE ESGOTAR-SE A ÁGUA DO FURO DE MODO A EVITAR ERROS DE LEITURA.
7. O COMPRIMENTO DOS PIEZÓMETROS DE CÂMARA ISOLADA DEVERÁ SER CONFIRMADO EM FUNÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA FURAÇÃO.
8. EM PREPARAÇÃO DA REALIZAÇÃO DE FURAÇÃO PARA A INSTALAÇÃO DE INSTRUMENTAÇÃO, DEVERÃO SER REALIZADAS AS RESPETIVAS VERIFICAÇÕES PARA CONFIRMAÇÃO DE QUE NÃO EXISTEM SERVIÇOS OU OUTRAS ESTRUTURAS QUE POSSAM SER INTERCETADAS PELA FURAÇÃO.

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL	03/10/2024	LC	AM
		DATA	DES.	VERIF.

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJECTO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

Datas:
Aprov.
Verif.
Proj.
Des.

ESTRUTURAS
ESTAÇÃO ALCÂNTARA

PLANO DE OBSERVAÇÃO

Escalas:
Des. nº 133468 F. 1 / 1
Alter.
Subsétil
Subsétil.dois
Nº SAP — Versão —
Ficha

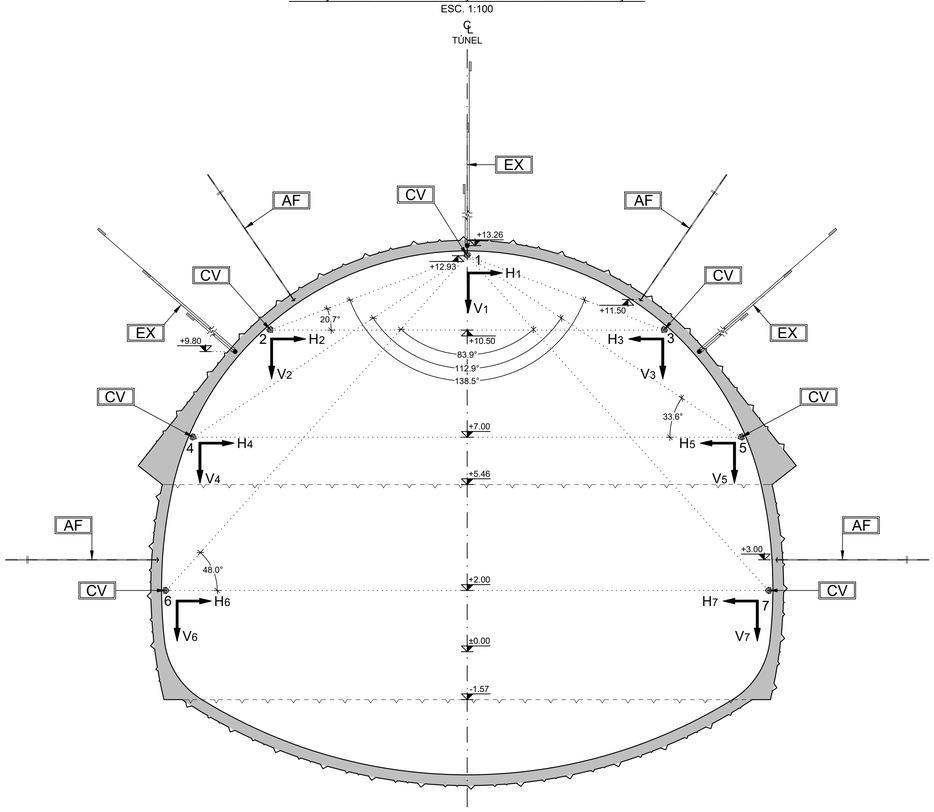
MOTAENGIL ENGENHARIA
coba JET. JLCM
Identificação Empresa Projetista: COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Aprov.	RP	03/10/2024
Verif.	SN	03/10/2024
Proj.	AM	03/10/2024
Des.	LC	03/10/2024

Escalas: INDICADAS
Folha: 01 / 01
Alter. 0
Desenho nº LVSSA MSA PE INS EST AC DW 085001 0

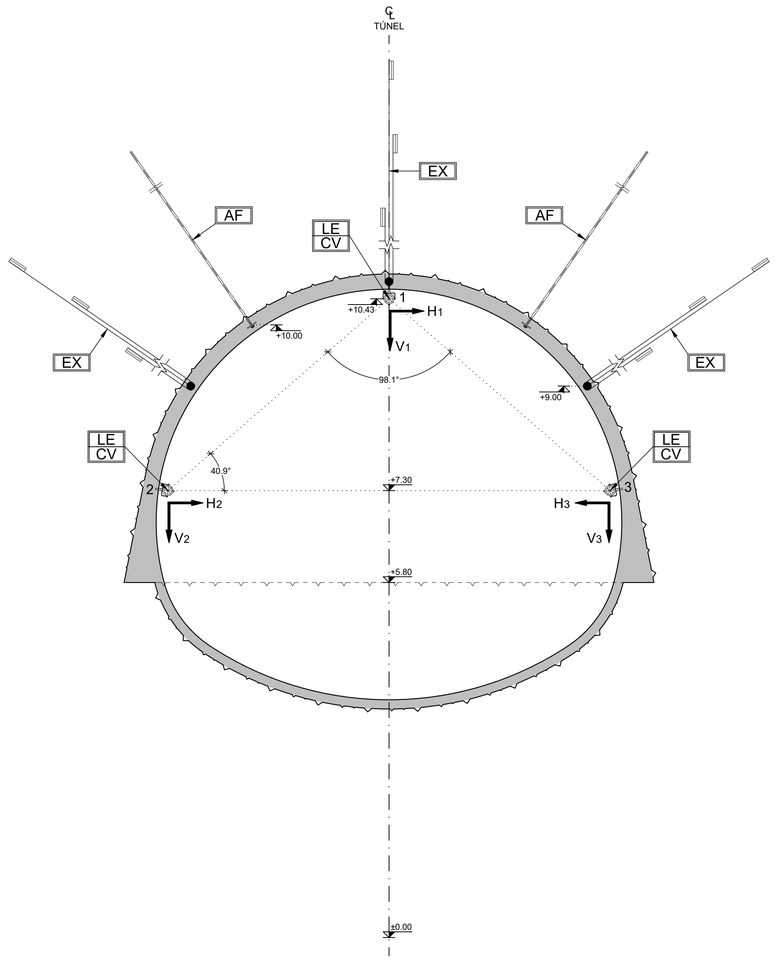
ESTAÇÃO DE MONOTORIZAÇÃO DO TÚNEL DA ESTAÇÃO

ESC. 1:100



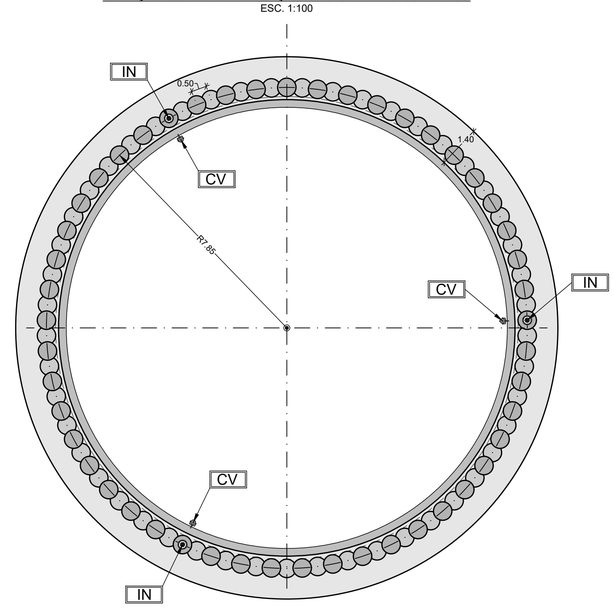
ESTAÇÃO DE MONOTORIZAÇÃO DO TÚNEL DE ACESSO

ESC. 1:50



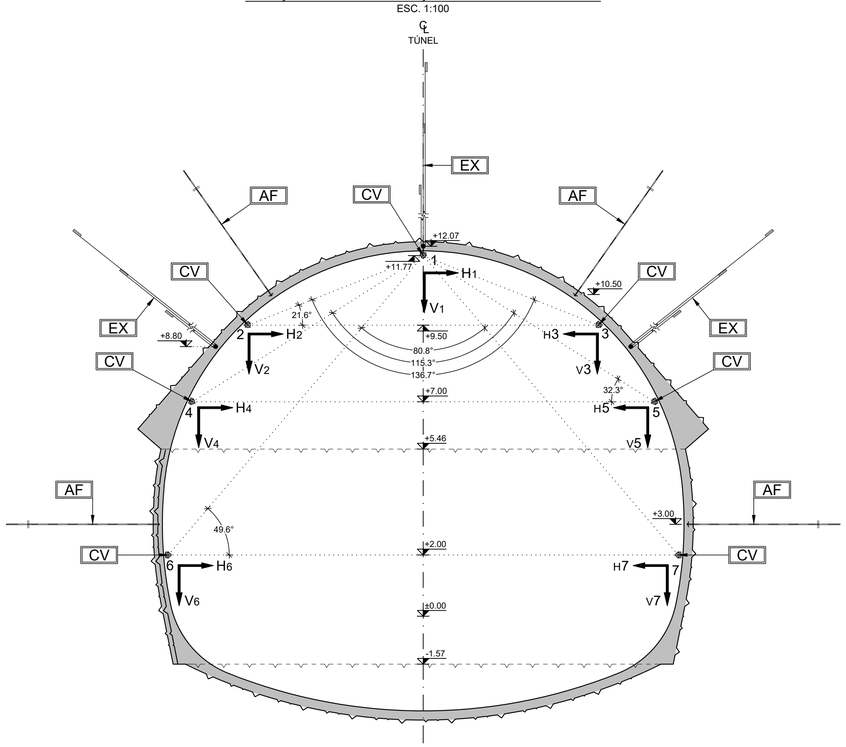
ESTAÇÃO DE MONOTORIZAÇÃO DAS ESTACAS SECANTES

ESC. 1:100



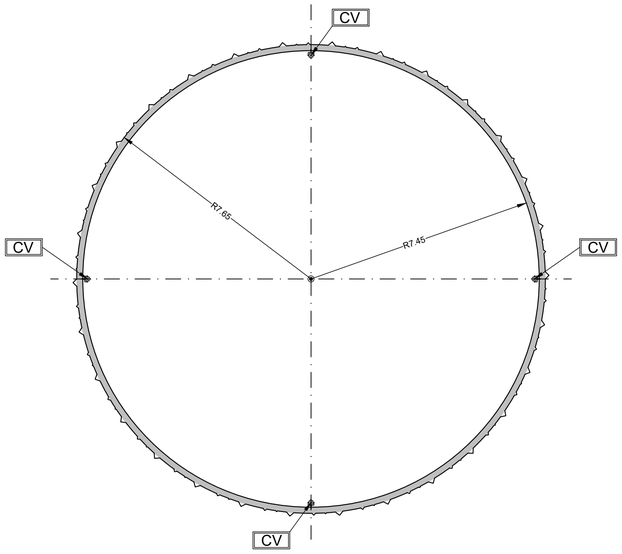
ESTAÇÃO DE MONOTORIZAÇÃO TÚNEL TRANSVERSAL 2

ESC. 1:100



ESTAÇÃO DE MONOTORIZAÇÃO DO REVESTIMENTO DE BETÃO PROJETADO DO POÇO

ESC. 1:100



LEGENDA

CV	Prisma de convergência
AF	Célula de carga em ancoragens
EX	Extensómetro multiponto (9m, 6m, 3m)
IN	Inclinómetros 11.8m long

LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE INSTRUMENTAÇÃO GEOTÉCNICA

ESTAÇÃO DE MONOTORIZAÇÃO	POSIÇÃO
TÚNEL DA ESTAÇÃO	Um a cada 15m
TÚNEL TRANSVERSAL 2	Um no meio de cada túnel
TÚNEL DE ACESSO	Um a cada 20m
REVESTIMENTO DE BETÃO PROJETADO DO POÇO	Em duas posições ao longo do poço

OBSERVAÇÕES:

1. ±0.00 de todo o túnel correspondente a P.B.V. +61.30m.
2. Durante a fase de conceção da execução, serão definidos os níveis de alerta e alarme e as ações necessárias caso sejam atingidos. Durante a fase de projeto de execução serão também definidos os requisitos de monotorização para os sistemas de contraventamentos das entradas.

ALTERAÇÕES				
0	EMISSÃO INICIAL	27/09/2024	C.B. / P.K.	S.N.
		DATA	DES.	VERIF.

Data:

PROLONGAMENTO DA LINHA VERMELHA
S. SEBASTIÃO - ALCÂNTARA
PROJETO DE EXECUÇÃO

Metropolitano de Lisboa

ESTRUTURAS
ESTAÇÃO CAMPO DE OURIQUE

PLANO DE OBSERVAÇÃO DE OBRAS SUBTERRÂNEAS

Escalas: Des. nº 133465 F. /
Alter.
Substitui
Substituído
Nº SAP —
Versão
Folha

Aprov.	R.P.	27/09/2024
Verif.	S.N.	27/09/2024
Proj.	R.R.	27/09/2024
Des.	C.B. / P.K.	27/09/2024

Desenho nº LVSSA MSA PE INS EST CO DW 083001 0

Identificação Empresa Projetista: COBA / JET SJ / JLCM / TALPROJECTO

Escalas: 1:100, 1:50

Folha: 01 / 01

Alter. 0