



Metodologia de cálculo para atribuição de estados de conservação e de manutenção de ancoragens nas estruturas geotécnicas rodoviárias da rede Ascendi: Caso de estudo

DIANA SANTOS RODRIGUES
Julho de 2023

Metodologia de cálculo para atribuição de estados de conservação e de manutenção de ancoragens nas estruturas geotécnicas rodoviárias da rede Ascendi: Caso de estudo



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Metodologia de cálculo para atribuição de estados de conservação e de manutenção de ancoragens nas estruturas geotécnicas rodoviárias da rede Ascendi: Caso de estudo

Diana Santos Rodrigues



ANEXO III PORTUGAL
PELA ORDEM DOS ENGENHEIROS

isep Instituto Superior de
Engenharia do Porto

P. PORTO

2023

(página propositadamente em branco)



Metodologia de cálculo para atribuição de estados de conservação e de manutenção de ancoragens nas estruturas geotécnicas rodoviárias da rede Ascendi: Caso de estudo

Methodology for assigning states of conservation and maintenance of anchorages in road geotechnical structures of the Ascendi network: Case study

Diana Santos Rodrigues

1180986

*Estágio apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizada sob a orientação do Engenheiro José Filinto Castro Trigo, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Civil do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

Júri

Presidente

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé

Professor Coordenador com Agregação, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestre Especialista José Filinto Castro Trigo

Professor Coordenador, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor José Cândido Gonçalves Freitas

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto

*A dissertação de **mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente** (MEGG) foi apresentada e defendida em prova pública, por **Diana Santos Rodrigues**, em 24 de Julho de 2023 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **18 (dezoito) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.*

Dedico esta dissertação aos meus Pais e estrelas mais
brilhantes no céu, por guiarem o meu caminho...

(página propositadamente em branco)

Agradecimentos

A presente dissertação é o culminar de uma fase académica que iniciou em 2017, com a entrada no curso de Enfermagem. Desde cedo percebi que esse não seria o meu caminho. Agora percebo que foi a escolha certa... mudar o rumo da minha história académica e ingressar em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do ISEP. Foi um percurso árduo e longo, de 5 anos, em que tive o privilégio de aprender com os melhores docentes, através das suas experiências, partilhas e conhecimentos.

Os primeiros agradecimentos destinam-se à Sra. Engenheira Alexandra Ferreira (Ascendi) e ao Sr. Professor Engenheiro José Filinto Trigo (DEC|ISEP), por todo o apoio, orientação técnica e científica, pelas várias reuniões e revisões do documento e possibilidade de aprendizagem contínua. Por todas as sugestões e desafios, pelo incentivo em fazer sempre mais e melhor, o meu sincero obrigada. Um particular agradecimento à Ascendi, pela oportunidade de estágio, que contribuiu para o meu ingresso no mercado de trabalho.

Estendo os meus agradecimentos ao Sr. Professor Hélder I. Chaminé (DEG|ISEP), por acreditar nas minhas capacidades ao longo destes 5 anos. Foi imprescindível o seu desafio em proporcionar uma entrevista com a Ascendi, de modo a concretizar um estágio curricular, que culminou com o desenvolvimento do presente documento. Por todas as várias sessões de aconselhamento ao longo do curso, o meu bem-haja.

A todos os docentes do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP, pela partilha de conhecimentos, competências e experiências partilhadas em sala de aula, no laboratório ou em terreno, obrigada.

Gostaria de agradecer a toda a equipa do Serviço de Gestão da Conservação 2, da Ascendi, com particular enfoque na equipa de muros e taludes. Um especial agradecimento à Sra. Engenheira Adriana Neves, pela excelente coordenação, disponibilidade e empatia. Sem esquecer da restante equipa, Engenheiro Jorge Dias e Engenheiro Paulo Pires, aos quais agradeço a receção e integração carinhosa, fazendo-me sentir parte da mesma. Um obrigada ao Engenheiro José Sousa, por todas as experiências partilhadas e por sempre me ter incentivado a continuar este percurso, mesmo quando as coisas não corriam como esperado. À restante equipa da Ascendi, com quem tive oportunidade de interagir, o meu obrigada.

À Carina Vieira e ao Leandro Pinto, os meus colegas e amigos, por todos estes anos e experiências partilhadas. Desde o primeiro ao último dia.

Aos meus Pais, o mais sincero obrigada, por me possibilitarem o acesso à educação e por sempre terem acreditado em mim, sem duvidar. Obrigada por todos os conselhos, competências e valores que me transmitiram, os quais me possibilitaram chegar até aqui e saber que o céu é o limite. Sem vocês, não teria sido possível. Ao Rui, por sempre ter estado ao meu lado, por me ajudar e apoiar em todas as decisões e por sempre me fazer acreditar que seria capaz.

À restante família e amigos, em particular à Lara, um muito obrigada por fazerem parte da minha vida e contribuírem para a criação de memórias inesquecíveis.

(página propositadamente em branco)

Palavras-chave

Ancoragem, SustIMS, Patologias, Conservação, Manutenção

Resumo

A dissertação apresenta, em sete capítulos, a identificação das melhores práticas nacionais e internacionais no âmbito da observação, inspeção e auscultação das ancoragens, ao longo do seu ciclo de vida, em particular na fase de operação e manutenção. Este estudo pretende validar o método de cálculo do Estado de Conservação e de Manutenção na rede Ascendi, para as ancoragens. Existindo a preocupação em garantir e assegurar a integridade física das ancoragens durante a sua vida útil, aborda-se a problemática da corrosão, dos diversos tipos e classes de proteção, os mecanismos de rotura e os ensaios de carga, considerados primordiais para a caracterização mecânica das ancoragens e avaliação do comportamento da estrutura ancorada. Para além disso, é apresentado o plano de observação e monitorização das ancoragens, com indicação dos ensaios aplicáveis, níveis de alerta e de alarme e metodologias de cálculo de estados de conservação e de manutenção referenciadas na bibliografia nacional e internacional. O objetivo da instrumentação das ancoragens prende-se com o acompanhamento ao longo do tempo, da variação de carga instalada, com vista a detetar previamente qualquer comportamento que indicie a instabilidade da estrutura. É ainda realizado um enquadramento da plataforma SustIMS, que permite a gestão sustentável de infraestruturas rodoviárias na rede Ascendi. Posteriormente, é apresentada a proposta de metodologia a adotar pela empresa, que inclui a definição do cadastro das estruturas ancoradas, a elaboração de um catálogo de patologias, no que se refere às ancoragens, e as respetivas ações de conservação e de manutenção. São apresentadas as estruturas geotécnicas ancoradas alvo do estudo realizado, para as quais foi aplicada a metodologia proposta para atribuição de estados, através da campanha de inspeção visual e ensaios. Por fim, são estabelecidas as considerações finais do estudo desenvolvido, com identificação de perspetivas futuras de melhoria.

(página propositadamente em branco)

Keywords

Anchorage, SustIMS, Pathologies, Conservation, Maintenance

Abstract

In seven chapters, the dissertation presents the identification of the best national and international practices in the observation, inspection and auscultation of anchorages, during their service life, particularly in the operation and maintenance stage. This study intends to validate the method for calculating the state of conservation and maintenance in the Ascendi network for anchorages. There is a concern to guarantee and ensure the physical integrity of the anchorages during their service life. Therefore, corrosion, the various types and classes of protection, the failure mechanisms, and the load tests, which are considered essential for the mechanical characterization of the anchorages and the evaluation of the anchored structure's behaviour, are addressed. In addition, the anchorages observation and monitoring plan is presented, indicating the applicable tests, alert and alarm levels, and methodologies for states of conservation and maintenance referenced in national and international literature. The purpose of the instrumentation of the anchorages is to monitor, over time, the installed load variation to detect, in advance, any behaviour that indicates structure instability. A review of the SustIMS platform is also carried out, which ensures the sustainable management of road infrastructures in the Ascendi network. Afterwards, the methodology proposal to be adopted by the company is presented, including the definition of a register of anchored structures, elaboration of a pathology catalogue, anchorages, and the respective conservation and maintenance actions. The anchored geotechnical structures targeted by the study are presented, for which the proposed methodology for state assignment was applied through the visual inspection and test campaign. At last, the final considerations of the study are established, with the identification of future perspectives for improvement.

(página propositadamente em branco)

Índice

1.	Introdução	3
1.1.	Enquadramento geral.....	3
1.2.	Enquadramento da empresa Ascendi	4
1.3.	Objetivos	6
2.	Estado de arte	9
2.1.	Conceito de ancoragem	9
2.1.1.	Classificação das ancoragens	10
2.1.2.	Mecanismos de rotura	12
2.1.3.	Fenómenos de corrosão e respetivos sistemas de proteção.....	16
2.2.	Metodologias de ensaios em ancoragens segundo o Eurocódigo 7	20
2.2.1.	Ensaio Prévio (EP).....	21
2.2.2.	Ensaio de Adequabilidade (EA)	21
2.2.3.	Ensaio de receção simplificados (ERS)	21
2.2.4.	Métodos de ensaios de carga.....	22
2.2.5.	Ensaio elétrico.....	24
2.3.	Plano de monitorização de uma ancoragem	26
2.3.1.	Inspeção visual	27
2.3.2.	Monitorização remota.....	30
2.3.3.	Catálogo de patologias.....	32
2.3.4.	Ensaio aplicáveis	37
2.3.5.	Níveis de alerta e de alarme.....	41
2.4.	Metodologias de cálculo de estados de conservação e de manutenção.....	42
2.4.1.	Metodologia adotada em Taiwan	43
2.4.2.	Outras metodologias	47
2.4.3.	Ações de conservação e de manutenção.....	51
3.	SustIMS – Plataforma de gestão sustentável de infraestruturas rodoviárias.....	55
3.1.	Principais objetivos e características.....	55
3.2.	Plataforma de Gestão e Plataforma Móvel.....	56
3.3.	Principais benefícios e limitações.....	57
3.4.	Enquadramento da plataforma no módulo Muros e Taludes.....	58
3.4.1.	Seleção da infraestrutura e agendamento da inspeção	60
3.4.2.	Inspeção visual e integração de dados.....	61
3.4.3.	Produção de relatórios.....	62
4.	Proposta de metodologia a adotar pela Ascendi	65
4.1.	Inventário de estruturas ancoradas na rede Ascendi	65
4.2.	Manual de observação e auscultação de estruturas geotécnicas	66
4.3.	Método de cálculo atualmente em vigor	69
4.4.	Definição do cadastro de muros ancorados.....	73
4.5.	Atribuição de pesos na metodologia.....	79
4.6.	Elaboração do catálogo de patologias com a respetiva tipificação	83
5.	Casos de estudo	93
5.1.	Muro ancorado M02 – pK 039+265	93
5.1.1.	Enquadramento geográfico.....	93
5.1.2.	Caracterização geométrica e estrutural.....	94
5.1.3.	Caracterização geológico-geotécnica.....	96
5.1.4.	Plano de instrumentação e monitorização	96
5.1.5.	Histórico de inspeções	97
5.1.6.	Inspeção visual do muro	103
5.1.7.	Atribuição dos estados de conservação e de manutenção.....	106
5.2.	Muro ancorado M07 – pK 045+310	109

5.2.1.	Enquadramento geográfico.....	109
5.2.2.	Caracterização geométrica e estrutural	111
5.2.3.	Caracterização geológico-geotécnica	112
5.2.4.	Plano de instrumentação e monitorização	113
5.2.5.	Histórico de inspeções.....	114
5.2.6.	Inspeção visual do muro.....	120
5.2.7.	Inspeção técnica e ensaio de endoscopia às ancoragens	125
5.2.8.	Ensaaios complementares.....	128
5.2.9.	Síntese dos ensaios aplicados	131
5.2.10.	Atribuição dos estados de conservação e de manutenção.....	131
5.3.	Proposta de ações de conservação e de manutenção	134
6.	Conclusões.....	141
7.	Referências bibliográficas.....	151
Anexos		157

Índice de figuras

Figura 1 - Grupo de concessões e subconcessão da rede Ascendi (Ferreira et al., 2021).	5
Figura 2 - Constituição de uma ancoragem (Carvalho, 2009; Pinelo, 1980).	9
Figura 3 - Classificação das ancoragens de acordo com a forma de transferência de carga (Carvalho, 2009; Sabatini et al., 1999; Teixeira, 2022).	12
Figura 4 - Mecanismos de rotura de uma ancoragem (Carvalho, 2009; Sabatini et al., 1999).	14
Figura 5 - Evolução da carga de uma ancoragem com o decorrer do tempo (Fujiwara & Sakai, 2016b; Teixeira, 2022).	15
Figura 6 - Tipos de corrosão no aço de pré-esforço (Carvalho, 2009; segundo FIP, 1996).	18
Figura 7 - Proteção contra a corrosão em ancoragens de cordões - Classe I (Carvalho, 2009).	19
Figura 8 - Proteção contra a corrosão em ancoragens de cordões - Classe II (Carvalho, 2009).	19
Figura 9 - Esquema do sistema de aquisição automático de leituras das células de carga (Gonzalez et al., 2022).	31
Figura 10 - Fluxo de trabalhos para determinação do EC de ancoragens, segundo a metodologia de Taiwan (adaptado de Hn-S et al., 2013).	44
Figura 11 - Desempenho expectável de uma ancoragem durante a sua vida útil (Teixeira, 2022; adaptado de Japan Anchor Association, 2015).	51
Figura 12 - Desempenho de uma ancoragem que necessita de intervenções (Teixeira, 2022; adaptado de Japan Anchor Association, 2015).	52
Figura 13 - Pilares no período de exploração (Ferreira et al., 2019).	59
Figura 14 - Esquema simplificado das inspeções visuais de muros e taludes na plataforma de gestão integrada SustIMS (adaptado de Ferreira et al., 2019).	60
Figura 15 - Ciclo de gestão sustentável de ativos aplicado na rede Ascendi (Ferreira et al., 2021).	66
Figura 16 - Estrutura do Manual de Observação e Auscultação de Estruturas Geotécnicas (Ferreira et al., 2022).	67
Figura 17 - <i>Workflow</i> de análise das condições de segurança (Ferreira et al., 2022).	69
Figura 18 - <i>Workflow</i> para atribuição dos estados de conservação e de manutenção.	70
Figura 19 - Matrícula de identificação de muros.	74
Figura 20 - Alçado em projeto de um muro ancorado, com cadastro das ancoragens.	76
Figura 21 - Continuação do alçado em projeto de um muro ancorado, com cadastro das ancoragens.	77
Figura 22 - Perspetiva do muro ancorado M02.	93
Figura 23 - Fotografia aérea do muro M02 (Ascendi, 2021).	94
Figura 24 - Perfil transversal do muro ancorado M02 (Ascendi, 2006).	95
Figura 25 - Planta de instrumentação do muro M02 (Ascendi, 2006).	97
Figura 26 - Condições de acesso para inspeção do muro M02.	103
Figura 27 - Exemplos de patologias registadas no decorrer da inspeção visual ao muro M02.	104
Figura 28 - Perspetiva do muro ancorado M07.	110
Figura 29 - Fotografia aérea do muro M07 (Ascendi, 2022).	110
Figura 30 - Perfil transversal do muro ancorado M07 (Ascendi, 2006).	112
Figura 31 - Planta de instrumentação do muro M07 (Ascendi, 2006).	113
Figura 32 - Condições de acesso para inspeção do muro M07.	120
Figura 33 - Sequência de trabalhos: a. remoção da caixa de proteção; b. inspeção visual; c. endoscopia; d. ensaio de resistência elétrica.	121
Figura 34 - Exemplos de patologias registadas no decorrer da inspeção visual ao muro M07.	122
Figura 35 - Patologias observáveis com recurso ao endoscópio das células de carga CC1, CC3, CC4 e CC6.	127
Figura 36 - Registo termográfico da CC4 e de zonas correntes.	129
Figura 37 - Esquema da armadura definida em projeto, acompanhada dos resultados da tomografia 2D e 3D.	129
Figura 38 - Resultados da tomografia 2D e 3D com pulse eco.	130

(página propositadamente em branco)

Índice de tabelas

Tabela 1 - Ensaios aplicáveis a ancoragens segundo o EC7.	20
Tabela 2 - Sequência de carregamento para o EP – Método 1 (ISO/FDIS 22477-5, 2018).	23
Tabela 3 - Sequência de carregamento para o EA – Método 1 (ISO/FDIS 22477-5, 2018).	24
Tabela 4 - Sequência de carregamento para o ERS – Método 1 (ISO/FDIS 22477-5, 2018).	24
Tabela 5 - Síntese dos tipos e periodicidade das inspeções visuais e campanhas de leitura.	30
Tabela 6 - Patologias associadas a ancoragens, com identificação das possíveis causas e consequências (Guimarães, 2015).	33
Tabela 7 - Patologias associadas a ancoragens (Japan Anchor Association, 2015).	35
Tabela 8 - Catálogo de patologias associadas a células de carga na rede Ascendi.	36
Tabela 9 - Continuação do catálogo de patologias associadas a células de carga na rede Ascendi.	37
Tabela 10 - Ensaios não destrutivos para monitorizar a carga residual de uma ancoragem (adaptado de Teixeira (2022); Liao et al. (2017); Carvalho (2009); Min et al. (2023); Fujiwara & Sakai (2016); Bačić et al. (2019)).	39
Tabela 11 - Ensaios não destrutivos e destrutivos para monitorizar a carga residual de uma ancoragem (adaptado de Teixeira (2022); Yamazaki et al. (2023); Carvalho (2009)).	40
Tabela 12 - Critérios de alerta e de alarme para muros ancorados na rede Ascendi (Sousa, 2020).	42
Tabela 13 - Pesos atribuídos a cada patologia segundo a metodologia de Taiwan (Hn-S et al., 2013).	45
Tabela 14 - Categorias de Estado de Conservação da ancoragem segundo a metodologia de Taiwan (Hn-S et al., 2013).	46
Tabela 15 - Categorias de Estado de Conservação da estrutura segundo a metodologia de Taiwan (Hn-S et al., 2013).	46
Tabela 16 - Metodologias de cálculo para atribuição dos estados de conservação e de manutenção de estruturas geotécnicas (adaptado de Teixeira, 2022).	49
Tabela 17 - Componentes e subcomponentes dos muros.	69
Tabela 18 – Continuação dos componentes e subcomponentes dos muros.	70
Tabela 19 - Representação das cotações a atribuir em função da dimensão e risco da patologia.	71
Tabela 20 - Pesos atribuídos a cada componente no cálculo do Estado de Conservação.	72
Tabela 21 - Estados de conservação definidos pela Ascendi.	72
Tabela 22 - Estados de manutenção definidos pela Ascendi.	73
Tabela 23 - Descrição dos elementos constituintes da matrícula de um muro.	74
Tabela 24 - Primeira atribuição de pesos – Hipótese 0.	80
Tabela 25 - Segunda atribuição de pesos – Hipótese 1.	81
Tabela 26 - Terceira atribuição de pesos – Hipótese 2.	82
Tabela 27 - Proposta de catálogo de patologias associadas a ancoragens.	84
Tabela 28 - Continuação da proposta de catálogo de patologias associadas a ancoragens.	85
Tabela 29 - Continuação da proposta de catálogo de patologias associadas a ancoragens.	86
Tabela 30 - Continuação da proposta de catálogo de patologias associadas a ancoragens.	87
Tabela 31 - Continuação da proposta de catálogo de patologias associadas a ancoragens.	88
Tabela 32 - Frequência de monitorização para o muro M02.	97
Tabela 33 - Valores de histórico das leituras das células de carga para o muro M02.	98
Tabela 34 - Patologias identificadas através da inspeção visual ao muro M02.	105
Tabela 35 - Atribuição dos pesos para o caso de estudo.	107
Tabela 36 - Estados de Conservação do muro M02.	107
Tabela 37 - Estados de Manutenção do muro M02.	108
Tabela 38 - Frequência de monitorização para o muro M07.	114
Tabela 39 - Valores de histórico das leituras das células de carga para o muro M07.	115
Tabela 40 - Patologias identificadas através da inspeção visual ao muro M07.	123
Tabela 41 - Continuação das patologias identificadas através da inspeção visual ao muro M07.	124

Tabela 42 - Síntese da funcionalidade dos ensaios aplicados.....	131
Tabela 43 - Estados de Conservação do muro M07.....	132
Tabela 44 - Estados de Manutenção do muro M07.....	133
Tabela 45 - Síntese da proposta de ações de manutenção e de conservação para os dois casos de estudo.....	137

Índice de gráficos

Gráfico 1 - Distribuição de muros e taludes por concessão na rede Ascendi.	5
Gráfico 2 - Distribuição dos muros de suporte por Concessão na rede Ascendi.	65
Gráfico 3 - Distribuição dos muros ancorados por Concessão na rede Ascendi.	66
Gráfico 4 - Variação da carga ao longo do tempo das células de carga do muro M02.	100
Gráfico 5 - Variação da carga e da temperatura ao longo do tempo para a CC1.	100
Gráfico 6 - Variação da carga, temperatura, deslocamentos ΔX e nível piezométrico ao longo do tempo para a CC4.	101
Gráfico 7 - Variação da carga, temperatura, deslocamentos ΔX e nível piezométrico ao longo do tempo para a CC5.	101
Gráfico 8 - Variação da carga ao longo do tempo das células de carga do muro M07.	117
Gráfico 9 - Variação da carga, temperatura, deslocamentos ΔX e nível piezométrico ao longo do tempo para a CC1.	117
Gráfico 10 - Variação da carga, temperatura e deslocamentos ΔY ao longo do tempo para a CC8.	118
Gráfico 11 - Variação da carga, temperatura e deslocamentos ΔY ao longo do tempo para a CC9.	118

(página propositadamente em branco)

Índice de equações

Equação 1 - Determinação do Estado de Conservação da Patologia	70
Equação 2 - Determinação do Estado de Conservação do Subcomponente	71
Equação 3 - Determinação do Estado de Conservação do Componente	71
Equação 4 - Determinação do Estado de Conservação do Muro.....	71
Equação 5 - Determinação do Estado de Manutenção do Muro.....	73

(página propositadamente em branco)

Índice de acrónimos ou abreviaturas

O&M – Operação & Manutenção
EP – Ensaio prévio
 R_a – Capacidade resistente ao arrancamento
 L_{app} – Comprimento livre aparente da ancoragem
EA – Ensaio de adequabilidade
 P_p – Carga máxima de ensaio
ERS – Ensaio de receção simplificado
 P_{tk} – Carga característica da armadura
 $P_{t0,1k}$ – Carga característica com deformação permanente de 0,1%
 P_a – Carga inicial
 P_0 – Carga de blocagem
 R_l – Resultados da medição da resistência elétrica
H – Altura do muro
 δ_H – Deslocamento horizontal
 δ_V – Deslocamento vertical
 ΔP – Variação de carga
 T_r – Carga residual (Metodologia de Taiwan)
 T_w – Carga de projeto (Metodologia de Taiwan)
 β – Estado de Conservação da Ancoragem (Metodologia de Taiwan)
 α – Estado de Conservação da Estrutura (Metodologia de Taiwan)
PCQ – Plano de controlo de qualidade
EC – Estado de Conservação
EC_1 – Estado de Conservação Muito Bom
EC_2 – Estado de Conservação Bom
EC_3 – Estado de Conservação Médio
EC_4 – Estado de Conservação Mau
EC_5 – Estado de Conservação Muito Mau
EM – Estado de Manutenção
EM_A – Estado de Manutenção Bom
EM_B – Estado de Manutenção Médio
EM_C – Estado de Manutenção Mau
IQ – Índice de qualidade
 μ_i – Peso de cada componente
SIG – Sistema de Informação Geográfica
pK – Ponto quilométrico
 ΔX – Deslocamentos acumulados provenientes de inclinómetros
 ΔY – Deslocamentos acumulados provenientes de alvos topográficos

(página propositadamente em branco)

Capítulo I

Introdução

(página propositadamente em branco)

1. Introdução

1.1. Enquadramento geral

A presente dissertação designada “Metodologia de cálculo para atribuição de estados de conservação e de manutenção de ancoragens nas estruturas geotécnicas rodoviárias na rede Ascendi: Caso de estudo” encontra-se inserida na unidade curricular “Dissertação/Estágio/Projeto”, do 2º ano de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente (MEGG), do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

No âmbito da elaboração da dissertação, desenvolveu-se um estágio curricular na empresa Ascendi, por um período de 6 meses, de janeiro a junho de 2023, com o objetivo de apoiar o Serviço de Gestão da Conservação 2, na área de Muros e Taludes, da Direção de Gestão da Conservação, na identificação das melhores práticas nacionais e internacionais no âmbito da observação, inspeção e auscultação das ancoragens, nomeadamente na fase de operação e manutenção, bem como validação do método de cálculo do Estado de Conservação e de Manutenção para as ancoragens na rede Ascendi.

As redes de infraestruturas rodoviárias assumem uma grande responsabilidade social e económica no desenvolvimento dos países. No seu período de Operação e Manutenção (O&M), deve ser promovido um nível de serviço adequado e estabelecido contratualmente, garantindo a circulação com segurança dos utentes. Face ao crescimento do número de taludes artificiais utilizados nas áreas residenciais e redes rodoviárias e ferroviárias, denota-se a existência de patologias que, potenciadas pela exposição às ações climáticas, provocam continuamente o envelhecimento e degradação das estruturas. De modo a garantir a estabilidade dos taludes e a minimizar os riscos de acidentes ou danos, os taludes podem ser suportados, reforçados ou protegidos com vários elementos, como é o caso de muros de suporte, redes metálicas de proteção, entre vários outros. De entre os vários sistemas, as estruturas de contenção ancoradas correspondem a um dos métodos frequentemente utilizados para prevenir a rotura e o deslizamento de taludes. Em Portugal, recorre-se à construção de obras ancoradas com carácter definitivo desde 1950.

As ancoragens são projetadas para evitar os possíveis mecanismos de rotura, nomeadamente: i) estabilidade global do talude, ii) estabilidade interna da ancoragem e iii) estabilidade da estrutura de suporte associada.

Existindo a preocupação em garantir a durabilidade das infraestruturas e a integridade das ancoragens, devem ser projetados e implementados planos de instrumentação e de monitorização, envolvendo campanhas de leitura da instrumentação e monitorização que incluam a realização de

inspeções visuais de rotina e a execução de ensaios *in situ*, de modo a comprovar a carga residual da ancoragem durante a sua vida útil, bem como a integridade dos restantes componentes.

1.2. Enquadramento da empresa Ascendi

A Ascendi é uma entidade direcionada para a gestão de ativos, prestação de serviços de cobrança de portagens e operação e manutenção de infraestruturas rodoviárias, tendo como compromisso a promoção de eficiência, inovação e sustentabilidade na operação e manutenção de infraestruturas de mobilidade rodoviária, garantindo a conveniência para os clientes, o desenvolvimento dos colaboradores e a criação de valor para os acionistas. Os principais valores da empresa resumem-se ao espírito de equipa, segurança e bem-estar, orientação para o cliente, criatividade e inovação.

A Ascendi detém, em Portugal, as seguintes concessões:

- **Concessão Norte (NT)** – atribuída em julho de 1999, estabelece a ligação entre o litoral e o interior montanhoso de Portugal, até próximo da fronteira com Espanha;
- **Concessão Grande Porto (GP)** – atribuída em setembro de 2002, contorna a zona metropolitana do Porto, otimizando os acessos ao Aeroporto Francisco Sá Carneiro e Porto de Leixões;
- **Concessão Costa de Prata (CP)** – atribuída em maio de 2000, liga as principais localidades do litoral a sul do Porto;
- **Concessão Beiras Litoral e Alta (BLA)** – atribuída em abril de 2001, percorre o eixo transversal do país, unindo o litoral à fronteira com Espanha;
- **Concessão Grande Lisboa (GL)** – atribuída em janeiro de 2007, permite o acesso a Lisboa a partir de Cascais e Sintra;
- **Subconcessão Pinhal Interior (PI)** – atribuída em abril de 2010, apresenta como principais eixos a A13, que liga Tomar a Condeixa, e a A13-1, que liga Condeixa à A1.

A Figura 1 representa espacialmente a distribuição das concessões e subconcessão pertencentes à Ascendi.

1.3. Objetivos

A presente dissertação encontra-se dividida em sete capítulos, com o principal objetivo de identificação das melhores práticas nacionais e internacionais no âmbito da observação, inspeção e auscultação das ancoragens, ao longo de todo o ciclo de vida, nomeadamente na fase de operação e manutenção, bem como validação do método de cálculo do Estado de Conservação e de Manutenção na rede Ascendi, para as ancoragens.

O primeiro capítulo expõe o tema e introduz a dissertação, apresentando um breve enquadramento da empresa Ascendi.

O segundo capítulo é dedicado ao estado de arte, com principal enfoque no conceito de ancoragem, no seu plano de observação e monitorização, ensaios aplicáveis e metodologias de cálculo de estados de conservação e manutenção referenciadas na bibliografia nacional e internacional.

O terceiro capítulo faz um enquadramento da plataforma SustIMS, desenvolvida pela Ascendi, em parceria com universidades portuguesas, a qual garante a gestão sustentável de infraestruturas rodoviárias. Dispõe igualmente de uma análise do fluxo de trabalho efetuado pela equipa de muros e taludes na plataforma.

O quarto capítulo apresenta os contributos proporcionados com o desenvolvimento do estágio curricular, os quais envolvem a proposta de metodologia a adotar pela empresa, com definição do cadastro das estruturas ancoradas, da atribuição do método e elaboração de um catálogo de patologias atualizado e tipificado.

O quinto capítulo corresponde à aplicação dos capítulos anteriores a dois casos de estudo de muros ancorados, aos quais foi aplicada a proposta de metodologia descrita no quarto capítulo, com o objetivo de analisar e avaliar a melhor solução a adotar.

O sexto capítulo estabelece as considerações finais relativas ao caso de estudo e à síntese da pesquisa efetuada no âmbito do estado de arte. São tecidas algumas notas sobre as boas práticas para uma adequada conservação e manutenção das ancoragens, com identificação de futuras perspetivas de melhoria.

No sétimo e último capítulo são apresentadas as referências bibliográficas que serviram de base para a elaboração da presente dissertação.

Capítulo II

Estado de arte

(página propositadamente em branco)

2. Estado de arte

2.1. Conceito de ancoragem

Em Geotecnia, ancoragem define-se como qualquer elemento estrutural capaz de transmitir a um estrato portante, um esforço de tração que lhe seja aplicado (Matos Fernandes, 1990). As ancoragens funcionam por tração, transmitindo essa força ao terreno situado no tardo, comprimindo o muro/parede contra ele, o que permite mobilizar a resistência do terreno. Assim sendo, as ancoragens possibilitam a restrição dos deslocamentos da estrutura de contenção, contribuindo para a estabilização do maciço terroso ou rochoso (Bejinha, 2009). As ancoragens são constituídas essencialmente por três partes: a cabeça da ancoragem, comprimento livre e comprimento de selagem, representados na Figura 2.

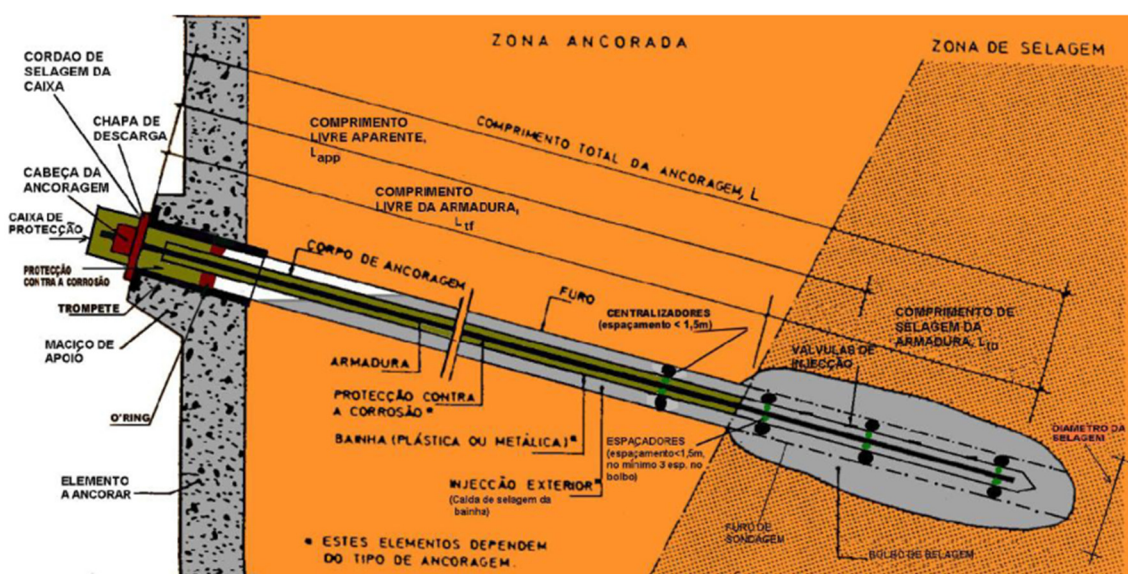


Figura 2 - Constituição de uma ancoragem (Carvalho, 2009; Pinelo, 1980).

A cabeça da ancoragem é formada pelo conjunto da chapa de descarga, placa porta-cunhas e cunhas. Este constituinte prende a armadura da ancoragem a um suporte. No caso das ancoragens pré-esforçadas, a cabeça corresponde ao componente onde se aplica o pré-esforço. Para além disso, deve permitir a aplicação das cargas, em particular das cargas de ensaio e de bloqueio (Carvalho, 2009). Posteriormente à construção, deve ser aplicada uma proteção definitiva exterior, face aos agentes climáticos, constituída por uma caixa de proteção, em betão ou tampa PVC.

O comprimento livre da ancoragem corresponde ao comprimento entre a secção de início da selagem e a cabeça da ancoragem, representando o troço da armadura de pré-esforço que se encontra livre para se deformar elasticamente, não existindo transferência de carga e devendo

encontrar-se eletricamente isolado do terreno envolvente (Carvalho, 2009). Relativamente ao comprimento de selagem, também designado por bolbo de selagem, este exprime o comprimento resistente da ancoragem, conseguido através da injeção de calda de selagem a alta pressão, a qual permite a transmissão da tensão ao terreno. A carga é transferida da armadura para a calda e, consequentemente, da calda para o terreno.

As armaduras de pré-esforço podem ser constituídas por fios, barras, cordões ou por associações de fios, barras ou cordões dispostos paralelamente, em feixe. Na presente dissertação serão apenas abordadas armaduras de cordões, dado serem as que existem nos ativos instalados na rede de autoestradas em operação pela Ascendi.

Para além dos componentes referidos anteriormente, como é possível verificar na Figura 2, podem ser utilizados centralizadores e espaçadores. No que diz respeito aos primeiros, estes utilizam-se para suportar a armadura no furo ou dentro do encapsulamento, de modo a garantir um recobrimento mínimo de calda a envolver a armadura. Quanto aos espaçadores, estes utilizam-se para assegurar a passagem e distribuição uniforme do material injetado (Carvalho, 2009).

A capacidade de carga de uma ancoragem é condicionada pela preservação da resistência intrínseca de cada um dos componentes e pelas reações mobilizadas no terreno ao longo do comprimento de selagem e na zona da cabeça, ao nível do suporte.

2.1.1. Classificação das ancoragens

Segundo Xanthakos (1991), citado em Ribeiro (2012), as ancoragens podem ser classificadas e agrupadas segundo o tipo de terreno, o tempo de vida útil, o nível de pré-esforço aplicado, a capacidade de serviço e a forma e método de transferência de carga. Os principais fatores que afetam o comportamento e a capacidade de carga das ancoragens são (Carvalho, 2009):

- Características do terreno, especialmente a resistência ao corte e a fluência;
- Técnicas construtivas, em particular o método construtivo associado ao bolbo de selagem;
- Qualidade da mão-de-obra envolvida na realização dos trabalhos de campo.

No que diz respeito ao tipo de terreno, as ancoragens podem agrupar-se em aplicáveis em solos ou rochas. Quanto ao tempo de vida útil, são divididas em ancoragens provisórias e ancoragens definitivas. Relativamente às ancoragens provisórias, estas correspondem a elementos de natureza temporária, em função da sua durabilidade limitada. Por sua vez, as ancoragens definitivas devem garantir a integridade e estabilidade permanente da obra.

Segundo a norma EN 1537:2016, e de acordo com a maioria da bibliografia, uma ancoragem definitiva apresenta uma vida útil superior a dois anos, enquanto uma ancoragem provisória dispõe de uma vida útil inferior a dois anos.

De acordo com a vida útil prevista para a obra, a integridade e o comportamento das ancoragens com carácter definitivo possuem uma elevada importância no comportamento global da obra a longo prazo (Santa, 2010). Qualquer ancoragem, independentemente da sua vida útil e executada em ambientes considerados corrosivos, deve ser totalmente protegida contra a corrosão. A longevidade, o bom comportamento e funcionamento das ancoragens apenas é assegurado através da aplicação de uma proteção correta e adequada.

Assim, todos os materiais intervenientes nas ancoragens devem ser compatíveis, em particular no caso dos materiais em contacto direto entre si. As propriedades dos materiais não devem sofrer alterações durante a vida útil prevista para a ancoragem, de modo a não interferir com o seu comportamento e capacidade de carga (LNEC, 2016).

A nível do pré-esforço aplicado, as ancoragens podem ser consideradas ativas ou passivas. As ancoragens ativas, ou pré-esforçadas, são aquelas nas quais é aplicada uma força inicial à estrutura, encontrando-se permanentemente em tensão, independentemente da interação final entre o solo e a estrutura. Por sua vez, nas ancoragens passivas não se aplica pré-esforço, constituindo um sistema passivo, isto é, entram em ação quando o solo ou a estrutura assim o exigem. Se a estrutura se movimentar, afastando-se do maciço suportado, é mobilizada a resistência das ancoragens. Para as ancoragens seladas com calda de cimento, a capacidade resistente ao arrancamento depende essencialmente da geometria, da configuração e da dimensão do bolbo de selagem (Carvalho, 2009). Para tal, encontram-se definidos quatro tipos principais de configurações do bolbo de selagem, em função das condições e características dos terrenos, representados na Figura 3.

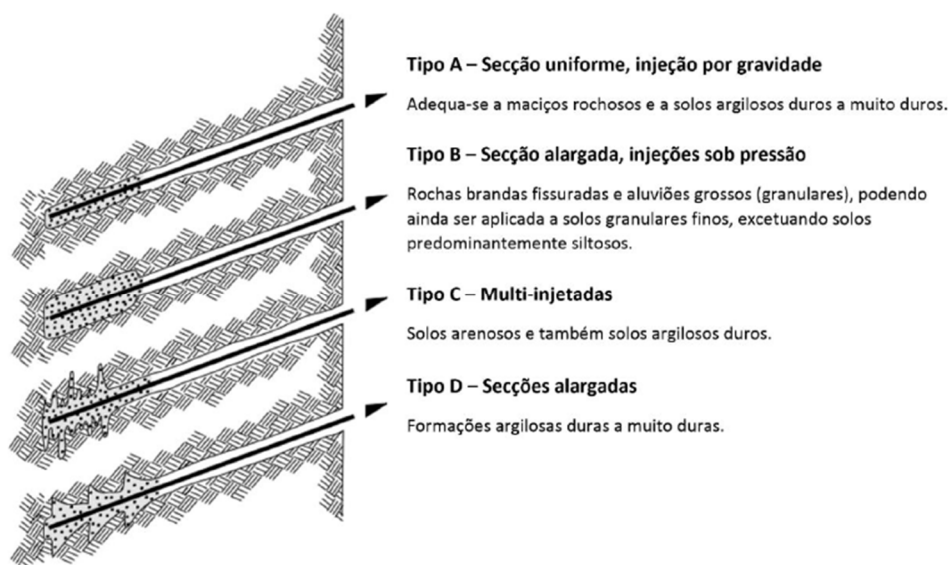


Figura 3 - Classificação das ancoragens de acordo com a forma de transferência de carga (Carvalho, 2009; Sabatini et al., 1999; Teixeira, 2022).

A configuração a adotar é frequentemente selecionada com base em elementos de reconhecimento geológico-geotécnico do terreno.

A utilização de ancoragens em estruturas geotécnicas, quer ao nível do projeto, quer da construção, permite a obtenção de inúmeras vantagens técnico-económicas sobre os sistemas convencionais. De um modo geral, a principal vantagem da sua aplicação encontra-se relacionada com a sua elevada capacidade resistente à tração. Ao aplicarem uma força de sentido contrário ao impulso do terreno, permitem a significativa diminuição do deslocamento horizontal da estrutura de contenção, minimizando e controlando as possíveis consequências negativas (Bejinha, 2009).

2.1.2. Mecanismos de rotura

São diversas as causas que podem mobilizar os mecanismos de rotura de uma ancoragem, encontrando-se geralmente associadas a ações de cargas estáticas excessivas. O objetivo de aplicação de um sistema de suporte ancorado é proporcionar a estabilidade, de modo que o sistema resista à rotura. De acordo com o Eurocódigo 7 (Parte 1, 2010), o dimensionamento de uma estrutura de contenção deverá contemplar a verificação dos estados limite de rotura para cada situação de projeto analisado. Deste modo, impõem-se restrições de deslocamentos, quer dos terrenos quer da estrutura, em função das limitações de esforços a que se podem submeter as ancoragens durante a vida útil da obra.

O estado limite define-se como um estado para além do qual a estrutura deixa de satisfazer as exigências de projeto (Ribeiro, 2012). Estes podem ser classificados como:

- Estados limites últimos – associados ao colapso ou problemas estruturais que ponham em perigo a segurança de terceiros;
- Estados limites de utilização – estados para além dos quais as condições de utilização especificadas deixam de ser satisfeitas.

Os mecanismos de rotura podem ser agrupados, de um modo geral, em três grupos (Carvalho, 2009):

- Rotura estrutural da armadura

Ocorre quando a carga aplicada é superior à capacidade estrutural da armadura.

- Rotura da ancoragem na interface entre a armadura e a calda de injeção, ou na interface entre a calda e o terreno

Verifica-se quando a tensão é transferida para a extremidade posterior da selagem e se excede a resistência última da interface calda-terreno. Pode também caracterizar-se por deformações excessivas a carga constante, ou seja, por fluência.

Por fluência entende-se o fenómeno de deformação plástica contínua dos materiais, quando submetidos durante longos períodos, a tensões constantes, mesmo que os valores dessas tensões sejam inferiores aos limites de resistência dos materiais (Carvalho, 2009). Assim, o fenómeno de fluência corresponde ao movimento lento da selagem através do solo, sob tensão constante, ao longo do tempo, provocando uma alteração da deformação da estrutura.

- Rotura por perda de estabilidade global da estrutura

Nesta situação, a estrutura não dispõe de capacidade suficiente para conter o terreno a tardo. O sistema é considerado estável quando as potenciais superfícies de escorregamento apresentam fatores de segurança superiores aos considerados para referência. Caso contrário, podem existir problemas de estabilidade, podendo originar situações de rotura externa global.

Na Figura 4, encontram-se esquematizados exemplos de situações de colapso considerando os três mecanismos de rotura supramencionados.

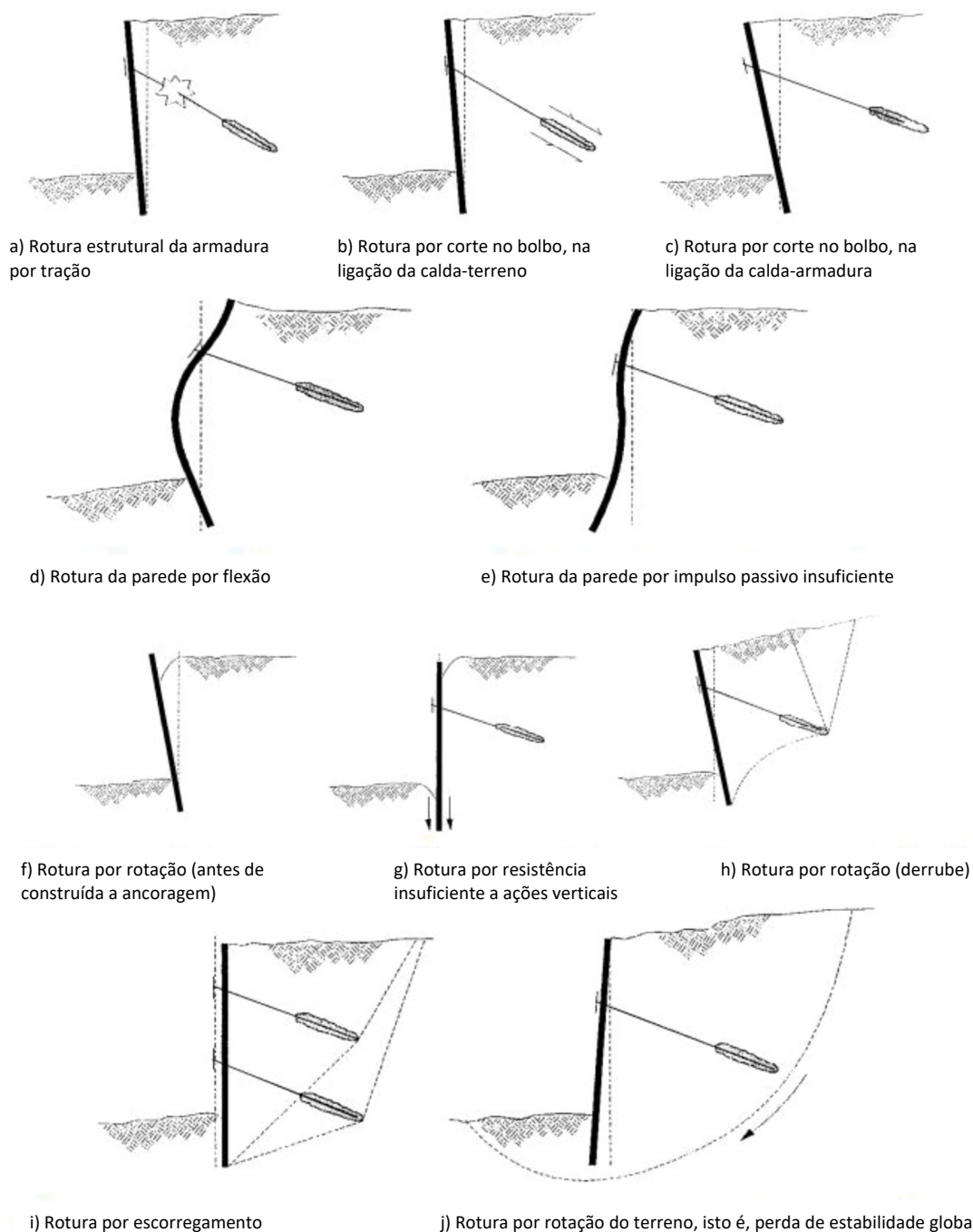


Figura 4 - Mecanismos de rotura de uma ancoragem (Carvalho, 2009; Sabatini et al., 1999).

A combinação da rotura externa da estrutura e de um aumento significativo da carga nas ancoragens, pode indicar que o solo apresenta piores características mecânicas e comportamento mais fraco do que o previsto, acarretando num aumento de carga na estrutura ancorada (Sabatini et al., 1999). Nas situações em que se verifique que a ancoragem atinge o valor da carga máxima admissível, deve-se proceder a uma redução até à carga definida em projeto.

O valor da carga de uma ancoragem é evolutivo ao longo do tempo, como identificado na Figura 5.

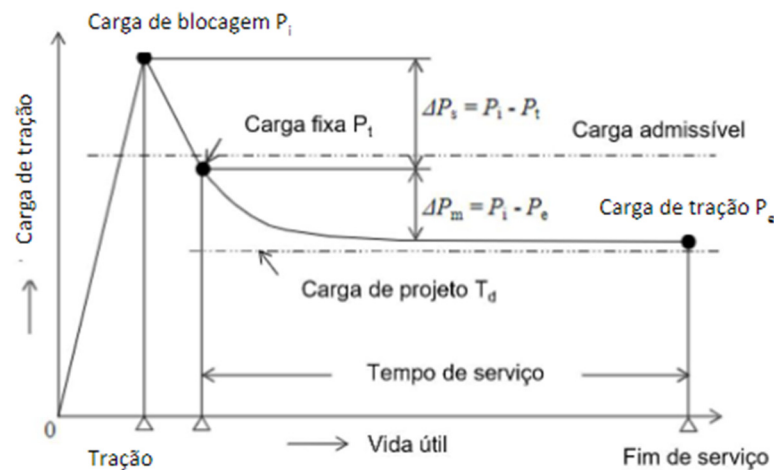


Figura 5 - Evolução da carga de uma ancoragem com o decorrer do tempo (Fujiwara & Sakai, 2016b; Teixeira, 2022).

Após o tensionamento da ancoragem, verifica-se uma redução da tensão instalada (carga inicial), justificada pelos efeitos de fluência do solo e/ou relaxamento dos cordões. De seguida, a tensão tende a tornar-se numa carga residual constante. No entanto, por efeito de escavações na envolvente, ou outros fatores, forças externas podem ser transferidas para as ancoragens. Como resultado, existem situações em que a carga não converge para um nível constante, podendo aumentar (Fujiwara & Sakai, 2016b). Por outro lado, existem situações em que as ancoragens podem sofrer perdas de carga, relacionadas com a rotura da estrutura, movimentos no solo ou condições climáticas adversas. Para além disso, é frequente que a tensão oscile com a temperatura ambiente e características geológico-geotécnicas do solo, não convergindo para um valor constante. É neste sentido que se torna relevante a monitorização e acompanhamento da tensão na ancoragem ao longo do tempo.

O risco de rotura de uma ancoragem pode ser minimizado através da implementação de determinadas medidas, tais como (Strom & Ebeling, 2002):

- Correto dimensionamento construtivo e adequada capacidade de carga;
- Aplicação de ensaios de desempenho, ensaios de fluência e ensaios *Lift-off*, para verificar a carga e assegurar que as ancoragens não experienciam a rotura;
- Modificação dos procedimentos de dimensionamento e/ou de instalação, sempre que os ensaios indicarem que tais modificações sejam necessárias de modo a cumprir os critérios de aceitação do projeto.

2.1.3. Fenómenos de corrosão e respetivos sistemas de proteção

A capacidade de carga das ancoragens é condicionada pela preservação da integridade da resistência intrínseca de cada componente, bem como pelas reações mobilizadas na cabeça e ao longo da selagem ao terreno (Santa, 2010). Segundo o *Soil Nail Committee Corrosion* (SNCC, 2000; citado em Carvalho, 2009), o termo corrosão é utilizado para designar a deterioração do metal, em resultado da reação química ou eletroquímica com o meio envolvente. Os problemas decorrentes da corrosão podem ocasionar danos em múltiplos componentes da ancoragem, podendo conduzir à rotura da mesma. Estas consequências podem ser anuladas ou minimizadas através da aplicação das proteções adequadas.

De acordo com a norma EN 1537:2016, todos os elementos de aço sob tensão da ancoragem devem ser protegidos contra a corrosão, durante a sua vida útil. Para além disso, é fundamental que os elementos utilizados no âmbito da proteção contra a corrosão, sejam capazes de transmitir as cargas da armadura ao terreno.

De tal forma, o principal objetivo destes sistemas corresponde à proteção das ancoragens contra a corrosão, proporcionando uma ou mais barreiras físicas, as quais envolvem alguns dos componentes da ancoragem. O tipo de proteção deve procurar satisfazer os seguintes critérios (Ribeiro, 2012):

- Assegurar que a vida útil efetiva da ancoragem, relativamente à corrosão, é no mínimo igual à requerida em projeto para a ancoragem;
- Não deve produzir efeitos adversos no meio envolvente ou reduzir a capacidade da ancoragem;
- Permitir os movimentos do comprimento livre, para que a carga total seja transferida para o comprimento de selagem;
- Conter materiais quimicamente estáveis e não reativos, quer com os restantes materiais constituintes da ancoragem, quer com o meio envolvente;
- Ter resistência e flexibilidade para resistir às deformações induzidas pelo ensaio de carga;
- Resistir, sem se danificar, às várias etapas construtivas requeridas durante todo o processo.

A corrosão no aço de pré-esforço pode ser classificada de acordo com seis tipos principais (FIP, 1996):

- **Corrosão generalizada**

Ataque uniforme generalizado da superfície metálica do aço de pré-esforço Figura 6a. Regra geral, é verificado na fase de armazenamento.

- **Corrosão localizada**

Não são verificadas grandes perdas de material, provocando apenas a formação de cavidades, podendo resultar numa rotura frágil. Esta pode ser subdividida em: i) corrosão por picadas, uma das formas mais comuns, podendo ocorrer na presença de iões agressivos, Figura 6b; ii) corrosão intersticial, proporcionado por defeitos da laminagem ou na zona de contacto do aço com outro corpo, Figura 6c e iii) corrosão sob depósitos, através da deposição de materiais, Figura 6d (Carvalho, 2009).

- **Corrosão sob tensão**

Resulta da combinação da ação estática das trações no aço e da corrosão localizada. É apresentada sob o aspeto de fissuras Figura 6e. Com o decorrer do tempo, esta pode alastrar-se até uma profundidade que resulte na rotura do elemento (Santa, 2010).

- **Corrosão por fadiga**

Desenvolve-se sob ação de carga cíclica, podendo a corrosão progredir até à rotura da peça de pré-esforço Figura 6f. Corresponde a um tipo de corrosão pouco corrente, tendo em consideração que a maioria das ancoragens não se encontra sujeita a cargas cíclicas severas (Santa, 2010).

- **Corrosão por ação de correntes parasitas**

Desenvolve-se sob a forma de picadas, quando sujeito à ação prolongada de correntes elétricas parasitas, as quais podem ser resultado de fugas de corrente ou roturas no isolamento de cabos elétricos (Santa, 2010).

- **Corrosão bacteriana**

Este tipo de corrosão torna-se expressivo em terrenos a cotas inferiores ao nível freático, em particular em terrenos margosos ou argilosos com sulfatos (Santa, 2010).

Os últimos três tipos de corrosão mencionados apenas devem ser considerados sob cargas especiais ou condições de singularidade do terreno.

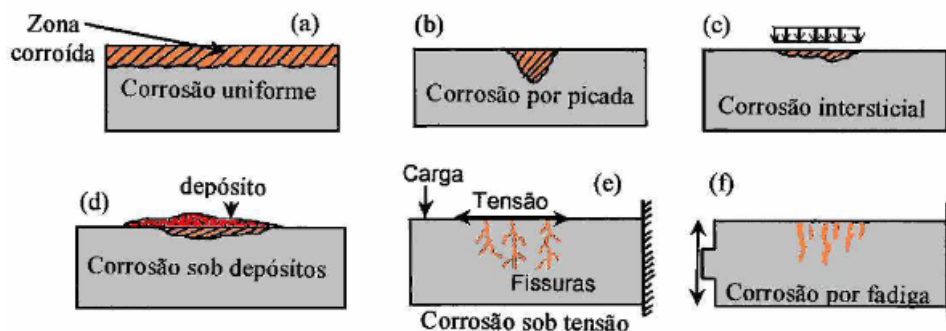


Figura 6 - Tipos de corrosão no aço de pré-esforço (Carvalho, 2009; segundo FIP, 1996).

Tendo em consideração os efeitos nocivos da corrosão, é necessária a proteção dos elementos metálicos da armadura, de modo a assegurar a durabilidade e eficiência da ancoragem ao longo da sua vida útil. Esta inclui uma ou mais barreiras físicas que salvaguardem a armadura, podendo estas incluir as caixas de proteção, produtos inibidores da corrosão, bainhas, encapsulamentos, revestimentos epoxídicos e caldas. A escolha e dimensionamento do tipo de proteção depende da agressividade do terreno, da vida útil da ancoragem, dos métodos de instalação e das consequências de rotura. Relativamente ao risco de corrosão, este torna-se elevado nos seguintes ambientes (Carvalho, 2009):

- Solos próximos do nível freático;
- Solos com pH baixo;
- Solos com concentrações elevadas de iões agressivos, particularmente cloretos, sulfuretos e sulfatos;
- Locais onde se verifiquem correntes parasitas.

Posto isto, apenas se podem excluir as proteções contra a corrosão caso esteja devidamente comprovado que o meio não apresenta agressividade ou se as obras forem consideradas provisórias.

No que diz respeito às classes de proteção contra a corrosão, são consideráveis três níveis de proteção: i) Classe I – Proteção dupla; ii) Classe II – Proteção Simples e iii) sem qualquer proteção (apenas executável em ancoragens provisórias).

Por definição, a Classe I – Proteção dupla implica a existência de duas barreiras físicas, tendo a barreira exterior como principal finalidade a proteção da barreira interna, podendo considerar-se como uma segurança adicional, identificada na Figura 7.

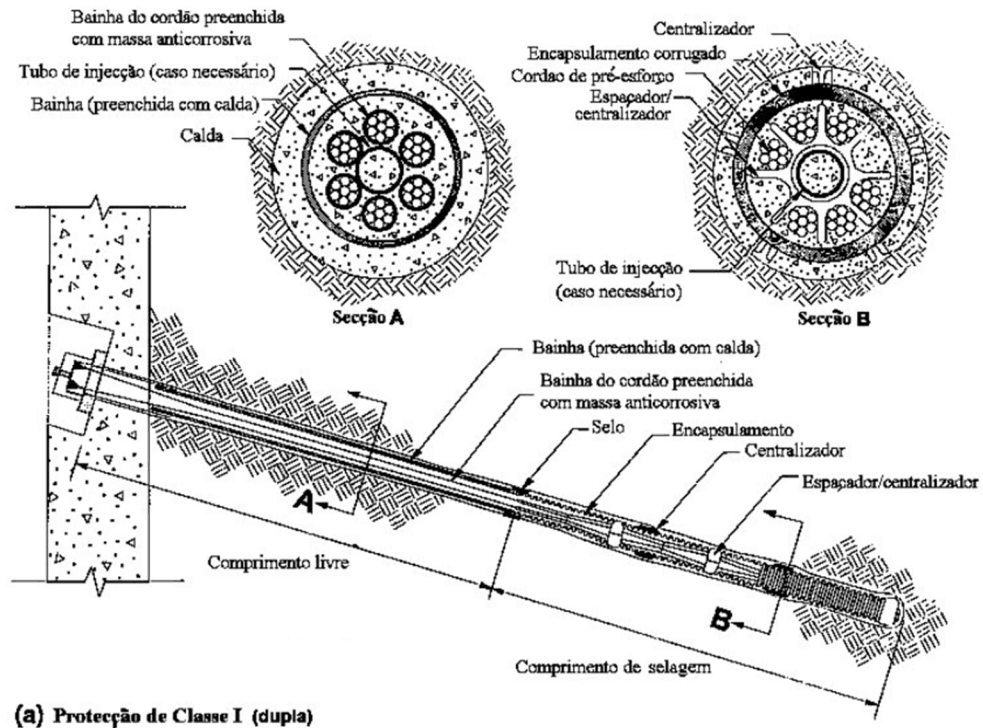


Figura 7 - Proteção contra a corrosão em ancoragens de cordões - Classe I (Carvalho, 2009).

Por sua vez, na Classe II – Proteção simples, verifica-se apenas a instalação de uma barreira física, aplicada entre a armadura e o terreno, identificada na Figura 8.

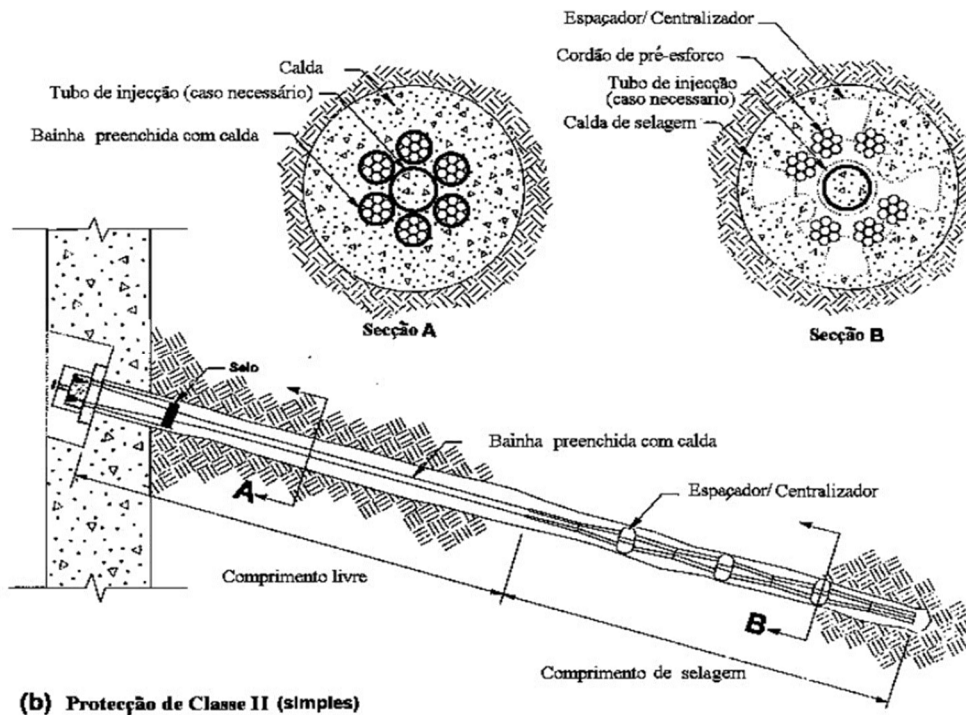


Figura 8 - Proteção contra a corrosão em ancoragens de cordões - Classe II (Carvalho, 2009).

Em terrenos agressivos ou com agressividade não determinada, é aconselhável adotar-se o nível mais exigente de proteção contra a corrosão. De acordo com a norma EN 1537:2016, a cabeça da ancoragem deve ser protegida logo após concluída a fase construtiva, independentemente da sua vida útil. Relativamente ao comprimento livre da armadura, deve ser preconizado o preenchimento da bainha plástica com um produto anticorrosivo ou calda de cimento. Por sua vez, os cordões também podem ser revestidos individualmente com um produto inibidor da corrosão.

De modo a minimizar os seus efeitos, devem ser recolhidas informações sobre os seguintes elementos (Carvalho, 2009):

- Material, tipo, função, dimensão e localização do sistema;
- Agente corrosivo, natureza química, duração da exposição, área coberta pelo agente corrosivo e qualidade do solo e da água;
- Temperaturas e respetivas variações, tipo e grandeza das tensões mecânicas;
- Tipos de metais presentes.

2.2. Metodologias de ensaios em ancoragens segundo o Eurocódigo 7

Define-se como carga, a força aplicada na cabeça da ancoragem e que se transfere para o terreno através do bolbo de selagem. A realização de ensaios de carga é considerada essencial para a caracterização mecânica das ancoragens e para a análise das interações entre estas e os terrenos onde se encontram inseridas (Ribeiro, 2012).

A norma EN 1537:2016 reconhece duas classes de ensaios de carga, os de conformidade (Ensaio Prévio e Ensaio de Adequabilidade) e os de aceitação ou de receção simplificados. Para além destes, de modo a avaliar a eficácia do sistema de proteção contra a corrosão são apresentados dois ensaios elétricos. Na Tabela 1 encontram-se listados os ensaios aplicáveis a ancoragens segundo o Eurocódigo EC7 (NP EN 1997-1; 2010).

Tabela 1 - Ensaios aplicáveis a ancoragens segundo o EC7.

Ensaios aplicáveis a ancoragens segundo o EC7		
Ensaios de Carga	Conformidade	Ensaio Prévio (EP)
		Ensaio de Adequabilidade (EA)
	Aceitação/Receção Simplificados (ERS)	
Ensaios Elétricos	Medição da resistência elétrica I (ERM I)	
	Medição da resistência elétrica II (ERM II)	

2.2.1. Ensaio Prévio (EP)

A realização destes ensaios tem como finalidade viabilizar a definição adequada da carga correspondente à capacidade resistente ao arrancamento, face às características do terreno e ao sistema de ancoragens a aplicar. Objetiva também avaliar a competência do empreiteiro.

Permite avaliar, antes da construção das ancoragens, os seguintes elementos:

- Capacidade resistente ao arrancamento (R_a) da ancoragem na interface calda-terreno;
- Características de fluência da ancoragem, ou características de fluência até às cargas de rotura, ou características de perda de carga da ancoragem no estado limite de utilização;
- Comprimento livre aparente da ancoragem – L_{app} .

Durante a realização dos EP, a carga deve ser controlada com rigor, pelo que as ancoragens submetidas a estes ensaios não devem ser utilizadas em obras definitivas.

2.2.2. Ensaio de Adequabilidade (EA)

Antes da realização destes ensaios, devem ser devidamente analisados os resultados dos ensaios EP disponíveis. Caso estes não tenham sido realizados, as ancoragens devem apresentar uma armadura com resistência superior à prevista para as ancoragens em obra.

Os EA têm como objetivo confirmar, para uma situação particular de projeto:

- Capacidade da ancoragem para suportar a carga máxima de ensaio (P_p);
- Características de fluência ou de perda de carga do sistema de ancoragem, até à carga máxima de ensaio P_p ;
- Comprimento livre aparente da armadura – L_{app} .

Quando efetuados, os EA devem ser realizados no local onde as ancoragens definitivas e provisórias serão executadas.

2.2.3. Ensaio de receção simplificados (ERS)

Todas as ancoragens devem ser sujeitas a ERS, exceto as que já tenham sido sujeitas a outros ensaios de carga, com a finalidade de confirmar se as ancoragens se encontram conforme os critérios de receção.

Os ERS permitem confirmar:

- Capacidade de a ancoragem suportar a carga máxima de ensaio;
- Características de fluência ou de perda de carga no estado limite de utilização, sempre que necessário;
- Comprimento livre aparente da ancoragem – L_{app} .
- Assegurar que a carga de blocagem aplicada é adequada, de modo a garantir a carga de projeto, excluindo o atrito.

A norma EP 1537:1999, atualmente revogada pela norma EP 1537:2016, indicava a realização de ensaios de sistema, os quais consistiam num ensaio EA, seguido de escavação para visualização da zona do bolbo de selagem. Estes tinham como propósito verificar o comportamento mecânico e a eficácia da proteção contra a corrosão do sistema ancorado.

2.2.4. Métodos de ensaios de carga

A norma EP 1537:2016 preconiza três métodos de ensaios de carga para avaliar as características de resistência e de deformação das ancoragens – Método 1, Método 2 e Método 3 - para a realização dos ensaios referidos anteriormente. A carga deve ser aplicada e aliviada de forma gradual em todos os métodos de ensaio, pretendendo-se não sujeitar a ancoragem a choques ou a cargas dinâmicas que possam interferir com os resultados. Durante a realização dos ensaios, a ancoragem deve ser solicitada por incrementos faseados de carga, até atingir a carga máxima de ensaio (P_p). Esta corresponde à carga máxima a aplicar à ancoragem para a qual ainda se verifica a estabilização dos deslocamentos (Carvalho, 2009).

Cada país apresenta a possibilidade de selecionar qual o método pretendido e normalizado pelo Eurocódigo 7, relativo aos ensaios de carga. Em Portugal, é utilizado o Método 1. As trações aplicadas às ancoragens são aplicadas incrementalmente, num ou mais ciclos que decorrem desde a carga inicial até à máxima de ensaio (P_p). Devem ser medidos os deslocamentos da cabeça e a respetiva carga, durante um intervalo de tempo, à carga máxima de cada ciclo.

A carga P_p deve ser definida antes da realização do ensaio, devendo cumprir os seguintes requisitos (ISO/FDIS 22477-5, 2018):

- $P_p \leq 0,80 P_{tk}$;
- $P_p \leq 0,95 P_{t0,1k}$.

Em que P_{tk} corresponde à carga característica da armadura e $P_{t0,1k}$ corresponde à carga característica com deformação permanente de 0,1%. A carga inicial P_a deve ser equivalente a 10% da carga P_p (ISO/FDIS 22477-5, 2018).

- **Ensaio Prévio**

A carga P_p deve ser distribuída, no mínimo, por seis ciclos de carga. Na carga máxima de cada ciclo, esta deve ser constante durante um período especificado. O ensaio envolve a medição do deslocamento final do cordão *versus* a carga aplicada e, na carga máxima de cada ciclo, a medição do deslocamento final do cordão *versus* tempo.

A sequência de carregamento para o EP encontra-se descrita na Tabela 2.

Tabela 2 - Sequência de carregamento para o EP – Método 1 (ISO/FDIS 22477-5, 2018).

Ciclo	Carga máxima	Tempo mínimo de observação para cada ciclo (min)	
		Solos não coesivos	Solos coesivos
0	P_a	1	1
1	$0,40 P_p$	15	15
2	$0,55 P_p$	15	15
3	$0,70 P_p$	30	60
4	$0,80 P_p$	30	60
5	$0,90 P_p$	30	60
6	$1,00 P_p$	60	180

- **Ensaio de Adequabilidade**

O EA pressupõe que a carga axial é aplicada incrementalmente em pelo menos cinco ciclos de carga, até que a carga P_p confirme que a conceção da ancoragem é adequada para as condições locais do solo. À semelhança do efetuado no ensaio EP, na carga máxima de cada ciclo, esta deve ser mantida constante por um determinado período. No EA verifica-se a distinção dos tempos mínimos de observação face à classificação da ancoragem ser temporária ou definitiva, analisando-se um maior tempo mínimo para as ancoragens definitivas, tal como seria de expectar.

A sequência de carregamento para o EA encontra-se descrita na Tabela 3.

Tabela 3 - Sequência de carregamento para o EA – Método 1 (ISO/FDIS 22477-5, 2018).

Ciclo	Carga máxima	Tempo mínimo de observação para cada cilo (min)			
		Ancoragens Temporárias		Ancoragens Definitivas	
		Solos não coesivos	Solos coesivos	Solos não coesivos	Solos coesivos
0	P_a	1	1	1	1
1	$0,40 P_p$	1	1	15	15
2	$0,55 P_p$	1	1	15	15
3	$0,70 P_p$	5	10	30	60
4	$0,85 P_p$	5	10	30	60
5	$1,00 P_p$	30	60	60	180

- **Ensaio de Receção Simplificado**

A carga deve aplicar-se na ancoragem, até à carga P_p , no mínimo com cinco incrementos. Atingida a carga P_p , a ancoragem deve ser descarregada até à carga inicial de referência, P_a , seguindo-se novamente uma aplicação de cargas à tração de blocagem, P_0 .

A sequência de carregamento para o ERS encontra-se descrita na Tabela 4.

Tabela 4 - Sequência de carregamento para o ERS – Método 1 (ISO/FDIS 22477-5, 2018).

Ciclo	Carga máxima	Tempo mínimo de observação para cada cilo (min)	
		Solos não coesivos	Solos coesivos
0	P_a	1	1
1	$0,40 P_p$	1	1
2	$0,55 P_p$	1	1
3	$0,70 P_p$	1	1
4	$0,85 P_p$	1	1
5	$1,00 P_p$	5	15

2.2.5. Ensaio elétrico

Parte-se do pressuposto que no processo de construção e instalação de ancoragens, são respeitadas e apresentadas garantias relativas às exigências da proteção contra a corrosão. Uma ancoragem eletricamente isolada confere uma proteção reforçada contra a corrosão, tanto ao nível da bainha como da calda de injeção. Segundo a norma EN 1537:1999 e a norma Suíça (SAI V191, 1996), de modo a avaliar a eficácia do sistema de proteção contra a corrosão são apresentados dois métodos para a medição da resistência elétrica entre a cabeça da ancoragem, o terreno circundante e/ou a estrutura.

O primeiro método analisa o isolamento da ancoragem relativamente ao solo (ERM I) e o segundo mede o isolamento da cabeça da ancoragem em relação à estrutura (ERM II).

- **Medição da resistência elétrica I (ERM I)**

Durante o processo de medições, deve conectar-se a ancoragem ao polo positivo, estando o polo negativo ligado ao solo local envolvente. Este ensaio deve ser realizado em duas fases distintas. Numa primeira fase, é avaliada a integridade da bainha plástica no comprimento livre e no bolbo de selagem, após a construção da ancoragem, isto é: i) introduzir a ancoragem no furo; ii) realizar a injeção primária; iii) realizar a injeção secundária, caso exista e iv) realizar o ensaio de carga, quer seja de receção simplificado ou de adequabilidade.

Caso os resultados da medição da resistência elétrica, R_i , sejam iguais ou superiores a 0,1 MΩ, verifica-se uma integridade aceitável da bainha. Caso esta seja impermeável e não apresente defeitos, os valores medidos excedem os 100 MΩ.

Na segunda fase, ensaia-se o isolamento elétrico na ancoragem bloqueada, a qual inclui as seguintes etapas de medição: i) após bloqueagem da ancoragem; ii) após injeção da cabeça e iii) em qualquer altura da vida útil da ancoragem.

Considera-se que a ancoragem dispõe de isolamento elétrico se os resultados forem superiores a 0,1 MΩ. Caso se comprove a inexistência de isolamento elétrico, significa que a bainha pode estar comprometida, rompida ou danificada, e que a calda de selagem se encontra fragmentada ou com vazios, os quais justifiquem a falta de isolamento total ou parcial da ancoragem.

- **Medição da resistência elétrica II (ERM II)**

Este segundo método apenas é aplicado se R_i for inferior a 0,1 MΩ, depois da bloqueagem, o que comprova que não existe contacto direto da armadura da ancoragem com a armadura de reforço da estrutura. O ensaio realiza-se com a ancoragem pré-esforçada. Regra geral, utiliza-se a chapa de apoio como ligação à terra. Durante as medições, a cabeça da ancoragem deve permanecer seca, tendo em consideração que o ensaio é sensível às condições climáticas, em particular com a existência de humidade e de correntes parasitas no terreno. Se forem registados valores de R_{II} superiores a 0,1 MΩ, considera-se que fica comprovada a inexistência de contactos diretos entre a cabeça da ancoragem e a chapa de apoio.

2.3. Plano de monitorização de uma ancoragem

Com o objetivo de garantir a segurança e a qualidade de uma estrutura, devem ser seguidos alguns procedimentos, os quais devem incluir a supervisão do decorrer dos trabalhos de construção e da qualidade de execução, a observação do comportamento da estrutura, durante e após a construção, e a adequada manutenção da estrutura. No sentido de observar e monitorizar o comportamento de uma estrutura durante a sua vida útil, geralmente recorre-se à instrumentação, em particular caso esteja previsto um comportamento estrutural sensível a alterações de carga ou a movimentos do terreno (Carvalho, 2009).

A monitorização corresponde a uma ação que utiliza e se baseia na instrumentação e na observação para o controlo de uma estrutura, nas diversas etapas da vida útil, tendo por base um conjunto de critérios de deformação e variação expectáveis. Apoia-se na observação, controlo e medição de grandezas correlacionáveis e em pressupostos de comportamento, os quais permitem um reconhecimento de fenómenos de instabilização e auxiliam na tomada de decisão (Sousa, 2020).

A monitorização pode ser dividida em monitorização de curto-prazo e longo-prazo. A primeira decorre durante a construção, na fase de tensionamento, encontrando-se associada a medições de desempenho da estrutura ancorada, através da realização de ensaios de carga e ensaios de fluência. Em algumas situações, a monitorização de curto-prazo pode incluir o controlo dos movimentos da estrutura, assentamentos da superfície do terreno e inspeções visuais frequentes.

Por outro lado, a monitorização de longo-prazo inclui uma continuação e acompanhamento das medições efetuadas na monitorização a curto-prazo (Sabatini et al., 1999). Consiste no controlo da evolução da carga instalada e dos movimentos da estrutura ancorada, implementando-se (Carvalho, 2009):

- Medição das cargas das ancoragens, por observação dos valores obtidos a partir de células de carga ou com ensaios de carga, até se verificar o levantamento ou deslocamento da cabeça da ancoragem relativamente à chapa de descarga;
- Observação das deformações da estrutura, com observações óticas, medições em extensómetros ou inclinómetros e por controlo topográfico.

Os ensaios de carga permitem verificar se a carga de blocagem da ancoragem sofreu alterações significativas. Regra geral, a carga obtida com estes ensaios é inferior à carga de blocagem, devido ao relaxamento da ancoragem e aos movimentos da estrutura (Carvalho, 2009).

O sistema de observação e a periodicidade de monitorização devem adequar-se a cada caso, tendo em consideração a sua localização e tipo de obra.

Estes fatores devem ser definidos antes do início da construção da obra, isto é, na fase de projeto. O número de ancoragens a observar é definido pelo projetista; no entanto, como referência, indica-se que quando se pretende detetar problemas de corrosão, devem ser instrumentadas pelo menos 10% do número total de ancoragens, com um mínimo de 3 ancoragens instrumentadas. Nos casos em que se pretende observar o controlo dos movimentos do terreno, podem ser instrumentadas menos ancoragens, na ordem de 5% ou 3 ancoragens, selecionado o maior número (Carvalho, 2009).

As ancoragens em terreno podem ser instrumentadas com células de carga, as quais consistem em transdutores habilitados para converter pressões em impulsos elétricos, sendo utilizadas para controlo das variações de carga ao longo da vida útil da estrutura, tanto na fase de obra, para controlo de qualidade da execução, como durante a fase de exploração, de modo a garantir que estes elementos continuam em correto funcionamento.

Tendo em consideração que os terrenos se comportam como um todo, e de modo a efetuar uma análise adequada ao comportamento das ancoragens, é fundamental que se correlacionem os movimentos e deslocamentos observados na estrutura, resultantes do controlo topográfico, com os resultados obtidos da instrumentação das células de carga das ancoragens. Estes movimentos estruturais devem ser medidos com recurso a sistemas fiáveis e com precisão.

Um bom plano de monitorização apenas é concretizável se forem avaliadas as condições internas e externas da ancoragem. No entanto, não existe nenhum método que possibilite a obtenção das duas condições diretamente e em simultâneo. Para além disso, na realidade das estruturas geotécnicas da Ascendi, para além da bainha corrugada se encontrar selada até à boca do furo, cada cordão é revestido individualmente por uma bainha lisa. Assim sendo, a observação e auscultação da ancoragem passa pela inspeção visual dos componentes externos e aplicação de ensaios não destrutivos, os quais permitem retirar ilações sobre o estado dos cordões e do bolbo de selagem, sem comprometer o funcionamento da estrutura. Para além destes, existem também os ensaios destrutivos, embora estes, tal como o próprio nome indica, inutilizam/desativam a ancoragem.

2.3.1. Inspeção visual

A realização de inspeções periódicas corresponde a uma técnica essencial para identificar possíveis sinais de perigo ou de alteração no estado do terreno, devendo apresentar uma frequência que garanta a prévia deteção da deterioração da estrutura, de modo a evitar o seu significativo avanço.

As inspeções visuais desempenham um papel fundamental na prática de engenharia, dado que se apresentam como o primeiro método de observação ao dispor do responsável da obra (Torres, 2010). Nestas inspeções, importa definir:

- Tipo de inspeção, o qual pode ser de rotina, especialidade ou de carácter excecional, definido em função da vida útil e da importância da obra;
- Periodicidade;
- Qualificações dos técnicos de inspeção;
- Forma de tratamento dos resultados;
- Realização obrigatória de inspeções após ocorrências excecionais, tais como grandes deslizamentos, cheias ou sismos.

As inspeções visuais constituem o método mais antigo de avaliação não destrutiva de estruturas (Nondestructive Evaluation Technique – NDE). São utilizadas para inspecionar todo o tipo de componentes, podendo ser praticadas em qualquer tipologia de inspeção. Através da análise visual exterior, o Inspetor pode inferir sobre o estado do componente em análise. A prática deste método é económica e bastante aplicável, obtendo-se informação fidedigna sobre o elemento.

A inspeção visual compreende a inspeção da estrutura envolvente, do maciço de proteção em betão e/ou caixa de proteção. Neste âmbito, existem dois tipos de procedimentos possíveis: i) inspeção não destrutiva, em que não se remove a caixa de proteção da ancoragem; e ii) inspeção destrutiva, com demolição do maciço de proteção, para consequente análise completa da cabeça da ancoragem. No final dos trabalhos, procede-se à sua reposição. Esta caixa de proteção pode também ser removida para execução de trabalhos de manutenção, como reposição do composto anticorrosivo.

Segundo a Japan Anchor Association (2015), devem ser executados quatro tipos de inspeções:

- **Inspeção inicial**

Este tipo de inspeção inicial deve incluir uma revisão de toda a informação disponível e dados de projeto sobre a ancoragem e a estrutura ancorada, incluindo relatórios de inspeções prévias. É recomendada a sua execução em todas as ancoragens, com particular destaque para as que apresentam maior tempo de exploração e com histórico de rotura. Nesta inspeção deve ser analisado o maciço de encabeçamento, cabeça da ancoragem, chapa de descarga e estrutura envolvente. Caso não seja possível executar a inspeção em todas as ancoragens, devem ser

selecionadas 20% das ancoragens, com um mínimo de 10. Se existirem menos de 10 ancoragens, todas devem ser inspecionadas.

- **Inspeção diária**

As inspeções diárias são preconizadas através da inspeção visual da cabeça da ancoragem, chapa de descarga e estrutura envolvente, para verificação da existência de patologias. Caso seja detetada alguma anomalia, devem ser realizados testes de integridade à ancoragem.

- **Inspeção periódica**

As inspeções periódicas são mais detalhadas do que as inspeções diárias, devendo ser executadas com uma frequência adequada. Estas incluem a inspeção visual dos componentes externos da ancoragem, e, se possível, a realização de ensaios complementares. Devem ser realizadas regularmente a cada 6 meses a 1 ano, para todas as ancoragens.

- **Inspeção de emergência**

Este tipo de inspeção deve, como o próprio nome indica, ser efetuado sempre que exista essa necessidade, em particular em resposta à ocorrência de eventos naturais, tais como chuvas intensas ou sismos.

De acordo com Yamazaki et al. (2023), as concessionárias de autoestradas têm efetuado inspeções obrigatórias, as quais incluem a confirmação da carga de tração residual de 5% do total de ancoragens ou de, pelo menos, 5 ancoragens por cada talude/muro ancorado, de cinco em cinco anos.

Na Ascendi encontram-se estabelecidos três tipos de inspeção, de acordo com o plano de observação e auscultação de estruturas geotécnicas:

- **Inspeções de rotina** – com periodicidade anual, do componente de drenagem superficial;
- **Inspeções completas** – a cada 6 anos, de todos os componentes. É também efetuada em resposta a comportamentos anómalos e em situações de pós-intervenção;
- **Campanha de leituras de instrumentação** – procedimento anual. Caso se verifiquem estruturas com níveis de alerta e/ou alarme, a frequência das inspeções visuais e campanhas de leitura é revista.

No que diz respeito à descrição do procedimento de inspeção visual efetuado pela Ascendi, este encontra-se descrito no tópico 3.4.2.

Apesar de todas as vantagens enumeradas sobre a aplicação das inspeções visuais, estas não são suficientemente precisas e capazes de detetar pequenos movimentos ou deformações graduais, pelo que existe a necessidade de complementar os resultados das inspeções visuais com a realização de ensaios *in situ*.

Na Tabela 5 encontra-se um resumo dos tipos e respetivas periodicidades das inspeções visuais supramencionadas, bem como das campanhas de leitura.

Tabela 5 - Síntese dos tipos e periodicidade das inspeções visuais e campanhas de leitura.

Inspeção Visual		Campanhas de Leitura		
(Japan Anchor Association, 2015)		Ascendi		Ascendi
Tipo	Periodicidade	Tipo	Periodicidade	Periodicidade
Inicial	Uma vez	Rotina	Anual	Anual
Diária				
Periódica	6 meses a 1 ano	Completa	6 anos	
Emergência	Após um evento natural		Após um evento natural	

É importante registar que a auscultação e monitorização de ancoragens deve ser suportada num plano que poderá abranger as duas fases principais do ciclo de vida – construção e operação e manutenção, ou apenas uma. Em qualquer dos casos, este plano deverá definir: i) periodicidade das campanhas de inspeção visual e leituras, ii) tipo de inspeção, iii) níveis de alerta e alarme e iv) plano de contingência.

2.3.2. Monitorização remota

Em muitas situações, face à localização e dimensões da estrutura a inspecionar, o seu acesso encontra-se limitado pela faixa de rodagem, com necessidade de efetuar cortes de berma ou de via, por forma a ser possível a realização das leituras das células de carga. Adicionalmente, muitas estruturas ancoradas apresentam alturas significativamente consideráveis, por vezes na ordem dos 20 m, as quais obrigam à utilização de meios e plataformas elevatórias. Com o objetivo de mitigar os riscos associados a estes comportamentos, atualmente verifica-se a prática de instalação de células de carga elétricas nas ancoragens, de modo a viabilizar a implementação de um sistema de aquisição de leituras automáticas – sistema de leituras *wireless*.

A principal vantagem de aplicação deste sistema prende-se com a possibilidade de ajustar a frequência das leituras, em gabinete, possibilitando, numa situação de emergência, a consulta da

carga de pré-esforço instalada na ancoragem. Permite um acompanhamento diário da sua evolução, face a situações de segurança da obra ou da proximidade aos valores de alerta e alarme definidos em projeto.

O sistema de leituras wireless é, regra geral, composto por três componentes principais (Gonzalez et al., 2022):

- Nós, sem fios, conectados à célula da ancoragem, os quais enviam a informação à *gateway*;
- *Gateway*, que recolhe a informação de todos os instrumentos automatizados e envia para *Cloud*;
- Dispositivo que recolhe as leituras da *Cloud*, permitindo a sua visualização de forma gráfica ou tabelar.

Na Figura 9 encontra-se um esquema exemplificativo do sistema de aquisição de leituras automáticas para as células de carga das ancoragens.

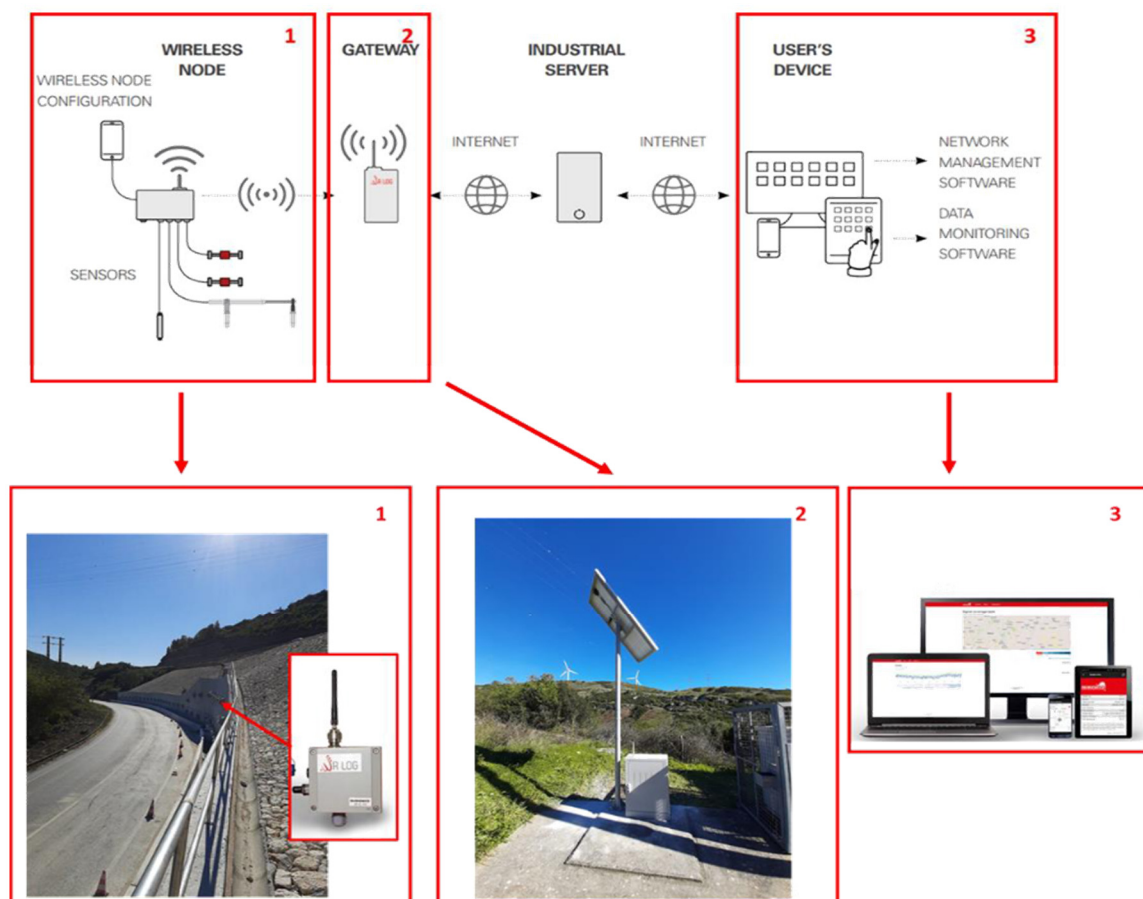


Figura 9 - Esquema do sistema de aquisição automática de leituras das células de carga (Gonzalez et al., 2022).

Segundo (Gonzalez et al., 2022), o projeto de implementação de um sistema de monitorização remota possibilitou a transferência das campanhas de leitura para gabinete, em qualquer momento, sem necessidade de deslocação de técnicos ao local, não obstante a eliminação desta possibilidade. Para além disso, assegurou o acesso à evolução do comportamento do muro, em tempo útil, bem como evitou que o trabalho do técnico seja realizado numa autoestrada aberta ao trânsito, com todos os perigos inerentes, aumentando, assim, a sua segurança.

As vantagens deste sistema são bastante notórias face à frequência habitual das campanhas de monitorização, realizadas cerca de uma a duas vezes por ano. Os custos iniciais de investimento podem ser facilmente diluídos, quando se perspetiva a redução dos custos de monitorização presencial nos ativos geotécnicos. Como qualquer ferramenta e sistema, este também apresenta limitações. A principal desvantagem associada corresponde à longevidade dos equipamentos, que, por disporem de mais componentes eletrónicos, necessitam de manutenção e/ou substituição (Gonzalez et al., 2022).

2.3.3. Catálogo de patologias

Designa-se por patologia uma alteração que afeta o comportamento de uma estrutura, podendo esta ser estrutural e não estrutural. A componente estrutural é compreendida como a capacidade de a estrutura suportar, com segurança, as ações que o meio ambiente ou os utentes aplicam (Santos, 2008). As patologias, para além das origens devido a causas naturais, podem ter fontes decorrentes de falhas na conceção e no projeto, nos processos construtivos, de execução e de utilização. Neste sentido, para que se verifique um decréscimo ou erradicação das anomalias, deve-se proceder a um controlo de qualidade e monitorização rigorosos, em todas as etapas da vida útil das estruturas.

A avaliação dos danos da estrutura é efetuada com recurso a uma inspeção, *in situ*, dos fatores relacionados com o estado da superfície da estrutura ancorada. Para tal, utiliza-se a metodologia observacional com a finalidade de proceder ao levantamento das patologias encontradas, bem como da sua gravidade. Segundo Guimarães (2015), as principais patologias associadas a uma estrutura ancorada dizem respeito à própria ancoragem, sendo estas de alta gravidade, uma vez que a capacidade de suporte da estrutura pode ser comprometida. As principais patologias presentes nas ancoragens encontram-se listadas na Tabela 6, com a respetiva identificação das potenciais causas e consequências.

Tabela 6 - Patologias associadas a ancoragens, com identificação das possíveis causas e consequências (Guimarães, 2015).

Patologia	Causa	Consequência
Fissuração do maciço de proteção em betão	Dilatação térmica; Retração do betão; Impactos físicos; Movimentos da cabeça da ancoragem.	Início do processo de degradação da estrutura; Humidade e carbonatação acelerada.
Lascas	Segregação; Desagregação, com perda de volume do betão.	Maiores probabilidades de ataque corrosivo nas armaduras.
Eflorescência	Carbonatação.	Aparecimento de manchas; Redução da qualidade e durabilidade da armadura.
Porosidade	Processo de cura inadequado; Dimensionamento incorreto do betão.	Redução da qualidade e durabilidade da armadura; Maiores probabilidades de ataque corrosivo nas armaduras.
Exposição da cabeça da ancoragem	Rotura da ancoragem; Impacto físico.	Proteção insuficiente dos componentes metálicos de fixação.
Fluxo de água na cabeça da ancoragem	Deterioração/Insuficiência do vedante de ligação da cabeça da ancoragem com a estrutura.	Corrosão avançada nos componentes metálicos.
Presença de vegetação	Presença de humidade; Alta porosidade.	Corrosão avançada nos componentes metálicos.
Exposição da placa de distribuição	Defeitos de betonagem.	Corrosão na base da placa e nos componentes metálicos.
Rotura com projeção da cabeça da ancoragem	Rotura interna; Corrosão no comprimento livre da ancoragem.	Perda de funcionalidade.
Rotura com contração da ancoragem	Corrosão dos elementos de fixação.	Perda de funcionalidade.
Ancoragem solta	Processo construtivo incorreto.	Fissuração e abertura entre a cabeça da ancoragem e a estrutura; Perda de funcionalidade.

Segundo Santos (2008), as principais patologias associadas a muros de contenção dizem respeito a fissuração, defeitos de betonagem, crescimento de vegetação, deformações e manchas/escorrências. De entre todas as referidas, a fissuração constitui a patologia mais registada, seguida dos defeitos de betonagem. As principais causas da fissuração nos muros são relativas a deformações/assentamentos, retração do betão, erros de execução, reações alcalino-siliciosas, corrosão da armadura e falta de manutenção.

O nível de sucesso de implementação de uma ancoragem depende da qualidade do processo construtivo e de outros fatores associados. Sempre que estes são comprometidos, pode ocorrer o deslizamento de taludes ou roturas de muros ancorados. Após a ocorrência de um grande colapso num talude em Taiwan, foi preconizada uma inspeção às ancoragens integrantes, tendo-se verificado graves problemas associados a inspeções insuficientes, a métodos construtivos e de dimensionamento inapropriados e a defeitos de manutenção. As principais patologias observadas dizem respeito a (Jeng et al., 2013):

- Rotura da cabeça da ancoragem

Através de inspeção visual, são observáveis fissuras, perdas de blocos de betão do maciço de proteção, rotura dos cordões com consequente desagregação do maciço de proteção, rotação da cabeça da ancoragem, eflorescência, escorrência de água, rotura da estrutura de suporte, bem como outros indicadores de perturbações.

- Integridade dos componentes e corrosão

As patologias comuns englobam a presença de cordões com curvatura angular, desfasamento das extremidades, com cordões salientes e/ou recolhidos, corrosão na cabeça das ancoragens, insuficiência de composto anticorrosivo e proteção contra a corrosão no comprimento livre, bem como corrosão dos cordões e consequente rotura.

A corrosão nos elementos de aço inicia-se devido a impurezas ou sais presentes no solo ou na calda de injeção, como os cloretos. A corrosão pode ocorrer sempre que a camada de proteção esteja comprometida e se verifique a exposição a agentes oxidantes.

- Aumento ou decréscimo da tensão residual

As alterações no estado de tensão das estruturas ancoradas podem ter efeitos significativos na carga de pré-esforço instalada na ancoragem. Esta situação é frequentemente prevalente em ambientes que apresentem escavações subterrâneas nas proximidades. O estado de tensão do solo, em conjunto com as estruturas geológicas, pode influenciar as cargas de pré-esforço nas ancoragens, fazendo com que estas aumentem ou diminuam, o que não é desejável quando ocorrendo de forma gradual, proporcionando movimentos progressivos do solo. Geralmente, este mecanismo ocorre de forma lenta. As principais causas e fatores responsáveis pela perda de carga em ancoragens são:

- Aspetos construtivos;
- Deformação da zona ancorada, do apoio sob a placa ou da placa;

- Efeito da componente tangencial na placa de descarga;
- Deslizamento da armadura na blocagem da ancoragem;
- Atrito no comprimento livre e/ou na zona de transição da cabeça/comprimento livre;
- Fluência da selagem;
- Relaxamento do aço da armadura;
- Fenómenos de corrosão, que contribuam para a redução da resistência.

Por sua vez, o aumento de carga nas ancoragens deve-se a situações que afetam o comportamento da estrutura de suporte e/ou a própria ancoragem, tais como o faseamento construtivo, o aumento de impulsos sobre a estrutura que se traduza na mobilização das ancoragens, aumento da pressão neutra no solo, deslizamento de taludes ou empolamento do material constituinte do talude.

A Japan Anchor Association (2015) estabelece, em função do tipo de inspeção a realizar, as possíveis patologias observáveis para a cabeça da ancoragem, placa de distribuição e estrutura de suporte, as quais se encontram indicadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Patologias associadas a ancoragens (Japan Anchor Association, 2015).

Patologias		
Rotura da ancoragem	Deterioração do maciço de proteção em betão	Escorrência do composto anticorrosivo
Subsidência	Fissuração do maciço de proteção em betão	Deterioração do composto anticorrosivo
Deterioração da cabeça da ancoragem	Deslocamento da placa de distribuição (lifting/raising)	Deterioração dos vedantes
Queda de rochas	Presença de água	Corrosão na cabeça da ancoragem
Queda de gelo e neve	Presença de vegetação	Corrosão dos cordões
Alterações na tensão de serviço	Presença de depósitos	Desfasamento dos cordões

Tal como supramencionado, é através da inspeção visual que são avaliadas as estruturas, sendo este trabalho, na Ascendi, realizado por prestadores de serviços externos. Dada a subjetividade do Inspetor, dependente da sua experiência, a Ascendi pretendeu minimizar o impacto deste fator na inspeção das suas estruturas. Deste modo, com o apoio de consultores especialistas nesta temática, foi elaborado o Manual de Observação e Auscultação de Infraestruturas Geotécnicas, documento no qual foi vertida a experiência acumulada de mais de duas décadas na conceção, construção e operação e manutenção de infraestruturas rodoviárias, assim como na introdução de ferramentas

e soluções inovadoras e sustentáveis de gestão, conservação e manutenção. Um dos capítulos constituintes do documento diz respeito ao catálogo de patologias, elaborado para cada componente do muro/talude. No caso dos muros, existe uma listagem para os componentes: i) banquetas, ii) níveis, iii) drenagem superficial, iv) drenagem profunda, v) equipamentos, vi) células de carga, vii) alvos topográficos, viii) inclinómetros e ix) piezómetros. A Tabela 8 e Tabela 9 apresenta as patologias catalogadas para as células de carga.

Tabela 8 - Catálogo de patologias associadas a células de carga na rede Ascendi.

Patologia	E.C.	E.M.	Descrição	Exemplos representativos
Vidro danificado	Não	Sim	O vidro da caixa de proteção encontra-se danificado/partido.	
Vidro inexistente	Não	Sim	Vidro da caixa de proteção inexistente.	
Vidro – Humidade	Não	Sim	Presença de humidade no vidro da caixa de proteção, que dificulta ou impede a leitura da célula de carga.	
Caixa de proteção - Presença de Vegetação	Não	Sim	Presença de vegetação no interior da caixa de proteção ou na sua periferia.	
Caixa de proteção - Proteção danificada	Sim	Sim	A caixa de proteção da cabeça da ancoragem encontra-se danificada.	
Caixa de proteção inexistente	Não	Sim	Caixa de proteção inexistente.	

Tabela 9 - Continuação do catálogo de patologias associadas a células de carga na rede Ascendi.

Patologia	E.C.	E.M.	Descrição	Exemplos representativos
Caixa de proteção - Corrosão	Não	Sim	Caixa de proteção com corrosão ou manchas de corrosão.	
Caixa de proteção - Manómetro inexistente	Sim	Sim	Manómetro inexistente.	
Outros	Sim	Sim	Outra patologia que não seja compatível com as apresentadas neste catálogo, sendo obrigatório descrever a patologia identificada no campo "observações".	

2.3.4. Ensaios aplicáveis

De acordo com a bibliografia nacional, o número de ancoragens a monitorizar deve ser definido pelo projetista. No entanto, como referência, quando se pretende detetar problemas de corrosão, deve-se instrumentar pelo menos 10% do número total de ancoragens, com um mínimo de 3 ancoragens instrumentadas. Para as restantes, torna-se complexo monitorizar a carga residual durante a sua vida útil, dado que não se encontram instrumentadas. Antigamente, o único recurso disponível era aplicar um ensaio destrutivo, o qual contradiz o conceito de monitorização, que corresponde ao acompanhamento do ativo, e não a sua desativação. No entanto, continuam a ser aplicáveis em determinadas situações pontuais e excecionais.

Atualmente, e ao longo dos últimos anos, desenvolveu-se um vasto conjunto de ensaios não destrutivos, os quais possibilitam a estimativa da carga residual da ancoragem, através de extrapolações ou aproximações.

Na Tabela 10 e

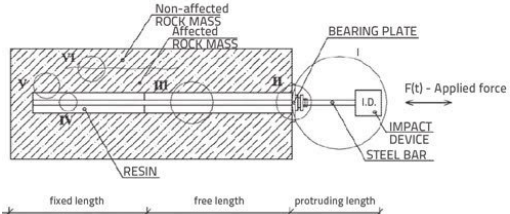
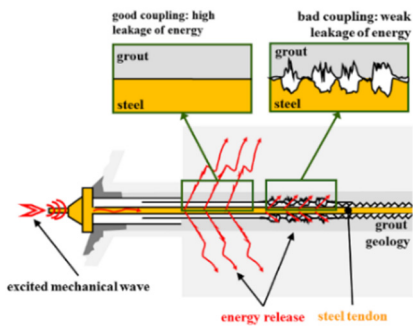
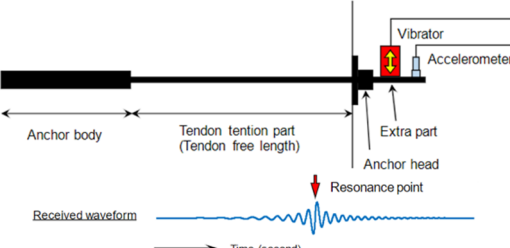
Tabela 11 encontra-se a descrição dos ensaios não destrutivos e destrutivos aplicados a ancoragens.

(página propositadamente em branco)

Tabela 10 - Ensaios não destrutivos para monitorizar a carga residual de uma ancoragem (adaptado de Teixeira (2022); Liao et al. (2017); Carvalho (2009);Min et al. (2023); Fujiwara & Sakai (2016); Bačić et al. (2019)).

Tipo de ensaio	Ensaio	Descrição	Imagem
Ensaios não destrutivos	Método de inspeção simples	Introdução de uma vareta não tensionada, com o objetivo de analisar a diferença de comprimento entre esta e os cordões. Caso o cordão de referência sofra extensão, a carga de tração diminuiu; caso o cordão de referência recolha para o interior da ancoragem, então a carga de tração aumentou.	
	Endoscopia	Inspeção da zona do tardo do topo da cabeça da ancoragem e do comprimento livre visível entre a selagem e a cabeça da ancoragem, com recurso a um endoscópio, de modo a verificar o estado dos componentes e das proteções contra a corrosão, nomeadamente a bainha individual de cada cordão, o tubo corrugado comum, o estado da armadura e os restantes componentes metálicos.	
	Ensaio de Verificação da Tração (EVT)	Verificação do pré-esforço instalado na ancoragem, com recurso a desbloqueio controlado (registando as cargas e respetivos deslocamentos), na repetição dos ensaios de receção simplificados e na realização de novas blocagens. Este ensaio tem sido vastamente discutido, uma vez que existe um risco elevado de a ancoragem entrar em rotura.	
	Ensaio de Lift-Off	Idêntico ao ensaio EVT, permitindo determinar a carga residual da ancoragem. Proceda-se a um ensaio de levantamento, com a colocação de um macaco hidráulico no comprimento extra do cordão da cabeça da ancoragem. A carga do ensaio de <i>Lift-Off</i> é a carga residual da ancoragem. Após a sua confirmação, executam-se os ciclos de descarga. Adicionalmente, é possível avaliar a curva carga-deslocamento.	
	Medição da resistência elétrica (ERM I e ERM II)	Avaliação da eficácia do sistema de proteção contra a corrosão, a nível da bainha e calda de injeção. O primeiro método (ERM I) avalia o isolamento da ancoragem relativamente ao solo e o segundo (ERM II) relativamente à estrutura.	
	Inspeção por termografia infravermelha	Avaliação da carga residual da ancoragem, através da temperatura emitida. São aplicados ciclos de carga e descarga, com recurso a um macaco hidráulico, registando-se as variações térmicas da cabeça da ancoragem. A temperatura aumenta e diminui de acordo com os ciclos de carga e descarga. O método pode ser ativo, se for aplicada uma fonte de calor externa, ou passivo, sem aplicação de fontes adicionais de calor. O número de pixels aumenta quando a carga é aplicada, tanto no método passivo como no ativo, uma vez que a deformação é convertida em energia térmica, com base na teoria da termodinâmica.	

Tabela 11 - Ensaios não destrutivos e destrutivos para monitorizar a carga residual de uma ancoragem (adaptado de Teixeira (2022); Yamazaki et al. (2023); Carvalho (2009)).

Tipo de ensaio	Ensaio	Descrição	Imagem
Ensaios não destrutivos	Método de impacto	A cabeça da ancoragem é impactada, originando ondas de compressão elásticas de baixa frequência, as quais são refletidas sempre que ocorre uma mudança de material ou geometria. Permite avaliar o pré-esforço, a qualidade do bolbo de selagem e identificar secções comprometidas pela corrosão.	
	Método ultrassónico	Aplicado para avaliar o contacto entre meios, através de uma onda ultrassónica na superfície da cabeça da ancoragem. Quando a qualidade da selagem é elevada, a transferência de energia para o meio envolvente é superior à energia transmitida quando a qualidade é baixa.	
	Método de vibração	Insere-se um pequeno vibrador e acelerómetro nos cordões remanescentes na cabeça da ancoragem, com o objetivo de estimar a carga residual através da frequência de vibração recebida (<i>resonance point</i>), da densidade do cordão e do comprimento livre da ancoragem.	
Ensaios destrutivos	Ensaio prévio	Realizado em ancoragens sacrificiais, para estudar a capacidade resistente ao arrancamento da ancoragem na interface calda-terreno e as características de fluência da ancoragem até às cargas de rotura (tópico 2.2.1). Pode ser realizado conforme os 3 métodos propostos pelo EC7.	
	Carotagem do maciço	Permite estudar a interação entre o bolbo de selagem e o maciço rochoso, através de uma carotagem paralela à ancoragem, com a sua consequente desativação.	
	Desativação da ancoragem e escavação do bolbo de selagem	Aplicado em ancoragens de teste ou sacrificiais, apenas sendo realizado em solos (uma vez que a escavação em rocha aumentaria o custo). Ensaio aplicado apenas em situações excecionais.	
	Realização de cortes transversais	Permite observar e estudar algumas patologias como a descontinuidade no bolbo de selagem, distribuição inadequada da armadura, descentralização da armadura e recobrimento não adequado.	

2.3.5. Níveis de alerta e de alarme

No âmbito do plano de observação e auscultação de estruturas geotécnicas, deve ser apresentado um conjunto de princípios e regras que devem ser executados durante a fase de exploração das estruturas, os quais englobam a descrição dos equipamentos de monitorização instalados, bem como a sua respetiva localização em planta, acrescido dos valores de alerta e de alarme definidos para os instrumentos instalados na estrutura. Em conjunto com estes, devem ser apresentadas ações corretivas, com carácter informativo, que complementem o estudo das patologias no decorrer da inspeção visual.

O principal objetivo da definição de critérios de alerta e de alarme, consiste no auxílio na análise e deteção do comportamento da estrutura, permitindo priorizar as intervenções e minimizar os custos de operação e manutenção (Teixeira, 2022). Os limites de alerta correspondem a valores, ou taxas de variação, que podem indicar a ocorrência de comportamentos suscetíveis de afetar a funcionalidade da infraestrutura, bem como de infraestruturas vizinhas. Os limites de alarme são valores, ou taxas de variação, que implicam uma ação imediata decidida no âmbito das ações de contingência – reforço das condições de segurança, evacuação das zonas de risco, entre outras – independentemente da avaliação da situação (Sousa, 2020).

Após receção dos resultados obtidos nas leituras dos instrumentos, procede-se a uma comparação com os valores estabelecidos de alerta e alarme, com o objetivo de retirar conclusões sobre o comportamento e estado da estrutura. Caso as leituras se encontrem abaixo do nível de alerta, a estrutura encontra-se estável e sem apresentar um comportamento preocupante. Por sua vez, caso os valores lidos ultrapassem os níveis de alerta, torna-se necessária uma acrescida atenção e acompanhamento da estrutura, uma vez que esta poderá entrar em rotura, caso continue a evoluir neste sentido. Perante estas situações, regra geral, procura-se aumentar a frequência das leituras. Por fim, caso os valores sejam superiores ao nível de alarme, a estrutura poderá entrar em rotura, tornando-se fundamental a aplicação de ações imediatas, no sentido de restabelecer a segurança da mesma.

Ao longo do grupo de concessões da Ascendi, existiam algumas infraestruturas geotécnicas que não apresentavam critérios de alerta e de alarme definidos de projeto. De modo a colmatar esta lacuna, a Ascendi promoveu uma ação para a definição de critérios gerais de alerta e de alarme para essas infraestruturas. Estes critérios são mais conservadores do que os de projeto, tendo sido definidos para os deslocamentos verticais e horizontais, taxas de deformação e variações de carga, com base nos planos de instrumentação, referências bibliográficas e experiência profissional.

Como resultado, a Ascendi aplicou os critérios aos taludes e muros de contenção, tendo em consideração parâmetros geométricos e geológico-geotécnicos. A Tabela 12 apresenta os critérios de alerta e de alarme definidos para os muros ancorados, em função da altura da estrutura.

Tabela 12 - Critérios de alerta e de alarme para muros ancorados na rede Ascendi (Sousa, 2020).

Critérios para Muros Ancorados			
Nível	Topografia/Inclinómetros		Células de carga
	H≤10 m	H>10 m	
1 (Estável)	$\delta_H < H/500$ $\delta_V < H/1000$	$\delta_H < \left(\frac{10}{500}\right) + \left(\frac{H-10}{2 \times 500}\right)$ $\delta_V < \left(\frac{10}{1000}\right) + \left(\frac{H-10}{2 \times 1000}\right)$	$\Delta P < \pm 20\%$
2 (Alerta)	$H/250 > \delta_H > H/500$ $H/500 > \delta_V > H/1000$	$\left(\frac{10}{250}\right) + \left(\frac{H-10}{2 \times 250}\right) > \delta_H > \left(\frac{10}{500}\right) + \left(\frac{H-10}{2 \times 500}\right)$ $\left(\frac{10}{500}\right) + \left(\frac{H-10}{2 \times 500}\right) > \delta_V > \left(\frac{10}{1000}\right) + \left(\frac{H-10}{2 \times 1000}\right)$	$\pm 30\% > \Delta P > \pm 20\%$
3 (Alarme)	$\delta_H > H/250$ $\delta_V > H/500$	$\delta_H > \left(\frac{10}{250}\right) + \left(\frac{H-10}{2 \times 250}\right)$ $\delta_V > \left(\frac{10}{500}\right) + \left(\frac{H-10}{2 \times 500}\right)$	$\Delta P > \pm 30\%$

Sendo, H = Altura do Muro, δ_H = Deslocamento horizontal, δ_V = Deslocamento vertical, ΔP = Variação de carga

Atualmente, nos projetos desenvolvidos pela Ascendi, já é considerado obrigatória a elaboração de um plano de instrumentação, o qual inclui os valores de alerta e de alarme para a estrutura. No entanto, importa referir que estes critérios não substituem os de projeto; apenas devem ser considerados caso estes não se encontrem definidos.

2.4. Metodologias de cálculo de estados de conservação e de manutenção

Na bibliografia portuguesa, define-se conservação como o conjunto de ações que têm como finalidade prolongar o tempo de vida de uma infraestrutura. Por sua vez, manutenção engloba as operações preventivas destinadas a manter em bom funcionamento uma infraestrutura, ou qualquer uma das suas partes integrantes. Neste conceito, incluem-se as ações de limpeza, reposição de massas e compostos lubrificantes, desmatações, pequenas reparações, entre outras. Através da sua aplicação, é mitigada ou retardada a progressão de patologias, minimizado o aparecimento de anomalias nas estruturas.

Em Portugal, não existe nenhuma norma ou legislação que defina o conceito de manutenção de edifícios ou estruturas. A norma NP EN 13306:2007 define o termo manutenção como a

combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão que, durante o ciclo de vida de um ativo, estão destinadas a mantê-lo num estado em que este desempenhe a sua função pretendida (Plácido, 2013).

O Estado de Conservação de uma estrutura geotécnica depende de todos os seus componentes, quer sejam estes visíveis ou não visíveis, como é o caso das ancoragens. Assume-se que estes se encontram igualmente sujeitos a degradação, a qual, a longo prazo, poderá conduzir ao aparecimento de assentamentos e rotações dos muros, ou presença de anomalias nas zonas expostas, quer da estrutura como da sua área envolvente (Amado et al., 2014). Deste modo, a atribuição dos estados a ancoragens pode ser inferida pelo estado da estrutura, uma vez que o comportamento de longo prazo das ancoragens pode ser avaliado através da monitorização da carga instalada, bem como dos movimentos da estrutura ancorada.

Deste modo, a atribuição de estados de conservação e de manutenção é específico para cada estrutura, com base no seu enquadramento. Um comportamento considerado aceitável para um determinado ambiente, pode não ser noutro enquadramento (Teixeira, 2022). Para tal, existe um conjunto de metodologias de atribuição de estados disponíveis em referências bibliográficas, os quais apresentam contributos positivos, através do estudo dos seus critérios e fundamentos.

2.4.1. Metodologia adotada em Taiwan

Em Taiwan, devido ao seu enquadramento montanhoso e constrangimentos associados aos taludes naturais ou artificiais, a utilização de estruturas ancoradas tem sido bastante utilizada desde 1970, provando ser uma técnica eficaz e fiável. No entanto, como qualquer outra técnica de suporte e contenção, existe a possibilidade de rotura e falha do sistema. Segundo Hn-S et al. (2013), as principais causas de rotura envolvem a perda de carga de tração da ancoragem, a qual pode estar associada a:

- Corrosão, presença de fissuras e rotura do cordão no seu comprimento livre;
- Corrosão nos elementos de ligação e cunhas da ancoragem;
- Falhas no processo de dimensionamento e instalação, não se encontrando o bolbo de selagem no maciço competente;
- Alterações das camadas do terreno;
- Subsidência e deslizamento de solo na base da placa de descarga ou maciço de proteção.

Dada a necessidade de ultrapassar os graves problemas e desastres ocorridos no passado, alguns autores reuniram-se com o objetivo de elaborar uma nova metodologia quantitativa de avaliação da capacidade de carga da ancoragem, com definição do seu Estado de Conservação (EC) e, consequentemente, da estrutura. A metodologia envolve um conjunto de processos a efetuar, o qual se encontra esquematizado na Figura 10.



Figura 10 - Fluxo de trabalhos para determinação do EC de ancoragens, segundo a metodologia de Taiwan (adaptado de Hn-S et al., 2013).

Numa fase inicial, procede-se à recolha de informação sobre a estrutura ancorada em análise, com enfoque no projeto e telas finais, na identificação das condições geológico-geotécnicas e conhecimento do histórico de inspeções. Após esta primeira etapa, inicia-se a inspeção *in situ*, primeiramente pelo exterior da estrutura. Nesta fase, pode ser realizado um ensaio simples com um martelo de geólogo, de modo a determinar a qualidade do som emitido, isto é, se estamos perante um material sólido ou com vazios. Para além disso, inspeciona-se visualmente os componentes externos, procurando avaliar a separação e destacamento da placa de distribuição da estrutura, rotação do maciço de proteção, eflorescência ou presença de água.

Uma vez finalizada, efetua-se a demolição do maciço de proteção de betão ou da caixa de proteção, para avaliar a cabeça da ancoragem. Nesta etapa, inclui-se a inspeção aos mecanismos e elementos de fixação, cunhas, placa de distribuição, estado de corrosão da cabeça da ancoragem, entre outros. Para além disso, anota-se o comprimento remanescente dos cordões, de modo a avaliar, com a passagem do tempo, as alterações dos seus comprimentos.

Concluídas as duas fases de inspeções visuais (externa e interna), inicia-se a aplicação de ensaios não destrutivos. Primeiramente, efetua-se o ensaio de endoscopia, o qual tem com o objetivo determinar a corrosão dos cordões no seu comprimento livre, a presença de fissuras, rotura ou presença de água. O vídeo efetuado deve ser guardado para posterior consulta em laboratório, sempre que necessário. Este ensaio permite avaliar o comprimento livre da ancoragem.

Por fim, executa-se o ensaio *Lift-Off* (resumido na Tabela 10), de modo a determinar a capacidade de carga remanescente da ancoragem.

Assim, esta metodologia consiste na atribuição de pesos, de 0 a 100, aos diferentes itens avaliados e às respectivas patologias observadas no decorrer da inspeção. Quando não se verificam patologias ou estas apresentam uma pequena expressão, é atribuído o peso de 100. Por sua vez, quando estamos perante as situações mais gravosas, o peso será de 0. A atribuição de pesos segundo a metodologia adotada em Taiwan encontra-se presente na Tabela 13.

Tabela 13 - Pesos atribuídos a cada patologia segundo a metodologia de Taiwan (Hn-S et al., 2013).

Item	Pontuação (%)	Patologias observadas na inspeção	Peso
Inspeção externa	10	Embarrigamento ou destacamento da estrutura.	0
		Separação >2 mm entre o maciço de proteção e a placa de distribuição ou corrosão severa.	25
		Separação <2 mm entre o maciço de proteção e a placa de distribuição.	50
		O maciço de proteção encontra-se rodeado de infiltração de água, com eflorescência, ligeiramente danificado ou com nível de corrosão moderado.	75
		Não existem anomalias observáveis ou a qualidade da água é normal.	100
Inspeção à cabeça da ancoragem	15	O conjunto desfaz-se (a abraçadeira soltou-se; o cordão recolheu ou partiu).	0
		A superfície apresenta-se enferrujada e fissurada, em >50%, e a armadura está deformada devido à corrosão.	25
		A superfície apresenta-se enferrujada e fissurada em <50%.	50
		A superfície apresenta-se ligeiramente corroída ou com infiltração de água. A cabeça encontra-se enferrujada, embora com uma espessura de ferrugem bastante fina, não mensurável ou inferior a 0,1 mm.	75
		Sem corrosão ou infiltração de água.	100
Endoscopia	30	Cordões partidos ou fios soltos e completamente enferrujados.	0
		Cordões castanho-escuro, com superfície irregular ou com >90% da superfície enferrujada.	15
		Cordões castanho escuro, com superfície áspera mas não irregular, ou com 50-90% da superfície enferrujada.	45
		Cordões castanho-claro, com superfície lisa e brilhante ou com 10-50% da superfície enferrujada.	75
		Nenhuma anomalia presente ou superfície enferrujada <10%.	100
Ensaio <i>Lift-Off</i>	45	Destacado, armadura partida ou $T_r = 0$.	0
		$*T_r > 1.2T_w$ ou $T_r \leq 0.2T_w$	33
		$0.2T_w < T_r \leq 0.5T_w$	67
		$0.5T_w < T_r \leq 0.8T_w$	75
		$0.8T_w < T_r \leq 1.2T_w$	100

* T_r – Carga residual; T_w – Carga de projeto.

Convém salientar que se em algum dos itens resultar uma pontuação de 0, a ancoragem deverá ser considerada com defeito, sendo a pontuação total de 0. Num talude no qual 1/3 das ancoragens inspecionadas tenha atingido mais de 90% da superfície enferrujada, observável no ensaio de endoscopia, mas que no ensaio de *Lift-Off* a capacidade de carga se encontra no intervalo $0.8T_w < T_r \leq 1.2T_w$, recomenda-se a realização de ensaios adicionais para determinar se a inclinação do talude favorece o deslizamento.

Com base na pontuação da ancoragem obtida segundo a Tabela 13, através da sua soma, pode ser obtido o seu estado de conservação (β), consoante a Tabela 14.

Tabela 14 - Categorias de Estado de Conservação da ancoragem segundo a metodologia de Taiwan (Hn-S et al., 2013).

Pontuação total	Categoria - Ancoragem
0	X – Fora de função
$\beta \leq 30$	A – Muito mau estado
$30 < \beta \leq 55$	B – Mau estado
$55 < \beta \leq 80$	C – Razoável
$80 < \beta$	D – Normal

Uma vez obtida a categoria do Estado de Conservação da ancoragem (β), pode ser obtido o Estado de Conservação da estrutura (α), disponível na Tabela 15, em resultado da média de todas as ancoragens analisadas.

Tabela 15 - Categorias de Estado de Conservação da estrutura segundo a metodologia de Taiwan (Hn-S et al., 2013).

Pontuação total	Categoria - Estrutura
$\alpha \leq 30$	A – Muito mau estado
$30 < \alpha \leq 55$	B – Mau estado
$55 < \alpha \leq 80$	C – Razoável
$80 < \alpha$	D – Normal

A presente metodologia foi testada em 16 taludes ancorados, demonstrando consistência, sucesso e bons indícios de aplicabilidade, comprovando a validação do método.

2.4.2. Outras metodologias

Para além da metodologia adotada em Taiwan, existem diversas metodologias praticáveis no resto do mundo. Em Portugal, a empresa Betar Consultores desenvolveu um método para avaliação do Estado de Conservação de obras de arte. Ainda que sejam estruturas com comportamentos distintos, o raciocínio pode servir de base para definição do Estado de Conservação das ancoragens. A nível internacional, a Associação Japonesa de Ancoragens apresenta uma análise dos resultados obtidos no ensaio de *Lift-Off*, atribuindo um Estado de Conservação para cada intervalo de cargas registadas.

O método francês IQOA Murs agrupa as estruturas em dois grupos, os de funcionamento clássico e de funcionamento particular. Os primeiros são aqueles cujo estado aparente é representativo do estado real da estrutura. Por sua vez, os segundos são aqueles que apresentam elementos enterrados/ocultos, como é o caso das ancoragens. Segundo este método, as estruturas são classificadas em cinco classes, desde um estado bom a uma estrutura com ameaça de instabilidade.

Por fim, o Departamento de Transportes do Colorado atribui estados de conservação às estruturas consoante as patologias identificadas numa inspeção visual.

Todas as metodologias, à exceção da apresentada pela Associação Japonesa de Ancoragens, são qualitativas e, por isso, mais subjetivas e dependentes da experiência do Inspetor.

Na gestão preventiva das estruturas geotécnicas, a Ascendi promove a atribuição de estados de conservação e de manutenção que garantam, tanto quanto possível, uma rigorosa monitorização dos muros e taludes, com o objetivo de assegurar a sua integridade e níveis de serviço estabelecidos contratualmente. A metodologia atualmente em vigor na rede Ascendi para o cálculo dos estados encontra-se desenvolvida no tópico 4.3.

O resumo das metodologias supramencionadas encontra-se presente na Tabela 16.

(página propositadamente em branco)

Tabela 16 - Metodologias de cálculo para atribuição dos estados de conservação e de manutenção de estruturas geotécnicas (adaptado de Teixeira, 2022).

Metodologia	Caracterização	Designação		Descrição
Betar Consultores (Martins, 2014)	Qualitativa	Ótimo		Não é necessário efetuar qualquer reparação.
		Bom		Não é necessário efetuar qualquer reparação.
		Razoável		Reparações não prioritárias.
		Mau		Reparação num prazo de 3-5 anos.
		Muito mau		Reparação a curto prazo (1-2 anos).
		Extremamente mau		Reparação imediata.
Associação Japonesa de Ancoragens (Yamazaki et al., 2023)	Quantitativa (Ensaio <i>Lift-Off</i>)	0.9 T _{vs} *	E	Possibilidade de rotura - Medida de emergência necessária.
			D	Possível situação de risco - Medida remediativa necessária.
		1.1 T _a	C	Superior à tolerância - Medida remediativa necessária.
			B	Tolerância - Medida remediativa necessária após inspeção.
		Carga admissível (T _a)	A	Estável - Sem necessidade de medida remediativa.
		Carga de projeto (T _d)	A	Estável - Sem necessidade de medida remediativa.
		Carga de bloqueio (P _t)	A	Estável - Sem necessidade de medida remediativa.
		0.8 P _t	B	Tolerância - Medida remediativa necessária após inspeção.
		0.5 P _t	C	Deterioração drástica - Medida remediativa necessária.
		0.1 P _t	D	Não está em funcionamento - Medida remediativa necessária.
IQOA Murs (Amado et al., 2014)	Qualitativa	Classe 1		Bom estado aparente.
		Classe 2		Estrutura em bom estado aparente (ou ligeiramente degradada), sem defeitos visíveis de estabilidade (ou defeitos menores), com equipamentos ou sistemas de drenagem degradados.
		Classe 2E		Definição do Estado 2 com risco de desenvolvimento rápido de anomalias importantes na estrutura.
		Classe 3		Estrutura afetada ou anomalias importantes na zona de influência.
		Classe 3U		Estrutura gravemente alterada ou estabilidade ameaçada.
		Menção S		Na perceção de risco para os utilizadores da via ou terceiros, cada uma das 5 classes anteriormente definidas deve ser seguida da menção S.
Norte-americana (Amado et al., 2014)	Qualitativa	EC1 - Bom		Sem deterioração dos elementos.
				Sem movimentos, assentamentos ou desalinhamentos.
		EC2 - Suficiente		Alguma deterioração dos elementos, sem relevância e reparável.
				Sem movimentos, assentamentos ou desalinhamentos pouco expressivos.
		EC3 - Medíocre		Deterioração que pode justificar substituição dos elementos.
				Movimentos, assentamentos ou desalinhamentos que podem constituir uma ameaça à segurança ou estabilidade do muro.
		EC4 - Grave		Deterioração que prejudica o funcionamento dos elementos.
				Movimentos, assentamentos ou desalinhamentos que podem constituir uma ameaça à segurança ou estabilidade do muro.
		EC5 - Crítico		Deterioração, movimentos, assentamentos ou desalinhamentos que requerem intervenções urgentes.

* Tys – Tensão de cedência do cordão.

(página propositadamente em branco)

2.4.3. Ações de conservação e de manutenção

Após a realização de inspeções à estrutura, caso as ancoragens apresentem um nível de deterioração e desempenho inferior ao nível exigido em projeto, devem ser aplicadas medidas com o objetivo de garantir o cumprimento dos requisitos de desempenho durante a sua vida útil. Sempre que necessário, pode ser considerada uma combinação de métodos e medidas; é possível que um problema de integridade da ancoragem possa evidenciar o facto de a instalação e/ou conceção original da ancoragem ser inadequada ou imprópria. Embora as inspeções sobre a integridade das ancoragens sejam efetuadas individualmente, deve ser considerada a possibilidade de aplicar medidas comuns de um modo geral, uma vez que podem ser frequentemente identificadas causas comuns de deterioração da ancoragem ou da estrutura ancorada (Japan Anchor Association, 2015).

Na Figura 11 encontra-se ilustrado o desempenho expectável para uma ancoragem durante a sua vida útil de projeto.

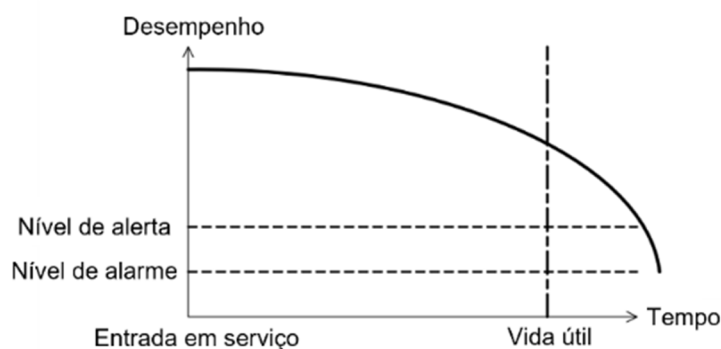


Figura 11 - Desempenho expectável de uma ancoragem durante a sua vida útil (Teixeira, 2022; adaptado de Japan Anchor Association, 2015).

No entanto, com o passar do tempo e com a deterioração da ancoragem, esta pode não apresentar o comportamento indicado na Figura 11, mas sim a situação representada por uma das curvas e pontos indicados na Figura 12.

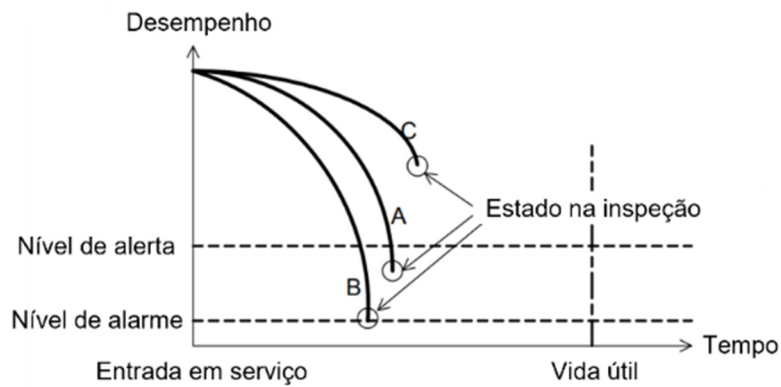


Figura 12 - Desempenho de uma ancoragem que necessita de intervenções (Teixeira, 2022; adaptado de Japan Anchor Association, 2015).

Caso a ancoragem se encontre na situação B, então esta necessita de uma intervenção urgente, uma vez que esta se encontra no nível de alarme, demonstrando a probabilidade iminente de ultrapassar o estado limite último, a partir do qual a estrutura pode entrar em rotura. Por sua vez, uma ancoragem na situação C pode ser intervencionada, embora sem grande preocupação, urgência e sem grandes custos operacionais. O cenário representado em A necessita de um acompanhamento mais cuidado, com inspeções frequentes e detalhadas, uma vez que este se encontra entre o intervalo de alerta e de alarme.

Assim sendo, todos os conceitos de manutenção vão ao encontro de objetivos comuns, sendo esses (Plácido, 2013):

- Conferir um melhor desempenho à estrutura bem como aos seus elementos, tentando repor a sua qualidade inicial;
- Prolongar a vida útil;
- Evitar custos elevados com reparações de grande dimensão;
- Garantir as exigências de desempenho estabelecidas em projeto.

Como já referido anteriormente, no Plano de Observação e Auscultação desenhado para uma estrutura ancorada, deverão ser estabelecidos: i) níveis de alerta e alarme, ii) ações e medidas a adotar e iii) plano de contingência a aplicar num cenário de alarme.

Capítulo III

SustIMS – Plataforma de gestão sustentável de infraestruturas rodoviárias

(página propositadamente em branco)

3. SustIMS – Plataforma de gestão sustentável de infraestruturas rodoviárias

3.1. Principais objetivos e características

No contexto atual de transformação digital, cada vez mais é verificada a necessidade de adoção de novas tecnologias que assentem em processos de gestão inteligentes e sustentados na gestão dos ativos ao longo do seu ciclo de vida. A quantidade e complexidade da informação recolhida e produzida requer, forçosamente, a adoção de novos sistemas e plataformas de apoio às atividades dos operacionais, supervisores e gestores da infraestrutura. A aplicação SustIMS, abreviatura de *Sustainable Infrastructure Management System*, resulta de uma cooperação entre a Ascendi, Universidade do Minho e Universidade Nova de Lisboa, co-financiada no âmbito do QREN (Quadro de Referência Estratégico Nacional), que se desenvolveu durante 3 anos, entre finais de 2012 e 2015.

O principal objetivo deste projeto prendeu-se com o desenvolvimento de uma plataforma de gestão sustentável de infraestruturas rodoviárias, a qual permite a gestão, de um modo integrado e inovador, dos seus principais elementos, designados por módulos, os quais incluem as obras de arte, pavimentos, drenagem transversal e, em particular, os muros e taludes. Esta plataforma distingue-se dos restantes sistemas de Base de Dados tradicionais pela incorporação de informação histórica e em tempo real, bem como pela possibilidade de previsão do desempenho futuro de cada elemento, recomendando as melhores estratégias de manutenção e reabilitação, apoiando a tomada de decisão. Para além disso, garante o cumprimento dos parâmetros legais e contratuais, em termos de padrões de qualidade (Neves et al., 2015).

Como resultado das motivações apresentadas pela Ascendi, identificaram-se os principais objetivos da plataforma, sendo esses (Neves et al., 2015):

- A gestão e a melhoria da qualidade da informação disponível, na forma de Base de Dados;
- O desenvolvimento de uma ferramenta móvel, de apoio à recolha de informação do estado dos componentes da infraestrutura, através de inspeções programadas e de ocorrências;
- A criação de sistemas de monitorização em tempo real, que permitisse a deteção de movimentos em muros e taludes e embates de viaturas em guardas de segurança;
- A criação de modelos de previsão de desempenho e de otimização, para apoio à tomada de decisão;
- A obtenção de um produto final aberto, que permitisse a inclusão de outros módulos de componentes e, por outro lado, um produto customizável que permitisse a parametrização para diferentes exigências de padrões de qualidade.

A plataforma SustIMS apresenta três constituintes principais: i) Plataforma de Gestão, que integra e gera uma Base de Dados e que inclui modelos de previsão de desempenho e algoritmos de otimização que apoiam a tomada de decisão; ii) Plataforma Móvel, que permite, durante as inspeções *in situ*, registar todas as informações sobre o Estado de Conservação de cada elemento, bem como ocorrências; e iii) Sistemas de Monitorização Online, baseados em redes de sensores sem fios que transmitem, em tempo real e contínuo, informação sobre a estabilidade de muros e taludes e de situações de embate de viaturas em guardas de segurança (Neves et al., 2015).

O método científico utilizado passa por integrar toda a informação sobre os componentes da infraestrutura, numa base de dados facilmente acessível. Deste modo, torna-se possível a redução do tempo entre a inspeção da obra e a elaboração do relatório de inspeção. Este facto permite evitar potenciais erros, na medida em que é possibilitado o acesso, no terreno e em tempo real (através da Plataforma Móvel), à informação histórica e à parametrização de cada elemento.

3.2. Plataforma de Gestão e Plataforma Móvel

A Plataforma de Gestão foi estruturalmente desenvolvida em camadas, através de uma lógica hierárquica, apresentando uma segmentação ao nível dos diversos módulos de gestão – Base, Funcionais e de Apoio à Decisão. No que diz respeito ao Módulo Base, este incorpora um módulo transversal, o qual inclui informações comuns, tais como a identificação da concessão, autoestrada, sublanço, tramos, etc., e módulos individuais, que armazenam a informação específica de cada elemento. Os dados que alimentam a base de dados têm origem em inspeções visuais, sistemas de monitorização, elementos de projeto, entre outros (Neves et al., 2015).

As funcionalidades base dos diversos módulos foram desenvolvidas de forma sequencial. Assim, após recolhidos os dados base da infraestrutura, são produzidos relatórios/indicadores, os quais permitem definir o estado atual. Através deste, definem-se ações de otimização e prevêem-se estados futuros. Quanto ao módulo de Apoio à Decisão, são utilizados índices de qualidade (IQ), modelos de desempenho/deterioração e modelos de otimização, com o efeito das ações de conservação e manutenção. Para além do referido, a Plataforma de Gestão possui a integração de um sistema de informação geográfica, que permite identificar, em mapas georreferenciados, a localização dos elementos da infraestrutura.

No que concerne à Plataforma Móvel, esta foi desenvolvida para *tablets*, com a finalidade de apoiar as atividades de inspeção realizadas *in situ* às infraestruturas, funcionando *offline* e sincronizando com a Plataforma de Gestão.

O utilizador pode executar uma inspeção *in situ*, rápida e facilmente, através do preenchimento de listas de verificação pré-definidas e determinados campos de dados (Neves et al., 2015).

Esta plataforma dispõe de características e funcionalidades que contribuem e suportam a inspeção visual, destacando-se:

- Permite o funcionamento *offline*;
- Esquemas visuais adaptados à realidade de cada elemento;
- Informação histórica e acessível, através do armazenamento de relatórios de inspeções anteriores;
- Listas de verificação pré-definidas, para um fácil preenchimento;
- Registo de patologias e associação de elementos multimédia, como fotografias exemplificativas;
- Registo de ocorrências *ad-hoc* (fora do âmbito da inspeção), verificadas noutras infraestruturas durante um processo de inspeção visual;
- Georreferenciação automática, que permite a identificação da localização de cada elemento num mapa;
- Sincronização com a Plataforma de Gestão.

3.3. Principais benefícios e limitações

A plataforma SustIMS foi desenvolvida na perspetiva do gestor da infraestrutura, podendo ser adaptada a uma situação concreta e particular, mas com um perfil comum, o que possibilita a sua fácil integração. Relativamente aos seus benefícios, em primeiro lugar, numa perspetiva económica e de qualidade, permite a otimização da gestão de ativos da infraestrutura, com base em modelos de previsão e otimização. Em segundo, permite reduzir os custos de vida dos ativos e, através de previsões mais precisas sobre a necessidade de futuros investimentos, diminuir o risco financeiro dos projetos (Neves et al., 2015).

No que concerne às suas limitações, podem ser destacadas as seguintes:

- Não admite a criação de sub-subcomponentes, permitindo apenas a definição de componentes e subcomponentes da estrutura;
- Não permite o agendamento e a seleção de apenas alguns subcomponentes, isto é, todos os subcomponentes do respetivo componente são enviados para inspeção;

-
- Não permite finalizar uma inspeção com subcomponentes ou componentes por inspecionar, sendo necessário concluir o processo;
 - Caso o componente seja definido como em conformidade, não é possível registar mais patologias associadas a esse mesmo componente;
 - Não permite a georreferenciação das patologias observáveis através de coordenadas geográficas, possibilitando apenas a identificação do local por indicação do respetivo pK.

Todas estas limitações têm impacto na proposta da metodologia a adotar pela Ascendi no que diz respeito às ancoragens, pelo que serão desenvolvidas e aprofundadas no capítulo 4.

3.4. Enquadramento da plataforma no módulo Muros e Taludes

A gestão dos muros e taludes do grupo de concessões e subconcessões da Ascendi é de grande relevância, em particular no período de exploração dos seus ativos. Esta consiste no acompanhamento da evolução do Estado de Conservação e de Manutenção das infraestruturas, o que possibilita à entidade gestora a tomada de decisões de carácter preventivo, otimizando os custos e minimizando, ou até mitigando, a ocorrência de incidentes com consequências mais graves para a infraestrutura, contribuindo de forma positiva e significativa para a segurança rodoviária.

No âmbito do Plano de Controlo de Qualidade (PCQ), a gestão dos muros e taludes é suportada pela plataforma SustIMS, a qual integra os módulos de Gestão de Inventário, Planeamento e Execução de Inspeções Visuais, Produção de Relatórios, Registo de Ocorrências, Apoio à Tomada de Decisão e Monitorização Online. A atividade chave diz respeito à inspeção visual de muros e taludes na rede Ascendi, uma vez que esta proporciona a recolha de informações de cadastro, a identificação de patologias e/ou ocorrências, a atribuição de estados de manutenção e conservação e o planeamento das respetivas ações. Neste sentido, a Ascendi desenvolveu um Caderno de Encargos, o qual padroniza o procedimento de recolha de informação em campo, bem como define os critérios de alerta e alarme da instrumentação instalada (Ferreira et al., 2019).

As infraestruturas geotécnicas rodoviárias apresentam um ciclo de vida que se inicia com a fase de Projeto, prossegue na fase de Construção e termina na fase de Operação e Manutenção (O&M). No decorrer desta última, existem três pilares fundamentais, identificados na Figura 13.

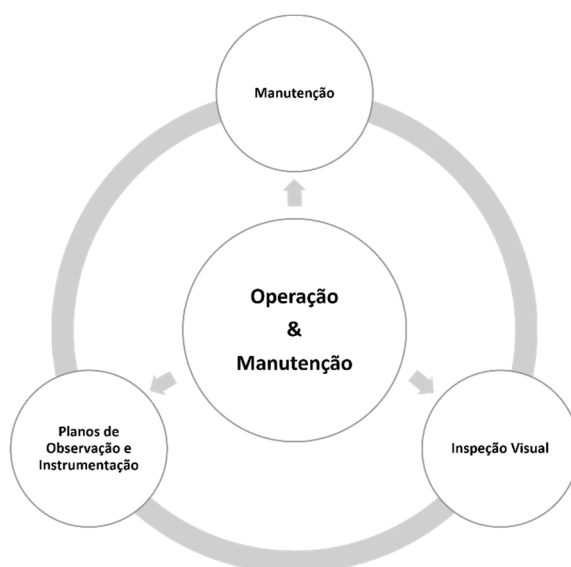


Figura 13 - Pilares no período de exploração (Ferreira et al., 2019).

A inspeção visual de muros e taludes enquadra-se no âmbito da monitorização de infraestruturas, cujo planeamento e periodicidade é efetuado com base no preconizado no PCQ, implementado na rede Ascendi. Esta é desenvolvida por Inspetores com formação nas áreas de engenharia e geologia, fazendo parte do ciclo anual de atividades, correspondendo ao primeiro contributo. O processo de levantamento de informação tem como principal finalidade a avaliação da necessidade de implementação de ações de manutenção e/ou conservação (Ferreira et al., 2019).

De salientar que o acompanhamento dos taludes é de extrema importância para a segurança rodoviária, tendo em vista que estes correspondem a elementos muito suscetíveis a fenómenos de alteração e degradação por ações climáticas e agentes erosivos. Com a devida supervisão, é possível atuar preventivamente, acautelando eventuais consequências, tais como ravinamentos, escorregamentos, roturas em maciços rochosos e/ou efeitos de erosão, com possíveis deslocações do terreno à superfície ou em profundidade. No âmbito dos muros, estes fenómenos não são tão frequentes, dadas as normais proteções superficiais em betão ou com gabiões; no entanto, não deve ser motivo para negligência ou descuido, carecendo também de um devido acompanhamento, uma vez que apresentam outro tipo de suscetibilidade.

Para sistematizar a informação observada e recolhida no terreno, os registos são efetuados por talude ou muro, como infraestrutura singular. O *workflow* da inspeção visual é composto por quatro fases principais, sendo essas:

- **1ª Fase** – Seleção da infraestrutura a inspecionar e agendamento da inspeção;

- **2ª Fase** – *Download* das infraestruturas, execução da inspeção *in situ* e *upload* das inspeções concluídas;
- **3ª Fase** – Recolha e integração dos dados das inspeções, análise dos dados e cálculo dos estados de conservação e/ou manutenção;
- **4ª Fase** – Elaboração de relatórios de inspeção.

Assim, as inspeções visuais apoiam-se no cadastro das infraestruturas, apresentando a sequência exemplificada no esquema presente na Figura 14.



Figura 14 - Esquema simplificado das inspeções visuais de muros e taludes na plataforma de gestão integrada SustIMS (adaptado de Ferreira et al., 2019).

3.4.1. Seleção da infraestrutura e agendamento da inspeção

Tal como supramencionado, a primeira fase diz respeito à seleção da infraestrutura a inspecionar. Primeiramente, procede-se a uma pesquisa e recolha bibliográfica das telas finais do projeto (peças escritas e peças desenhadas), com particular foco na geologia e hidrogeologia, e existência de problemas ocorridos durante a fase de construção. São também analisados os relatórios de inspeções anteriores e critérios definidos no PCQ. Esta primeira análise, por parte do Gestor, permite uma orientação para o que poderá ser observado durante a investigação *in situ*, em específico para as patologias com maior probabilidade de ocorrência. Posteriormente, seleciona-se a infraestrutura a analisar e define-se o Inspetor, bem como as datas para realização do trabalho de campo.

Para o efeito, é entregue um equipamento (*tablet*) ao técnico, de modo que este possa registar todas as informações diretamente na plataforma.

Após a seleção do Inspetor, o Gestor realiza o agendamento do talude ou muro a inspecionar na plataforma, indicando a infraestrutura por: concessão/autoestrada/talude (ou muro).

Concluída esta operação, o sistema envia uma notificação, via email, quer para o Inspetor como para o Gestor. Nesta, é indicado o tipo de inspeção, data de início e fim, concessão, autoestrada, sublanço e matrícula, com respetiva descrição e indicação dos componentes a inspecionar.

3.4.2. Inspeção visual e integração de dados

Uma vez concluída a etapa supramencionada, o Gestor disponibiliza a informação relativa ao talude/muro a inspecionar, proporcionando ao Inspetor a possibilidade de efetuar o *download* do agendamento no *tablet* fornecido. Após a sua realização, os Inspetores dispõem de “formulários de inspeção”, pré-preenchidos com as informações de cadastro das infraestruturas, acompanhados de uma foto de enquadramento. A inspeção visual é realizada de modo *offline*, o que corresponde a uma grande vantagem da plataforma, tendo em consideração que, em muitos locais, o acesso à rede móvel é bastante condicionado ou até mesmo inexistente. Para além disso, o Inspetor consegue visualizar o local através do *GoogleMaps*, funcionalidade que auxilia na identificação da infraestrutura na autoestrada (Ferreira et al., 2019).

Uma vez no local, procede-se ao levantamento e catalogação das patologias existentes em todos os componentes. No que diz respeito aos taludes, são considerados os seguintes componentes: i) banquetas; ii) panos; iii) drenagem superficial; iv) drenagem profunda; e v) proteção superficial. Todos estes são caracterizados como estruturais, na medida em que são considerados no cálculo dos estados de conservação de um talude. Quanto aos componentes não estruturais, incluem-se: i) obras de contenção; ii) equipamentos; e iii) instrumentação (podendo envolver células de carga, alvos topográficos, inclinómetros ou piezómetros). Relativamente aos muros, os componentes estruturais envolvem: i) banquetas; ii) níveis; iii) drenagem superficial; e iv) drenagem profunda. Do mesmo modo, podem apresentar componentes não estruturais, sendo esses; i) equipamentos; e ii) instrumentação.

O registo das patologias é efetuado através da plataforma móvel do *tablet*, na qual é inserida a localização (através da indicação do pK), extensão, área, profundidade, abertura, entre outras características. Adicionalmente, são tiradas fotografias exemplificativas, com a possibilidade de registo de informação adicional. Para cada patologia, o Inspetor deve avaliar a dimensão e o risco, o qual irá permitir a atribuição do Estado de Conservação (EC) da patologia, numa primeira fase, e, posteriormente, do componente. Este conteúdo será pormenorizado no Capítulo 4, no âmbito da proposta de metodologia a adotar pela Ascendi.

No decorrer da inspeção visual, procede-se também à validação e complemento do cadastro relativo aos atributos dinâmicos, atualizando os registos anteriormente inseridos na base de dados.

Os atributos dinâmicos correspondem às informações mais pertinentes relativas ao elemento, os quais permitem a sua caracterização. Dizem respeito a parâmetros relacionados com dimensões, localização, especificações técnicas, entre outros. O preenchimento dos elementos é parametrizado, impondo ao Inspetor uma sequência da atividade, com listas de apoio à inspeção e tipificação dos subcomponentes e do tipo de patologias (Ferreira et al., 2019).

O agendamento da inspeção encontra-se condicionado pelas condições climatéricas e, nos taludes, pelo progresso do trabalho de desmatção. Estes fatores podem obrigar ao reagendamento ou cancelamento do trabalho de campo, sem ter sido terminada a inspeção em curso. Isto é, caso o Inspetor não consiga proceder à inspeção dos componentes devido à presença de vegetação, este reporta a patologia “Presença de Vegetação”, interrompe a inspeção, são efetuados os trabalhos de desmatção e, posteriormente, retoma-a desde o ponto em que a mesma foi interrompida.

Após o término da inspeção visual da infraestrutura, o Inspetor efetua o seu *upload*, processo que gera uma notificação, via email, para o Gestor, comunicando a conclusão da inspeção, acompanhado de um link para acesso ao relatório de inspeção.

Em *backoffice*, realiza-se a integração e o tratamento da informação na Plataforma de Gestão, sendo calculados, primeiramente, os estados de conservação e manutenção para cada componente e, posteriormente, os estados globais da infraestrutura.

3.4.3. Produção de relatórios

Na perspetiva de organizar e compilar a informação recolhida nas inspeções visuais, é produzido um relatório final que contempla os seguintes conteúdos principais (Ferreira et al., 2019):

- Introdução, com a descrição do âmbito da inspeção e enquadramento geográfico (concessão, autoestrada, sublanço, pK inicial e final, entidade executante, entre outros);
- Caracterização geográfica do local de inspeção, com indicação das condições climatéricas;
- Apresentação de resultados, com a distribuição da tipologia de taludes e muros, das patologias observadas por componente, do Estado de Conservação e Manutenção dos componentes e análise global da inspeção realizada.

Este relatório constitui um importante contributo para o planeamento e orçamentação das atividades de conservação e manutenção do ano seguinte, permitindo a separação das atividades e identificação de situações que carecem de um plano de observação e reforço, ou instalação de instrumentação para a monitorização da infraestrutura.

Capítulo IV

Proposta de metodologia a adotar pela Ascendi

(página propositadamente em branco)

4. Proposta de metodologia a adotar pela Ascendi

4.1. Inventário de estruturas ancoradas na rede Ascendi

O principal foco da equipa de Muros e Taludes do Serviço de Gestão da Conservação 2 da Ascendi está relacionado com a rede de estruturas geotécnicas, sendo responsável pela gestão destes ativos, acompanhamento de empreitadas e prestação de serviços, onde se inclui a inspeção visual, a monitorização e a elaboração de notas técnicas. A rede de estruturas geotécnicas a cargo da equipa compreende, dentro dos taludes: i) taludes de escavação em rocha, ii) taludes de escavação em solo, iii) taludes em aterro em solo ou solo-enrocamento e iv) taludes de aterro em pedrapleno. No que diz respeito aos muros, estes englobam: i) muros de betão armado, ii) muros de gabiões e iii) muros de terra armada/terramesh.

Ainda que existam taludes com vigas ancoradas na rede Ascendi, a presente dissertação apenas tem enfoque nos muros ancorados.

Os muros de suporte correspondem a estruturas bastante presentes na rede Ascendi, desempenhando um papel fundamental, em particular em ambiente urbano. O Gráfico 2 apresenta a distribuição dos 316 muros ancorados pelas várias Concessões operadas, os quais incluem muros de betão armado, muros de gabiões e muros de terra armada/terramesh.

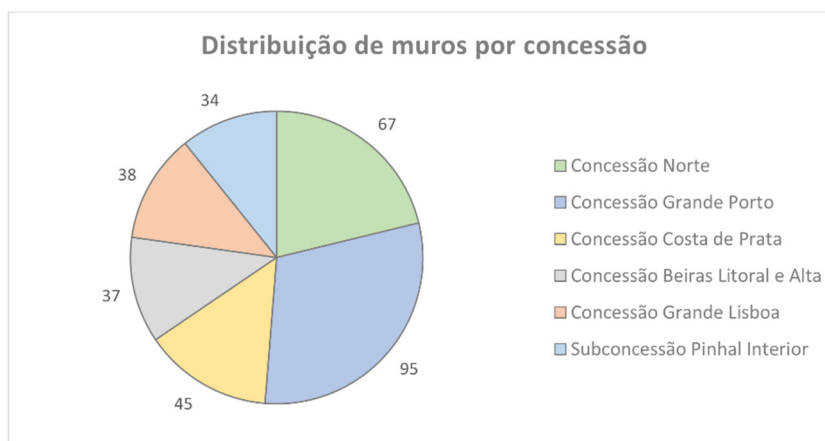


Gráfico 2 - Distribuição dos muros de suporte por Concessão na rede Ascendi.

Na presente dissertação, apenas são objeto de estudo e análise os muros ancorados que, regra geral, se incluem nos muros de betão armado. Na rede Ascendi encontram-se presentes 43 muros ancorados, equivalendo a cerca de 14% do número total de muros. O Gráfico 3 apresenta a distribuição, por Concessão, dos muros ancorados. Importa salientar que a Concessão Grande Lisboa não possui muros ancorados.

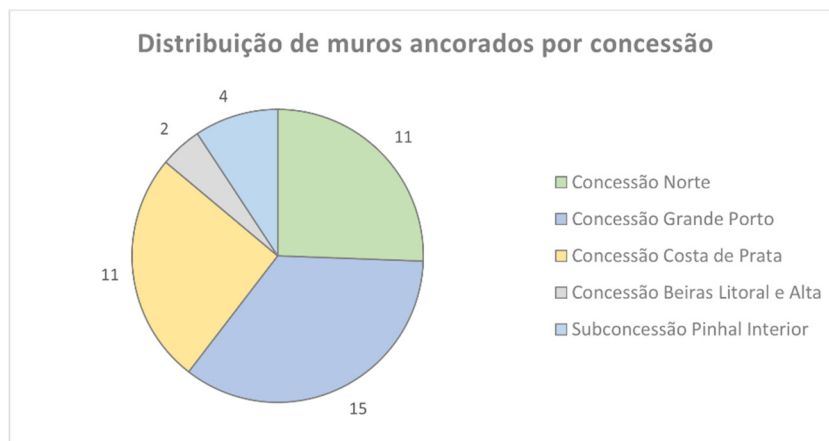


Gráfico 3 - Distribuição dos muros ancorados por Concessão na rede Ascendi.

4.2. Manual de observação e auscultação de estruturas geotécnicas

Durante o período de Operação e Manutenção (O&M) das estruturas geotécnicas, a sua integridade deve ser garantida e promovida, proporcionando a segurança dos utentes e os níveis de serviço estabelecidos contratualmente. De modo a cumprir com os objetivos estabelecidos, a Ascendi, com o apoio de consultores especializados na área, propõe soluções inovadoras de gestão, conservação e manutenção de estruturas geotécnicas rodoviárias. O ciclo de vida sustentável das estruturas geotécnicas encontra-se ilustrado na Figura 15.



Figura 15 - Ciclo de gestão sustentável de ativos aplicado na rede Ascendi (Ferreira et al., 2021).

As estruturas geotécnicas estão expostas às condições meteorológicas, pelo que o ambiente impacta negativamente, provocando o seu envelhecimento, degradação e aparecimento de

patologias. No sentido de minorar este efeito, a Ascendi promove campanhas anuais de observação e auscultação, identificando patologias e atribuindo estados de conservação e manutenção. Após o seu término, são analisados os relatórios e selecionados os taludes e muros a intervencionar. É então elaborado o planeamento e orçamento anual, com o desenvolvimento de notas técnicas e projetos de reforço e reabilitação, em geral, por consultores externos. De seguida, são realizadas as empreitadas de reabilitação e/ou reforço e aplicadas as ações de manutenção, estas por equipas internas. Após a execução das medidas corretivas, ocorre a atualização do cadastro e dos respetivos estados. Este ciclo repete-se anualmente.

Uma das soluções inovadoras que a Ascendi aplica no contexto de O&M diz respeito ao Manual de Observação e Auscultação de Infraestruturas Geotécnicas. O objetivo do manual é contribuir para o conhecimento acerca da manutenção e conservação de estruturas geotécnicas, tendo por base a sua observação, de modo a ser possível agir em conformidade. Este documento apresenta metodologias que propiciam aos Inspetores ferramentas úteis, rápidas e precisas, que normalizam o plano de inspeção e monitorização, assegurando um melhor desempenho na análise preventiva. Com este manual, pretende-se contribuir de modo positivo para o aumento da resiliência das estruturas geotécnicas, face às alterações climáticas (Ferreira et al., 2022).

O documento encontra-se dividido em 6 capítulos, como ilustrado na Figura 16. Os primeiros capítulos são dedicados à introdução e enquadramento geográfico e geológico, seguido de um capítulo dedicado à catalogação de componentes/subcomponentes, patologias e ações de manutenção e conservação. O terceiro capítulo apresenta a metodologia de cálculo dos estados. No quarto expõe-se o manual de utilização da plataforma SustIMS. O quinto apresenta as metodologias de auscultação e respetivos critérios de alerta e alarme, para estruturas cujos projetos não incluam um plano de observação e instrumentação. Por fim, o último capítulo diz respeito ao manual de procedimentos de segurança e conclusões.



Figura 16 - Estrutura do Manual de Observação e Auscultação de Estruturas Geotécnicas (Ferreira et al., 2022).

Este documento pretende, acima de tudo, uniformizar o referido plano, objetivando o procedimento da recolha de informação em campo, com incidência nos seguintes parâmetros (Ferreira et al., 2022):

- **Catálogo de componentes e subcomponentes**

A catalogação de componentes e subcomponentes dos muros e taludes tem como finalidade minimizar a ocorrência de falhas no registo das informações recolhidas no local, bem como compatibilizar as denominações dos diversos componentes e subcomponentes com as definidas no Manual de Drenagem Superficial em Vias de Comunicação, produzido pelo Instituto das Estradas de Portugal, tendo em consideração a necessidade de cumprimento do PCQ.

- **Catálogo de patologias**

As patologias que requerem intervenções são classificadas como de manutenção e/ou conservação. No local, o Inspetor deve avaliar a gravidade dos danos causados pela patologia, a sua consequência/impacto na infraestrutura e quais as ações possíveis de implementar. Com o objetivo de reduzir a componente subjetiva do Inspetor, desenvolveu-se um Catálogo de Patologias para todos os componentes, com especial enfoque para o componente Ancoragens, desenvolvido no tópico 4.6.

- **Catálogo de ações de manutenção e conservação**

As ações de manutenção apresentam um carácter paliativo, visando minimizar ou mitigar a evolução das patologias, prevenindo os processos de degradação das infraestruturas. Para além disso, asseguram a existência de adequadas condições de exploração rodoviária, promovendo a segurança dos utentes. Estas ações permitem, com custos relativamente moderados, a eliminação de fenómenos de degradação progressiva. Apresentam-se como ações de manutenção de taludes, a título de exemplo, a limpeza e remoção de material, desmatação, reposição de massas lubrificantes, entre outras.

As ações de conservação são de carácter curativo, visando, tanto quanto possível, a reposição do índice de qualidade inicial das estruturas. Ao contrário das ações de manutenção, as de conservação abrangem trabalhos curativos e, como tal, a sua execução requer conhecimentos técnicos aprofundados, custos relativamente superiores, sendo, por isso, realizadas com menos frequência. O Estado de Conservação será tanto mais gravoso, quanto maior for o perigo de afetação da via. No que diz respeito às ações de conservação, estas podem ser, por exemplo, reposição do órgão de drenagem, proteção da superfície erodida com aplicação de mantas contra a erosão, entre outras.

- **Manual de Procedimentos de Segurança**

Neste âmbito, a Ascendi pretende aumentar as condições de segurança dos Inspetores durante o decorrer das inspeções visuais a muros e taludes. Assim, inicialmente procede-se a uma recolha de informação, sobre alturas, inclinações, presença de banquetas, acessos, entre outros. De seguida, procede-se a uma análise das condições de segurança, através do *workflow* presente na Figura 17.

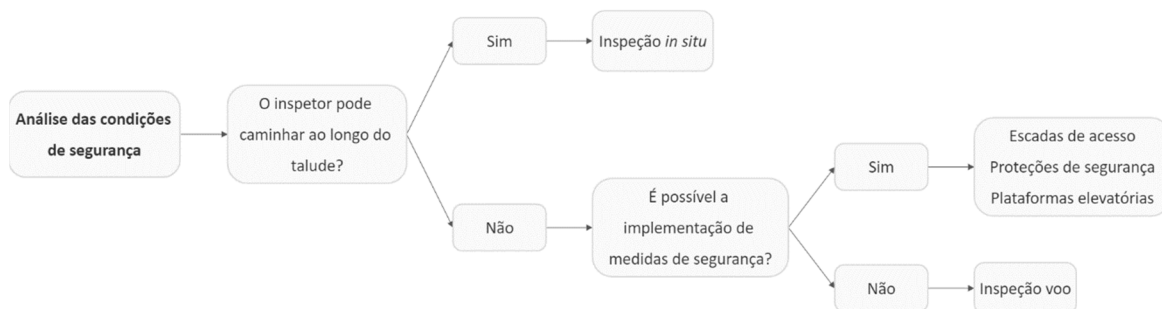


Figura 17 - *Workflow* de análise das condições de segurança (Ferreira et al., 2022).

Este manual pretende assim contribuir para a gestão preventiva das estruturas geotécnicas, uma vez que as ferramentas apresentadas contemplam, de modo uniforme, padronizado e inovador, informação útil que permite a classificação das estruturas segundo estados de conservação e de manutenção.

4.3. Método de cálculo atualmente em vigor

Na gestão preventiva das estruturas geotécnicas, a Ascendi promove a atribuição de estados de conservação e de manutenção que garantam, tanto quanto possível, uma rigorosa monitorização dos muros e taludes, com o objetivo de assegurar a sua integridade e níveis de serviço estabelecidos contratualmente. De seguida é apresentada a metodologia atualmente em vigor para o cálculo dos estados para os muros.

Inicialmente, importa salientar que um muro é constituído pelos componentes e respetivos subcomponentes indicados na Tabela 17 e Tabela 18.

Tabela 17 - Componentes e subcomponentes dos muros.

Código	Componentes	Subcomponentes
C01	Banquetas	Banqueta 1 ... Banqueta n
C02	Níveis	Nível 1 ... Nível n

Tabela 18 – Continuação dos componentes e subcomponentes dos muros.

Código	Componentes	Subcomponentes
C03	Drenagem Superficial	Valeta de Plataforma; Valeta de Bordadura; Vale de Pé de Talude; etc.
C04	Drenagem Profunda	Drenos; Drenos Sub-Horizontais; Coletor Drenante; etc.
C05	Equipamentos	Vedação; Guardas de Segurança; Barreiras Acústicas; etc.
C06	Células de Carga	CC1 ... CCn
C07	Alvos Topográficos	AT1 ... ATn
C08	Inclinómetros	IN1 ... INn
C09	Piezómetros	PZ1 ... PZn
C99	Outros Componentes	

A atribuição do estado geral do muro segue um processo iterativo, segundo o *workflow* presente na Figura 18. A abordagem assenta na atribuição de patologias ao nível do Subcomponente, subindo para o nível do componente até à estrutura. Isto é, inicialmente determina-se o estado da patologia, seguido do subcomponente, componente e, por fim, da estrutura.

Figura 18 - *Workflow* para atribuição dos estados de conservação e de manutenção.

A condição final da patologia, com a natureza de conservação, é determinada através da soma das cotações de dois parâmetros, a dimensão da patologia e o risco associado ao elemento, tal como indicado na Equação 1. As respetivas cotações encontram-se definidas na Tabela 19.

$$EC_{Patologia} = Cotação (Dimensão da patologia) + Cotação (Risco da patologia) \quad (1)$$

Por dimensão da patologia entende-se a quantificação da sua dimensão relativamente à dimensão da infraestrutura geotécnica, em percentagem (por exemplo, a existência de fissuras no maciço de proteção em betão em 2 ancoragens num muro com um total de 200 ancoragens traduz-se em

pequena, dado ser inferior a 30%). O risco da patologia define-se pela atribuição do nível de urgência de intervenção, ao qual se associa o impacto na infraestrutura, nas suas adjacentes e/ou na via (por exemplo, caso não se verifique a presença da caixa de proteção, será necessária uma intervenção de curto prazo e, por isso, está associado um risco elevado).

Tabela 19 - Representação das cotações a atribuir em função da dimensão e risco da patologia.

Dimensão da patologia	[%]	Cotação	Risco	Necessidade de intervenção	Cotação
Pequena	0 – 30	1	Nulo	N.A.	0
Média	30 – 70	2	Moderado	Médio/longo prazo	1
Grande	70 – 100	3	Elevado	Curto prazo	2

Após a determinação do Estado de Conservação de cada uma das patologias ($EC_{Patologia}$), segue-se a obtenção do Estado de Conservação do subcomponente ($EC_{Subcomponente}$). Caso se verifique apenas uma patologia, o Estado de Conservação do subcomponente é igual ao da patologia; caso existam “n patologias”, então o Estado de Conservação do subcomponente corresponde à cotação mais gravosa existente entre patologias, como se apresenta na Equação 2.

$$EC_{Subcomponente} = \begin{cases} EC_{Patologia}, & \text{caso exista apenas 1 patologia} \\ \max (EC_{Patologia}), & \text{caso existam } n \text{ patologias} \end{cases} \quad (2)$$

Dado que cada componente da estrutura é constituído por diversos subcomponentes, define-se o Estado de Conservação do componente ($EC_{Componente}$) como o Estado de Conservação do subcomponente com maior cotação, como expresso na Equação 3.

$$EC_{Componente} = \max (EC_{Subcomponente}) \quad (3)$$

Por fim, obtém-se o Estado de Conservação do muro a partir dos estados de cada um dos seus componentes, através de uma média ponderada.

$$EC_{Muro} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i \times EC_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (4)$$

Os pesos a considerar no cálculo dos estados de conservação dos muros encontram-se indicados na Tabela 20, sendo de salientar que apenas os componentes listados integram o cálculo, uma vez que apenas esses são componentes estruturais.

Tabela 20 - Pesos atribuídos a cada componente no cálculo do Estado de Conservação.

Componentes	Pesos (μ_i)
Banquetas	25%
Níveis	40%
Drenagem superficial	25%
Drenagem profunda	10%

A interpretação da cotação dos estados de conservação reflete-se no nível de urgência de reparação das patologias inspecionadas, tal como se apresenta na Tabela 21.

Tabela 21 - Estados de conservação definidos pela Ascendi.

Estado	Descrição
1 Muito Bom	Sem patologias, não é necessário efetuar qualquer reparação.
2 Bom	Terão de ser efetuados pequenos trabalhos de reparação num prazo inferior a 2 anos.
3 Médio	Terão de ser efetuados trabalhos de reparação num prazo inferior a 1 ano, com meios próprios, caso seja possível. Caso contrário, deverá proceder-se à elaboração de uma Nota Técnica e consequente Empreitada.
4 Mau	Verificar a necessidade de implementação de medidas de intervenção imediatas e promover campanhas de monitorização. Proceder à elaboração de uma Nota Técnica/Projeto para a sua reparação num prazo de 3 a 6 meses.
5 Muito Mau	Criar estado de alerta imediato. Ativar todos os mecanismos inerentes à implementação de medidas de intervenção imediatas. Monitorizar diariamente. Proceder à elaboração de uma Nota Técnica/Projeto para a sua reparação num prazo curto de 0 a 3 meses.

Relativamente ao Estado de Manutenção, este é classificado entre Bom (A) e Mau (C), em função do tipo e extensão das patologias, às quais se encontram associadas ações de manutenção necessárias para manter a funcionalidade e integridade dos componentes existentes, durante um determinado período. Estes estados permitem identificar fenómenos de degradação progressiva que, no limite, podem afetar vários componentes, contribuindo para a redução preventiva da degradação da estrutura.

O cálculo dos estados de manutenção é determinado pelo Estado de Manutenção do componente com maior cotação (mais gravosa) entre os existentes, tal como indicado na Equação 5.

$$EM_{Muro} = \max (EC_{Componente}) \quad (5)$$

A cotação do Estado de Manutenção está diretamente relacionada com a urgência da implementação de ações de manutenção, de acordo com a escala descrita na Tabela 22.

Tabela 22 - Estados de manutenção definidos pela Ascendi.

Estado		Descrição
A	Bom	Não é necessário efetuar qualquer manutenção.
B	Médio	Terão de ser efetuados os trabalhos de manutenção referidos num prazo de 12 meses.
C	Mau	Terão de ser efetuados os trabalhos de manutenção referidos num prazo de 6 meses.

Uma vez estabelecidos os estados de conservação e de manutenção para as estruturas geotécnicas, a Ascendi disponibiliza os resultados num visualizador SIG, o qual permite a identificação visual desses estados ao longo das várias concessões, por diferenciação cromática.

Como é possível analisar na Tabela 17, um dos componentes dos muros corresponde às células de carga, encontrando-se estas presentes quando existem ancoragens instaladas. No entanto, este componente não é estrutural, significando que não é considerado para os cálculos dos estados. De acordo com as referências bibliográficas, as ancoragens correspondem a um dos elementos mais fundamentais de uma estrutura, representando um importante papel na sua estabilidade. Se estivermos perante um cenário em que as ancoragens se encontram a perder a carga de serviço, acompanhado do aparecimento de fissuras no topo do muro, podemos estar perante uma situação de rotura global. Com base nestes possíveis fatores, a Ascendi sentiu a necessidade de atualizar a metodologia utilizada até ao momento, de modo a incorporar um novo componente estrutural “Ancoragens”, que entre para o cálculo dos estados e permita retirar conclusões mais completas e ajustadas ao estado geral do muro.

4.4. Definição do cadastro de muros ancorados

No âmbito da melhoria da metodologia para atribuição dos estados de conservação e de manutenção a muros, identificou-se a necessidade de cadastrar as ancoragens, através da atribuição de uma matrícula. Esta resulta da conjugação dos códigos atribuídos a cada elemento relativo ao muro, identificado na Figura 19 e descrito na Tabela 23.

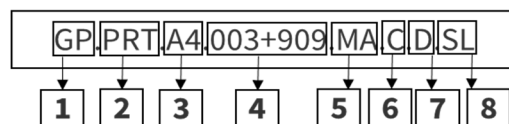


Figura 19 - Matrícula de identificação de muros.

Tabela 23 - Descrição dos elementos constituintes da matrícula de um muro.

Código	Descrição
1	Designação da Concessão ou Subconcessão.
2	Distrito onde se localiza o Muro.
3	Designação da Auto-Estrada onde se encontra inserido.
4	Ponto Quilométrico (pK) relativo à via em que se insere e ao início do Muro.
5	Tipo de Muro: Muro de Aterro (MA) ou Muro de Escavação (ME).
6	Sentido da Via em que o Muro se localiza: Crescente (C) ou Decrescente (D).
7	Lado da Via em que o Muro se localiza, relativamente ao sentido: Direito (D) ou Esquerdo (E).
8	Localização do Muro: Plena Via (SL) ou Ramo (N4.RF – Número do Nó e Ramo/Ligação).

O inventário dos muros mantém-se atualizado através das inspeções realizadas e da posterior validação da equipa.

Tendo em consideração que o principal objetivo de atualização da metodologia em vigor diz respeito à consideração das ancoragens como um elemento fundamental da estrutura, o processo inicia pela definição de um novo componente do muro, denominado por “Ancoragens”. Este apresenta o código C10, seguindo a sequência previamente estabelecida. No seu registo, apenas é necessário indicar se o componente é ou não estrutural. Como referido anteriormente, a finalidade é que este novo elemento seja considerado para os cálculos dos estados, pelo que foi identificado como um novo componente estrutural.

Uma vez definido o componente, prossegue-se para a definição dos seus subcomponentes. À semelhança do efetuado para os componentes “Banquetas” e “Níveis” (Tabela 17), os subcomponentes correspondem a uma numeração dos elementos constituintes. Isto é, se um muro apresentar dois níveis, então os subcomponentes do componente “Níveis” correspondem a “Nível 1” e “Nível 2”. Inicialmente, foi seguido o mesmo raciocínio para as ancoragens. Deste modo, os seus subcomponentes seriam o resultado da contabilização total das ancoragens pertencentes à estrutura.

De acordo com este pensamento inicial, foi produzido o cadastro de cada ancoragem, tendo por base os seguintes critérios:

-
- **Localização** – As ancoragens encontram-se situadas e distribuídas pelos diversos níveis constituintes do muro. Uma ancoragem situada no 1º nível apresentaria a sigla “A1” e uma no 2º nível “A2”. Por sua vez, dentro de cada nível, estas seguem um determinado alinhamento horizontal. Assim, as ancoragens do 1º nível, situadas no 1º alinhamento são cadastradas como “A1.1”; as ancoragens do 1º nível no 2º alinhamento como “A1.2”; as ancoragens do 2º nível do 1º alinhamento como “A2.1”, e assim sucessivamente.
 - **Numeração** – O cadastro dos elementos é efetuado sempre no sentido crescente dos pontos quilométricos (pK). Logo, a ancoragem com um pK inferior será o início da numeração.
 - **Referência** – O cadastro da ancoragem corresponde à junção dos dois pontos anteriores. Primeiramente a localização e, de seguida, a numeração sequencial das ancoragens. Por exemplo, a primeira ancoragem situada no 1º nível e 1º alinhamento horizontal, apresenta a sigla “A1.1.1”, seguida da “A1.1.2”, e assim sucessivamente.

Para as ancoragens que se encontram instrumentadas com células de carga, acrescenta-se no final da sigla a sua numeração “_CCn”.

Para uma melhor compreensão visual, executou-se o cadastro de um muro ancorado a título de exemplo, identificado na Figura 20 e Figura 21. Este apresenta dois níveis, sendo que o primeiro dispõe de três alinhamentos horizontais e o segundo de quatro alinhamentos. Para além disso, contém seis células de carga instaladas.

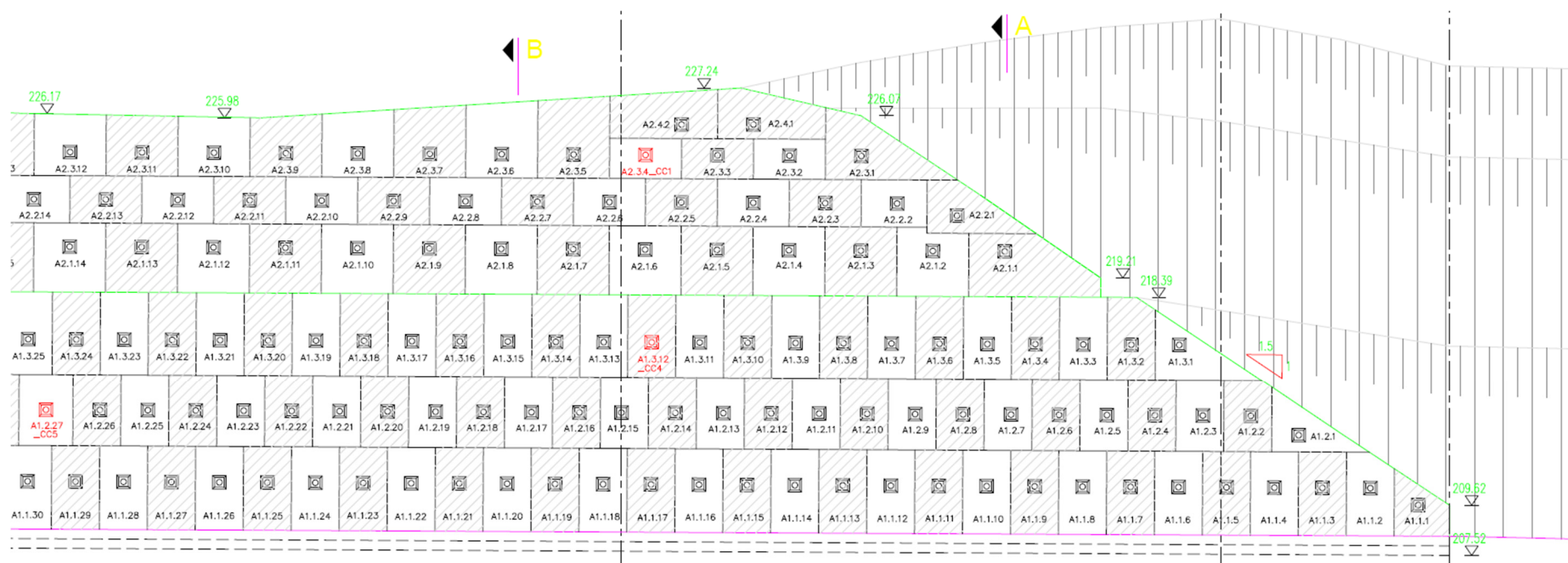


Figura 20 - Alçado em projeto de um muro ancorado, com cadastro das ancoragens.

Como se verifica pela Figura 20 e Figura 21, este muro ancorado apresenta um grande número de ancoragens, perfazendo um total de 246. Para além deste, a Ascendi tem muros com um número variável de ancoragens instaladas, inferior e superior a esta estrutura apresentada a título de exemplo. Perspetivando que, no futuro, as ancoragens sejam avaliadas no decorrer das inspeções aos muros, torna-se impraticável o seu cadastro do modo anteriormente apresentado. Caso este fosse selecionado, todas as ancoragens teriam de ser inspecionadas individualmente, o que acarretaria um maior tempo disponibilizado para a realização dos trabalhos, com consequente diminuição do rendimento. No local, o Inspetor teria de adicionar uma patologia a cada ancoragem; caso esta não apresentasse patologias, então este teria de atribuir como componente em conformidade, procedendo à captura de uma fotografia representativa da patologia. Realizar este processo 246 vezes não seria eficaz. A esta desvantagem é adicionada a sobrecarga da plataforma a nível do cadastro de todas as ancoragens, exigindo um elevado esforço por parte do gestor.

Com o objetivo de otimizar o processo, efetuou-se uma nova proposta de cadastro. Nesta, as ancoragens seriam agrupadas pelos seus respetivos alinhamentos. Assim sendo, o Inspetor apenas necessitaria de, para o exemplo identificado, inspecionar sete alinhamentos, de um modo geral e não em específico. Para cadastro, estes foram numerados no sentido ascendente, isto é, desde a base até ao topo do muro; para além disso, os alinhamentos são segmentados pelos diferentes níveis constituintes da estrutura. É garantido que todas as ancoragens pertencentes ao mesmo alinhamento apresentam os mesmos atributos dinâmicos.

Cada subcomponente é caracterizado por um conjunto de atributos dinâmicos, que correspondem às informações mais pertinentes acerca do elemento em questão. Estes são baseados inicialmente nas telas finais do projeto de execução da obra e, posteriormente, validados pela equipa após modificações detetadas no local.

Como existem ancoragens instrumentadas, as quais são alvo de possíveis inspeções complementares, são cadastradas como elementos individuais, para que seja possível adicionar patologias específicas. Posto isto, a proposta de cadastro a adotar, seria constituída pelos seguintes critérios:

- Tipo (Alinhamento ou CC);
- pK inicial;
- Localização (identificação do nível onde se encontra).

Para o exemplo, o cadastro iria englobar 7 alinhamentos horizontais e 6 células de carga individuais, com as respectivas referências:

- Alinhamento 1 – pK 039+265 – Nível 1;
- Alinhamento n – pK – Nível n;
- CC1 – pK 039+298 – Nível 2;
- CCn – pK – Nível n.

Para os alinhamentos horizontais de ancoragens e células de carga, os atributos dinâmicos considerados fundamentais são os mesmos, sendo esses:

- | | |
|--------------------------------|---------------------------|
| • Tipo; | • Inclinação; |
| • Localização; | • Espaçamento horizontal; |
| • Quantidade de ancoragens; | • Espaçamento vertical; |
| • Carga de serviço de projeto; | • pK inicial; |
| • Comprimento livre; | • pK final; |
| • Comprimento de selagem; | • Extensão. |

Após o preenchimento de todos os atributos dinâmicos, o componente encontra-se finalizado e disponível para ser enviado para inspeção.

4.5. Atribuição de pesos na metodologia

Tendo em vista a consideração de um novo componente estrutural interveniente no cálculo dos estados dos muros, é necessário proceder-se a uma nova atribuição de pesos a cada componente. Atualmente, os pesos seguem a distribuição apresentada na Tabela 20. Com a introdução do novo componente “Ancoragens”, estes sofrem algumas alterações. Para este processo, teve-se em consideração as metodologias apresentadas no estado de arte, bem como o conhecimento técnico e científico da equipa de muros e taludes. Numa fase inicial, o processo envolveu apenas a remoção de uma determinada percentagem a um componente, transferindo-a diretamente para as ancoragens.

Para a seleção do componente a intervencionar, analisaram-se os relatórios de histórico dos muros ancorados, tendo-se verificado que as patologias associadas a ancoragens se encontravam listadas e registadas no componente “Níveis”. Este facto é compreensível, uma vez que as ancoragens são

elementos presentes nos paramentos dos muros, até à data sem componente próprio. Dada a sua criação, torna-se lógica a remoção de percentagem aos níveis, visto que as patologias deste componente a registar no futuro serão inferiores, devido à passagem para as ancoragens.

Posto isto, a atribuição de pesos de acordo com esta primeira alteração, denominada Hipótese 0, encontra-se na Tabela 24.

Tabela 24 - Primeira atribuição de pesos – Hipótese 0.

Componente	Peso (μ_i)
Banquetas	25%
Níveis	30%
Drenagem superficial	25%
Drenagem profunda	10%
Ancoragens	10%

Assim, verifica-se que foram retirados 10% aos níveis, sendo estes transferidos diretamente para as ancoragens. No entanto, importa salientar que esta metodologia será aplicada a todos os muros, e não apenas aos muros ancorados. Neste sentido, existe a possibilidade de um muro apenas ser constituído por níveis, banquetas e drenagem superficial, entre várias outras hipóteses. Para as situações em que existam componentes inexistentes, deve-se proceder a uma redistribuição dos pesos, de modo que a totalidade dos componentes existentes seja sempre 100%.

Esta redistribuição foi efetuada de igual modo para todos os componentes. Ou seja, se estivermos perante um muro com um nível, drenagem superficial, drenagem profunda e ancoragens, verificamos a inexistência de banquetas. Neste caso, os 25% relativos às banquetas são redistribuídos pelos restantes 4 componentes, proporcionando um aumento de 6% a cada peso inicial. Em algumas situações, é necessário proceder a um pequeno ajuste, de modo que a totalidade atinja sempre 100%. Para tal, foi seguido um critério que define a sequência para possibilidade de ajuste, quer este seja de aumento ou redução. Assim, caso seja necessário retirar percentagem, a sequência deve iniciar pela drenagem profunda, ancoragens, banquetas e, por fim, drenagem superficial. Caso a percentagem total não atinja os 100%, então deve ser realizado o ajuste de aumento no componente níveis.

Após efetuada a primeira proposta de atribuição dos pesos, procedeu-se a uma análise crítica das percentagens de cada componente. Numa inspeção visual, não é possível inspecionar os elementos por completo da drenagem profunda uma vez que, como o próprio nome indica, não se encontram visíveis.

Posto isto, considerou-se que as ancoragens deveriam apresentar uma percentagem diferente e superior do que a atribuída à drenagem profunda. Para esta segunda proposta, procurou-se adotar o mesmo critério aplicado aos componentes dos taludes, para que estes fiquem em concordância e não existam diferenças significativas entre as duas estruturas.

Assim, componentes iguais apresentam pesos iguais. A atribuição de pesos de acordo com a segunda alteração, designada por Hipótese 1, encontra-se na Tabela 25.

Tabela 25 - Segunda atribuição de pesos – Hipótese 1.

Componente	Peso (μ_i)
Banquetas	15%
Níveis	35%
Drenagem superficial	25%
Drenagem profunda	10%
Ancoragens	15%

Uma vez realizada a segunda proposta de atribuição dos pesos, procedeu-se, novamente, a uma análise crítica das percentagens de cada componente. Nesta última análise, teve-se em consideração a atribuição dos pesos às banquetas e níveis. Tendo por base as patologias identificadas em histórico para os muros, sentiu-se a necessidade de aumentar 5% às banquetas, uma vez que estas podem apresentar patologias muito significativas e que permitam a identificação prévia de situações de rotura, como é o caso de fendas de tração, fissuração, abatimentos, entre outras.

Relativamente aos níveis, estes também são componentes fundamentais numa estrutura, mantendo-se como o componente com maior peso, embora a consequente diminuição de 5%, dada a possibilidade de aparecimento de fissuras, embarrigamento, depressão, entre outras. No entanto, esta diminuição está relacionada com a diminuição do catálogo de patologias associado, tendo em vista a transferência de algumas dessas patologias para as ancoragens.

Neste sentido, segundo esta terceira alteração (designada como Hipótese 2), com mudanças pouco significativas face à hipótese anterior, a atribuição de pesos será a indicada na Tabela 26.

Tabela 26 - Terceira atribuição de pesos – Hipótese 2.

Componente	Peso (μ_i)
Banquetas	20%
Níveis	30%
Drenagem superficial	25%
Drenagem profunda	10%
Ancoragens	15%

Comparando as três propostas, verifica-se que, de um modo geral, as mudanças na atribuição de pesos não foram muito significativas. Denota-se que ambos os componentes relacionados com a drenagem não sofreram alterações. Relativamente à drenagem profunda, como referido anteriormente, tendo em conta que este se encontra oculto, o seu peso manteve-se no valor mínimo de 10%. No que diz respeito à drenagem superficial, esta também não sofreu perdas ou ganhos, uma vez que se considera um elemento fundamental na estrutura. Caso a drenagem não se encontre em conformidade, a probabilidade de ocasionar patologias nos restantes elementos aumenta; neste sentido, procura-se que este seja um componente com bastante significância no cálculo dos estados.

Para além disso, foi equacionado o aumento do peso atribuído às ancoragens, para um valor superior a 15%. Na maioria das situações, não serão realizados ensaios complementares, como é o caso da endoscopia; apenas será efetuada uma inspeção visual aos maciços de proteção em betão e caixas de proteção das ancoragens instrumentadas. Neste sentido, se o peso das ancoragens fosse mais elevado, poderia estar a camuflar outras patologias mais facilmente detetáveis nos restantes componentes, que possam indicar outras anomalias relevantes e, consequentemente, apontar para a rotura do muro. Posto isto, como se trata de um elemento que na sua maioria se encontra oculto, e que apenas será alvo de inspeções complementares caso existam outras patologias relevantes ou leituras anómalas das células de carga, foi decidido manter o peso de 15%. Visivelmente, os níveis serão um dos primeiros componentes a evidenciar problemas, caso existam situações de instabilidade da estrutura. Assim, decidiu manter-se como sendo o componente com maior peso e influência.

Após discussão e pensamento crítico, optou-se por manter os dois últimos cenários de atribuição dos pesos aos componentes (Hipótese 1 e Hipótese 2), até à sua aplicação nos casos de estudo. Nestes, prevê-se a aplicação das duas distribuições, de modo a ser possível selecionar a que mais se adequa ao contexto Ascendi, de acordo com os resultados obtidos para os estados dos muros.

De salientar que, em qualquer momento, a Ascendi, com a aplicação desta nova proposta de distribuição de pesos e com o aumento da experiência, pode proceder a um novo ajuste e calibração, pelo que o processo de atribuição de pesos não é fechado.

4.6. Elaboração do catálogo de patologias com a respetiva tipificação

É através da inspeção visual que são avaliadas as estruturas geotécnicas, sendo este trabalho realizado por Prestadores Externos.

Para diminuir os erros e a subjetividade do Inspetor, a Ascendi apresenta um catálogo de patologias, elaborado para cada componente da estrutura. Uma vez que até à data não existia o componente “Ancoragens”, as suas patologias eram associadas aos níveis e às células de carga.

Com o desenvolvimento do novo componente, surgiu a necessidade de reestruturar o catálogo previamente existente. Neste sentido, com base na pesquisa e referências bibliográficas, foram identificadas um conjunto de patologias associadas a ancoragens, que permitiam a otimização e melhoria do mesmo. Tendo por base as patologias apresentadas no tópico 2.3.3, foi proposto o novo catálogo de patologias relativo às ancoragens. Procurou-se que estas fossem devidamente exemplificadas com registos fotográficos, de modo a ser mais fácil o reconhecimento pelo Inspetor no local. Para além disso, as patologias foram tipificadas, isto é, para cada patologia, foi identificada a sua contribuição para o cálculo do Estado de Conservação e/ou Manutenção. As patologias classificadas como estruturais, são consideradas no cálculo do Estado de Conservação. Estas patologias afetam a integridade da estrutura, comprometendo-a. Aquelas que podem ser solucionadas através de ações de manutenção, como reposição do composto anticorrosivo, limpeza, desmatação, entre outras, são identificadas como patologias de manutenção, entrando apenas no cálculo deste estado.

Assim, na Tabela 27, Tabela 28, Tabela 29, Tabela 30 e Tabela 31 encontra-se a proposta do novo catálogo de patologias associado às ancoragens.

Tabela 27 - Proposta de catálogo de patologias associadas a ancoragens.

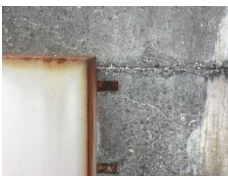
Patologia	E.C.	E.M.	Descrição	Figuras
Caixa de Proteção - Vidro danificado	Não	Sim	Vidro da caixa de proteção danificado/partido.	
Caixa de Proteção - Vidro inexistente	Não	Sim	Vidro da caixa de proteção inexistente.	
Caixa de Proteção - Vidro com humidade	Não	Sim	Presença de humidade no vidro da caixa de proteção, a qual dificulta ou impede a leitura do manómetro.	
Caixa de Proteção - Presença de vegetação	Não	Sim	Presença de vegetação no interior da caixa de proteção ou na sua periferia.	
Caixa de Proteção - Proteção danificada/deformada	Não	Sim	Caixa de proteção com danos, amolgada/deformada.	
Caixa de Proteção - Inexistente	Não	Sim	Caixa de proteção inexistente.	
Caixa de Proteção - Não abre	Não	Sim	Impossibilidade de remoção da caixa de proteção na totalidade para inspeção da cabeça da ancoragem e/ou execução de ensaios complementares.	
Caixa de Proteção - Corrosão	Não	Sim	Caixa de proteção com corrosão ou manchas de corrosão, quer na estrutura como nas fixações.	

Tabela 28 - Continuação da proposta de catálogo de patologias associadas a ancoragens.

Patologia	E.C.	E.M.	Descrição	Figuras
Caixa de Proteção - Manómetro inexistente/danificado	Não	Sim	Manómetro inexistente ou danificado.	
Deterioração/Insuficiência do vedante da junta entre a caixa de proteção e a estrutura	Não	Sim	Deterioração, destacamento e insuficiência do vedante, provocando o aparecimento de aberturas entre a caixa de proteção e a estrutura.	
Placa de distribuição - Corrosão superficial	Não	Sim	Corrosão pouco significativa, ou apenas em alguns locais.	
Placa de distribuição - Corrosão avançada	Não	Sim	Nível de corrosão mais elevado, com aparecimento de aberturas na placa.	
Fissuração do maciço de proteção em betão	Não	Sim	Presença de fissuras no maciço de proteção em betão, sem afetação da estrutura envolvente.	
Fissuração do maciço de proteção em betão e exposição da armadura	Sim	Sim	Presença de fissuras no maciço de proteção em betão, com perda de blocos e da integridade do maciço, com consequente exposição da armadura.	
Deterioração do maciço de proteção em betão	Não	Sim	Superfície irregular, com perda de blocos.	
Desagregação do maciço de proteção em betão	Não	Sim	Libertação dos agregados após a perda progressiva da união conferida pelo cimento. O fenómeno inicia-se à superfície, com mudança na coloração, seguida de aumento na largura das fissuras que vão surgindo.	

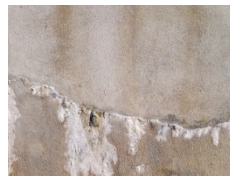
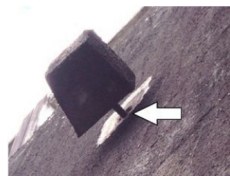
Tabela 29 - Continuação da proposta de catálogo de patologias associadas a ancoragens.

Patologia	E.C.	E.M.	Descrição	Figuras
Cabeça da ancoragem - Corrosão superficial	Não	Sim	Corrosão pouco significativa, superficial, ou em apenas alguns locais.	
Cabeça da ancoragem - Corrosão avançada	Sim	Sim	Nível de corrosão mais elevado, com possibilidade de perda de integridade, e que poderá comprometer a estrutura.	
Deterioração/Insuficiência do composto anticorrosivo	Não	Sim	Quantidade insuficiente, ou inexistente, do composto anticorrosivo na cabeça da ancoragem.	
Deterioração/Insuficiência de calda	Sim	Não	Deterioração da calda de injeção, com consequente acumulação de porções desintegradas, promovendo a sua insuficiência.	
Armadura/Cordões expostos	Sim	Não	A armadura encontra-se exposta, sem proteção contra a corrosão (bainha).	
Desfasamento das extremidades dos cordões	Sim	Não	Verifica-se um desnivelamento dos cordões, com a presença de cordões salientes ou recolhidos.	
Desentrançamento dos fios dos cordões	Sim	Não	Desentrançamento e destacamento dos fios dos cordões, observáveis com recurso ao ensaio de endoscopia.	
Cordões - Rotura	Sim	Não	Rotura dos cordões, com perda de integridade da armadura.	

Tabela 30 - Continuação da proposta de catálogo de patologias associadas a ancoragens.

Patologia	E.C.	E.M.	Descrição	Figuras
Cordões - Corrosão superficial	Sim	Não	Corrosão superficial, pouco significativa, ou em apenas alguns locais.	
Cordões - Corrosão avançada	Sim	Não	Nível de corrosão mais elevado e que poderá provocar a rotura dos cordões e comprometer a estrutura.	
Presença de água	Sim	Não	Presença de água no interior do furo, com indicação de manchas nos cordões.	
Escorrência do composto anticorrosivo	Não	Sim	Escorrência do composto anticorrosivo, na estrutura, na parte inferior da caixa de proteção da ancoragem.	
Escorrência de óxido de ferro ou água	Não	Sim	Escorrência de óxido de ferro ou água, na estrutura, na parte inferior da caixa de proteção da ancoragem.	
Rotura e projeção do cordão	Sim	Não	Projeção do cordão da ancoragem, com destruição do maciço de proteção em betão, devido a rotura interna.	
Rotação da cabeça da ancoragem	Sim	Não	Rotação da cabeça da ancoragem, em relação ao seu eixo normal de construção.	
Subsidência do maciço de proteção em betão	Sim	Não	Deslocamento do maciço de proteção de betão, devido a derrube da estrutura envolvente.	

Tabela 31 - Continuação da proposta de catálogo de patologias associadas a ancoragens.

Patologia	E.C.	E.M.	Descrição	Figuras
Eflorescência	Não	Sim	Deposição, à superfície, de sais dissolvidos de cor branca, pela percolação de água no interior do betão da caixa de proteção da ancoragem.	
Projeção da caixa de proteção	Sim	Não	Projeção e elevação da caixa de proteção face ao muro, devido a rotura da armadura.	
Elevação da placa de distribuição (lifting)	Sim	Não	Desprendimento da placa de distribuição da estrutura, apresentando um movimento de elevação face ao muro.	
Inexistência de isolamento dos cabos da ancoragem	Sim	Não	Os cabos da ancoragem não se encontram isolados do terreno, uma vez que a resistência é inferior ao definido na norma.	
Falta de integridade da calda	Sim	Não	Falta de integridade e continuidade da calda de injeção, com presença de vazios no seu comprimento.	
Componente em conformidade	Sim	Sim	Componente sem registo de patologias.	
Outros	Sim	Sim	Outra patologia que não seja compatível com as apresentadas neste catálogo, sendo obrigatório descrever a patologia identificada no campo “observações”.	

As patologias podem ser agrupadas, de acordo com a sua aplicação. Inicialmente foram identificadas patologias associadas às caixas de proteção plásticas, pvc, metal, entre outros compostos. De seguida, seguem-se as que se encontram associadas aos maciços de proteção em betão. Posteriormente, apresentam-se as patologias identificadas com recurso a ensaios complementares e na zona exposta da cabeça da ancoragem. Por fim, lista-se um conjunto de patologias diversas. Algumas das patologias foram transitadas das células de carga, uma vez que com a criação do novo componente, este também abrange a sua inspeção.

Existem patologias que foram criadas e que apenas podem ser observadas com recurso à execução de ensaios complementares, como é o caso do ensaio de endoscopia. Com a sua aplicação, é possível identificar patologias como a insuficiência de calda, o desentrançamento dos fios dos cordões e a sua rotura. Do ensaio de resistência elétrica, pode resultar a inexistência de isolamento dos cabos da ancoragem. Do ensaio com ultrassons, resulta a patologia associada à falta de integridade da calda de injeção, com presença de vazios no comprimento inspecionado, permitindo aferir o comprimento de selagem no último metro de extensão, abrangido pela execução do ensaio.

Segundo a Japan Anchor Association (2015), também as variações de carga são consideradas uma patologia relativa a ancoragens. No entanto, no contexto Ascendi, as leituras de monitorização encontram-se inseridas num projeto de instrumentação, a ser desenvolvido em paralelo. Deste modo, as variações de carga não entram, atualmente, para o cálculo dos estados das estruturas geotécnicas, uma vez que são aprofundados nesse projeto, ao qual são também integrados os níveis de alerta e de alarme, com o objetivo de acompanhar a evolução da tensão de serviço. As campanhas de leitura de instrumentação e monitorização não são realizadas em simultâneo com as inspeções visuais, não sendo efetuadas pelo mesmo Inspetor ou Entidade, e na mesma data. São campanhas de inspeções realizadas em separado, mas que apresentam uma complementaridade de informações e resultados. Em conjunto, permitem a análise global e completa da estrutura geotécnica, a nível das leituras dos instrumentos de monitorização e patologias visuais detetáveis.

(página propositadamente em branco)

Capítulo V

Casos de estudo

(página propositadamente em branco)

5. Casos de estudo

5.1. Muro ancorado M02 – pK 039+265

5.1.1. Enquadramento geográfico

Com a finalidade de validar a proposta de metodologia a adotar pela Ascendi, foi decidido aplicá-la num primeiro caso de estudo. A seleção do muro ancorado objeto de estudo, teve em consideração a presença de patologias e o comportamento das estruturas durante o período de O&M, as quais demonstrassem particularidades e especificidades interessantes para este estudo académico. Tendo por base estes critérios, foi selecionado o muro da autoestrada A7, ao pK 039+265, que já tem sido acompanhado, uma vez que 4 das 6 células de carga instaladas se encontram acima do nível de alarme definido. Em particular, uma delas já não apresenta carga instalada (0 kN).

O muro em questão, denominado em projeto por Muro M02, situa-se na Concessão Norte, na autoestrada A7, Guimarães-Fafe, no sublanço Selho-Guimarães Sul, tendo sido construído em 2005. Apresenta a matrícula CN.BRG.A7.039+265.ME.C.D.SL, significando que este é um muro em escavação, no sentido crescente e do lado direito da autoestrada, entre o pK 039+265 e pK 039+388. Foi projetado e dimensionado pela NORVIA. Na Figura 22 encontra-se uma perspetiva do muro ancorado objeto do caso de estudo.



Figura 22 - Perspetiva do muro ancorado M02.

No tardo do muro localizam-se algumas indústrias, em particular a empresa Etigui – Etiquetas de Guimarães, Unipessoal Lda., e o Colégio Arautos do Evangelho, como indicado na Figura 23. Na visita ao local constatou-se que a Ascendi não tem acesso ao tardo do muro, encontrando-se este vedado logo após o paramento.



Figura 23 - Fotografia aérea do muro M02 (Ascendi, 2021).

5.1.2. Caracterização geométrica e estrutural

Esta estrutura é constituída por um muro em betão armado, com 0,40 m de espessura, construído por troços de cima para baixo (acompanhando o desenvolvimento da escavação) e fixo ao terreno com ancoragens definitivas. Dado o desnível existente no terreno, foi necessário dividir o muro em dois níveis, separados por uma banquetta de 2 m, resultando assim em dois níveis de 10 m, perfazendo um total de 20 m. Dado que a distância, em planta, entre a autoestrada e o limite de expropriação era reduzida na zona central do muro, este apresenta inclinações de 1/3 no primeiro nível e inclinações variáveis entre 1/3 e 1/6, no segundo nível.

No primeiro nível, verificam-se três alinhamentos horizontais de ancoragens, separados por 3 m. O afastamento horizontal das ancoragens é de 2 m. No segundo nível também foram adotados três alinhamentos de ancoragens na maior parte do muro, com exceção da zona mais alta, onde se adotaram quatro alinhamentos. Estes encontram-se afastados de 2 m na vertical, com um espaçamento de 3 m na horizontal. As ancoragens presentes são definitivas e pré-esforçadas, com uma tensão de serviço de 600 kN. Cada uma apresenta uma secção mínima de 3,2 cm², com o eixo perpendicular ao plano do muro. O comprimento livre é de 21 m, nas ancoragens do nível superior do muro e 15 m no nível inferior. Os comprimentos dos bolbos de selagem são de 6 m para a totalidade do muro. No global, são contabilizadas 244 ancoragens.

Na Figura 24 apresenta-se o perfil transversal do muro na zona central, a qual dispõe de três alinhamentos horizontais para ambos os níveis.

5.1.3. Caracterização geológico-geotécnica

No âmbito da construção do muro, foram realizados trabalhos de prospeção geotécnica no local, os quais envolveram a execução de duas sondagens à rotação, com execução de ensaios SPT. Tendo em consideração toda a informação recolhida, conclui-se que o local é caracterizado por um maciço granítico de idade Hercínia, muito alterado a decomposto (W_{4-5}), com afloramentos ou níveis/blocos rochosos (“bolas”) resultantes de uma alteração esferoidal, característica de maciços graníticos muito alterados. As formações intersetadas incluem-se na formação “Granito de Guimarães”.

À superfície, observa-se frequentemente um horizonte pouco espesso (1-2 m), do tipo coluvionar, que se apresenta bastante descomprimido. Subjacente a este nível, quando existente, deteta-se um maciço terroso, constituído por saibros graníticos com compacidade média a densa (N_{SPT} entre 20-37). Este apresenta uma possança entre 7 e 10 m. Abaixo do referido, observa-se um maciço rochoso muito compacto, onde se obtêm 60 pancadas do ensaio SPT, sem que se tenha atingido a profundidade total do ensaio, isto é, 45 cm. Neste, intercetam-se níveis/blocos de rocha, eventualmente “bolas”, sem continuidade lateral e com um grau de fraturação de F_3 a F_{4-5} e um grau de alteração W_3 . Nestes níveis rochosos obtiveram-se percentagens de recuperação entre 60-90% e valores de percentagem RQD de 45-50%.

No que diz respeito às condições hidrogeológicas, o nível freático foi intercetado entre 11-16 m de profundidade.

5.1.4. Plano de instrumentação e monitorização

Considera-se de primordial importância proceder à instrumentação do muro ancorado, de modo a detetar o mais rapidamente possível indícios de instabilidade. Neste sentido, o plano de instrumentação desenvolvido em fase de projeto, contempla a instalação dos seguintes equipamentos:

- 3 Inclínómetros/piezómetros

Este equipamento permite conhecer os deslocamentos horizontais internos que resultam da construção e exploração da obra, bem como avaliar as variações de posição do nível freático.

- 10 Marcas de observação topográfica

Estas marcas permitem avaliar os deslocamentos superficiais do muro durante a construção e exploração.

- 6 Células de carga

Estas células, as quais foram implementadas no final da construção, permitem conhecer o período de exploração da obra e variações nos valores do pré-esforço instalado, permitindo perceber e conhecer a evolução da carga.

Na Figura 25 encontra-se a planta de instrumentação aplicada ao caso em estudo.

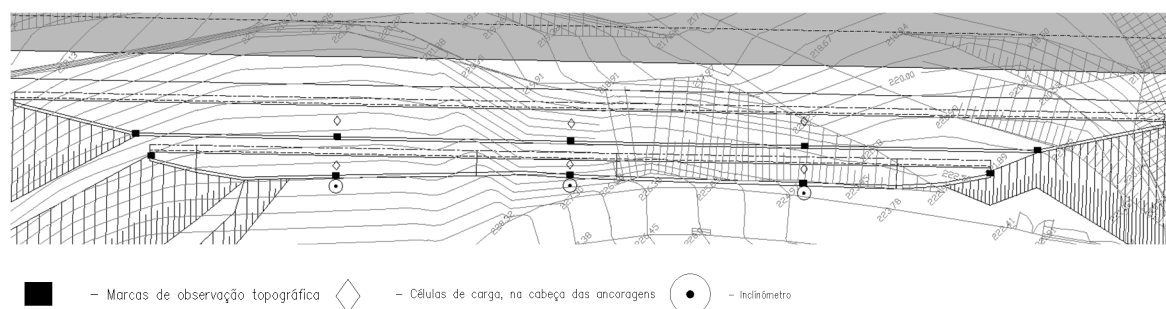


Figura 25 - Planta de instrumentação do muro M02 (Ascendi, 2006).

É fundamental referir que este plano de instrumentação não foi totalmente implementado. Como mencionado anteriormente, na fase de projeto foi prevista a aplicação de 10 marcas topográficas; no entanto, apenas são apresentadas leituras relativas à fase de construção. Assim, admite-se que a colocação dos alvos topográficos apenas foi preconizada nas fases de projeto e construção, uma vez que em todos os relatórios de inspeções subsequentes não consta nenhuma leitura. Para além disso, como indicado na Figura 25, a posição definida para os inclinómetros foi o topo do muro e banquetas, tendo sido, na realidade, instalados apenas na banquetas, entre o primeiro e segundo nível.

O plano de monitorização e frequência de leituras encontra-se descrito na Tabela 32.

Tabela 32 - Frequência de monitorização para o muro M02.

Fase		Frequência
Construção		Semanal
	Primeiro mês após conclusão da obra	Quinzenal
Pós-Construção	Após entrada em serviço e durante 6 meses	Mensal
	Após conclusão da obra	Anual

5.1.5. Histórico de inspeções

No âmbito do processo de O&M de estruturas geotécnicas, a Ascendi preconiza, anualmente, campanhas de inspeções visuais a todos os componentes dos muros.

Para o muro em questão, foram efetuadas inspeções completas nos anos de 2020, 2021 e início de 2023. Em todas estas inspeções, não foi retirada a caixa de proteção das ancoragens instrumentadas, facto que impossibilitou a inspeção visual da cabeça das ancoragens; apenas foram registadas patologias visuais e externas. Para além disso, foram realizadas campanhas de leitura anuais da instrumentação. Relativamente às células de carga, as suas leituras encontram-se disponíveis na Tabela 33, para o período de 2010 a 2023, acompanhadas da temperatura registada no momento de leitura. De salientar que a carga de serviço das 6 ancoragens instrumentadas é de 600 kN.

Tabela 33 - Valores de histórico das leituras das células de carga para o muro M02.

Data	Temp. (°C)	Carga (kN)					
		CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6
15/12/2010	--	580	610	690	--	--	680
11/07/2012	--	600	640	600	--	--	665
04/12/2013	14,00	--	510	600	450	280	590
07/10/2014	23,00	--	500	525	430	310	600
20/05/2015	18,00	--	--	325	400	295	600
05/06/2015	24,00	120	550	--	--	--	--
28/10/2015	17,00	--	--	330	400	280	590
02/11/2015	18,00	110	520	--	--	--	--
12/05/2016	11,00	--	--	300	350	180	590
18/05/2016	12,00	110	540	--	--	--	--
02/11/2016	14,00	100	525	--	--	--	--
13/12/2016	10,00	--	--	290	350	160	590
18/05/2017	11,00	--	--	310	310	180	605
24/05/2017	26,00	130	545	--	--	--	--
18/07/2018	20,00	--	--	295	320	115	610
08/08/2018	18,00	0	545	--	--	--	--
12/06/2019	16,00	--	--	210	320	115	610
03/07/2019	18,00	0	550	--	--	--	--
19/11/2020	16,00	0	530	200	300	110	600
15/07/2021	23,00	0	550	210	290	130	620
10/02/2023	9,00	0	520	120	150	100	600

Através da análise da Tabela 33, é possível observar que 4 das 6 células de carga apresentam valores muito inferiores à carga de serviço, encontrando-se para além do nível de alarme definido no tópico 2.3.5. A CC1 apresenta carga nula desde 2018, tendo-se assim mantido até ao momento. A CC3 apresentava inicialmente uma carga dentro dos limites estáveis, tendo depois sofrido uma diminuição abrupta até ao valor de 120 kN, em 2023. A CC4 apresenta leituras iniciais já no nível de

alerta, tendo depois evoluído e ultrapassado o nível de alarme. A CC5 desde sempre apresentou valores relativamente baixos, constantemente para além do nível de alarme.

Por fim, a CC2 e CC6 têm-se mantido relativamente estáveis, com pequenas descidas de carga, embora ainda não significativas. A variação de carga encontra-se representada no Gráfico 4.

Tal como referido anteriormente, é fundamental que a instrumentação de uma estrutura seja analisada e interpretada como um todo. Assim, é necessário cruzar as leituras obtidas das células de carga com os restantes instrumentos de monitorização; no caso, os inclinómetros/piezómetros. Relativamente aos valores registados nas suas leituras, não foram detetados deslocamentos acumulados significativos, isto é, todos os valores se encontram dentro dos limites definidos como estáveis, tendo sido registados, para os deslocamentos Δx (perpendiculares ao muro), entre -2 mm e 0,9 mm. Os deslocamentos positivos dizem respeito a movimentos no sentido da via.

Recordando que a construção do muro M02 remonta ao ano de 2005, é importante ressaltar que no último relatório elaborado, em maio de 2005, são apresentadas leituras dos 10 alvos topográficos preconizados na fase de projeto. Neste, é indicado que todos os alvos se deslocavam, em fase de construção, no sentido oposto à obra. No entanto, estes valores não eram expressivos, mantendo-se na ordem dos -2 mm a -5 mm, ou seja, no nível estável. Após esta data, não existem mais relatórios relativos aos alvos topográficos e às suas leituras. Importa reforçar que na visita realizada ao local, não foi detetada a sua presença, não existindo informação disponível que justifique a sua remoção. No entanto, admite-se que os alvos apenas se encontravam em serviço na fase de projeto e construção.

As amplitudes térmicas diárias e sazonais provocam a dilatação e contração da armadura e da cabeça de ancoragem. Isto pode resultar numa diminuição ou aumento do pré-esforço da ancoragem. A menos que tal esteja previsto no projeto da ancoragem, estes efeitos representam um perigo real para a ancoragem e podem, eventualmente, ser uma das causas de rotura (NSW Government, 2021).

Com o objetivo de compreender e analisar as variações de carga em relação às diversas variáveis existentes, tais como temperatura, deslocamentos acumulados e nível piezométrico, foram elaborados o Gráfico 5, o Gráfico 6 e o Gráfico 7, para as células de carga CC1, CC4 e CC5, respetivamente.

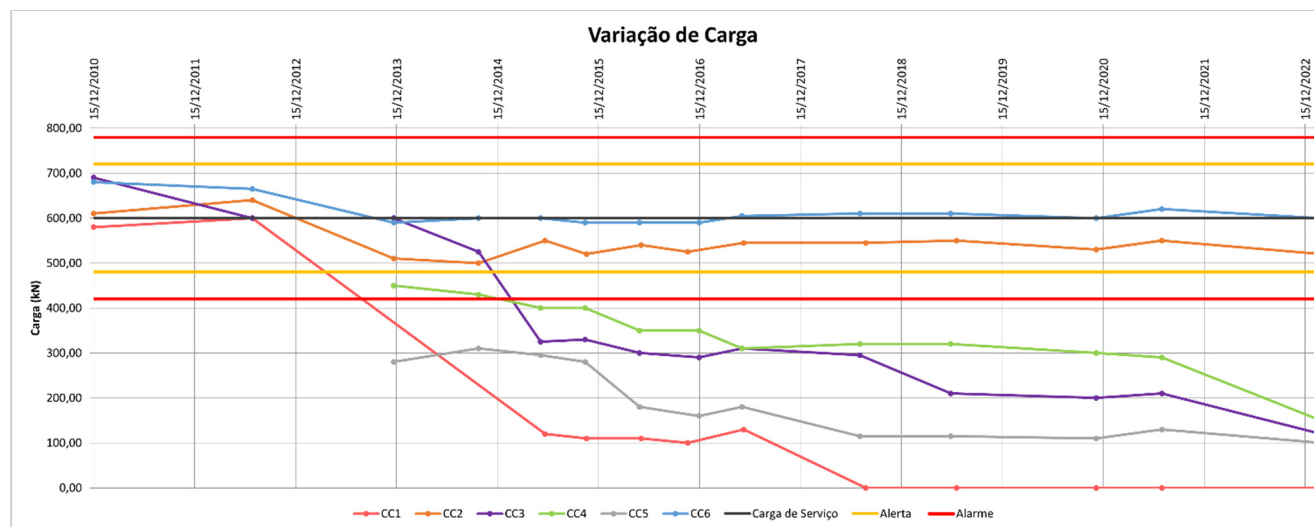


Gráfico 4 - Variação da carga ao longo do tempo das células de carga do muro M02.

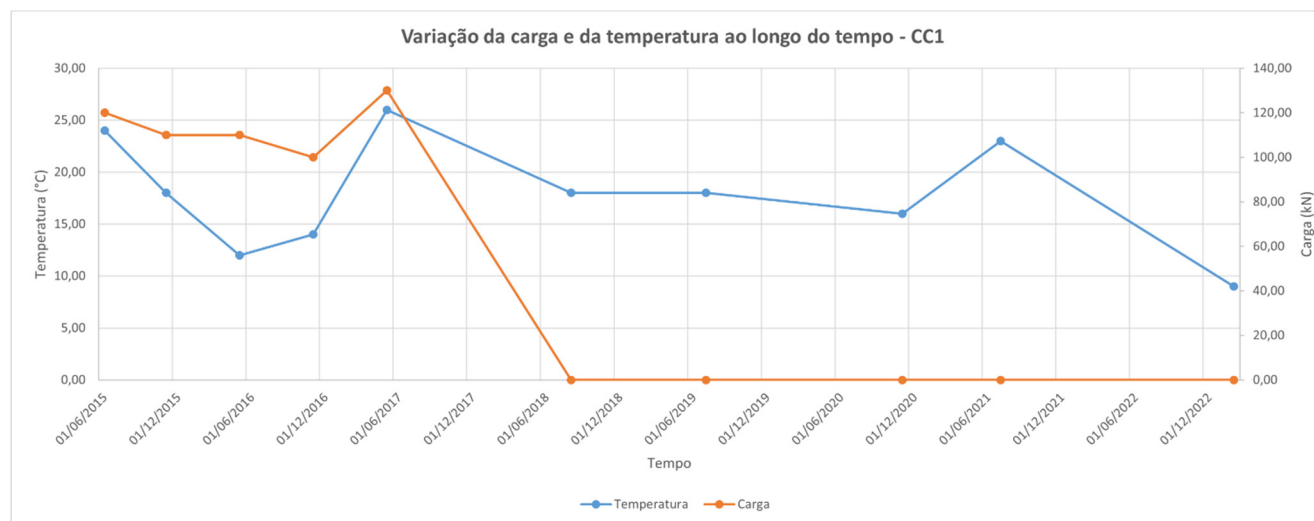


Gráfico 5 - Variação da carga e da temperatura ao longo do tempo para a CC1.

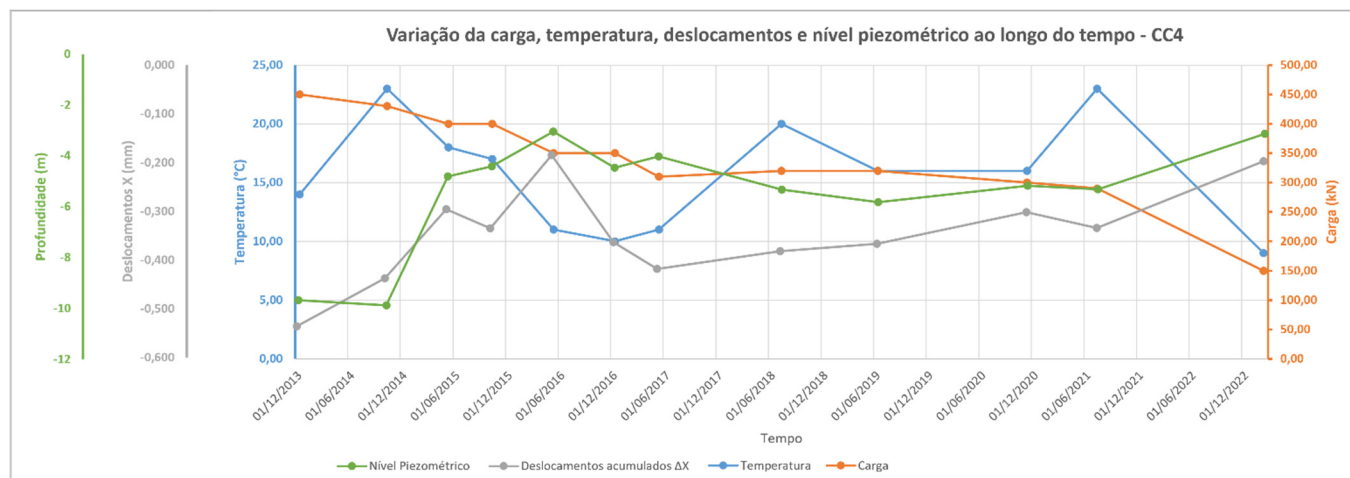


Gráfico 6 - Variação da carga, temperatura, deslocamentos ΔX e nível piezométrico ao longo do tempo para a CC4.

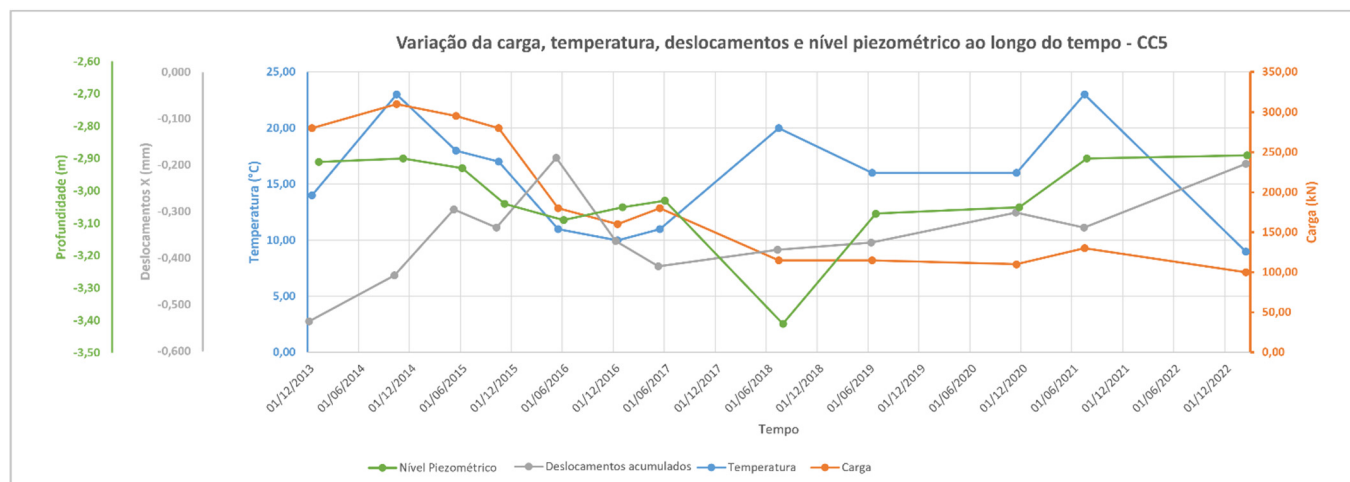


Gráfico 7 - Variação da carga, temperatura, deslocamentos ΔX e nível piezométrico ao longo do tempo para a CC5.

Pela análise dos gráficos, é possível estabelecer algumas considerações:

- **CC1**

Para a célula de carga CC1, apenas é possível comparar a variação de carga com a temperatura, uma vez que esta célula se encontra no Nível 2, acima da banquetta onde se encontram os inclinómetros/piezómetros. Dado o seu posicionamento, o muro encontra-se sujeito a grandes variações térmicas. Até ao ano de 2017, verificou-se um acompanhamento das duas variáveis; quando a temperatura atingiu valores mais elevados, a carga também aumentou. A partir do momento em que a carga se torna 0 kN, não se consegue estabelecer um padrão.

Esta célula de carga pode ter atingido um valor nulo por diversos motivos. Um deles diz respeito ao mau funcionamento da célula e, consequentemente, do manómetro associado. Neste caso, a ancoragem pode efetivamente apresentar carga, que não se encontra a ser corretamente lida. Uma outra possibilidade pode estar relacionada com a fluência do terreno circundante e do bolbo de selagem, isto é, deformação sob tensão constante.

- **CC4**

Para a célula de carga CC4, foi possível analisar e comparar a variação de carga com a temperatura, deslocamentos ΔX e nível piezométrico, resultantes das leituras dos inclinómetros. No início das leituras, a célula encontrava-se em estado de alerta e tem continuamente perdido carga, o que levou ao patamar do estado de alarme. Pela análise do Gráfico 6, a temperatura não tem influenciado muito a perda de carga, tendo acompanhado ligeiramente a variação. A nível dos deslocamentos, estes tendem a seguir a variação da perda de carga, com exceção da última leitura. O nível piezométrico encontra-se relativamente estável após 2016, sem grande influência na variação de carga.

- **CC5**

Para a célula de carga CC5, foi possível analisar e comparar a variação de carga com a temperatura, deslocamentos ΔX e nível piezométrico, resultantes das leituras dos inclinómetros. A variação de carga tem acompanhado as variações de temperatura, até ao ano de 2017. Depois dessa data, a temperatura ambiente não tem apresentado grande influência. A partir do momento em que se verifica uma perda de carga, os deslocamentos acumulados na direção X tendem para 0, significando que o muro se tem deslocado para a via. No entanto, salienta-se que apenas se desloca cerca de 0.3 mm. O nível piezométrico tem-se mantido relativamente constante, a cerca de 3 m de profundidade, abrangendo a localização da CC5.

5.1.6. Inspeção visual do muro

Com a finalidade de averiguar a perda consecutiva de carga de 4 das 6 células de carga existentes, bem como aplicar a metodologia de inspeção a muros ancorados, desenvolvida no tópico 4, foi realizada uma prestação de serviços, para avaliar o Estado de Conservação do muro em questão, especificamente considerando as ancoragens definitivas e instrumentadas, referenciadas em projeto como dotadas de células de carga. O trabalho de campo decorreu no passado dia 22 de maio de 2023, tendo sido a prestação efetuada pelo ISQ. Os trabalhos envolveram o corte de via direita e a utilização de uma plataforma elevatória, como representado na Figura 26.



Figura 26 - Condições de acesso para inspeção do muro M02.

Tendo em consideração a avaliação do estado das ancoragens de forma puramente não destrutiva, procurou-se desenvolver um conjunto de atividades relacionadas com a remoção das caixas de proteção, com consequente inspeção visual da cabeça da ancoragem e aplicação de ensaios, tais como endoscopia, medição da resistência elétrica e termografia. No entanto, quando posicionados no local, os Inspetores não conseguiram proceder à remoção das caixas de proteção, uma vez que estas se encontravam seladas aos níveis. Após várias tentativas de remoção, todas sem sucesso, deu-se por terminada a realização dos trabalhos propostos, não tendo sido possível a avaliação do estado das ancoragens.

Contudo, foi possível a inspeção visual do muro a vários dos seus componentes, nomeadamente às banquetas, níveis, drenagem superficial, ancoragens e piezómetros.

Deste modo, procedeu-se ao levantamento de patologias associadas aos componentes supramencionados, de modo a inspecionar visualmente a estrutura e aplicar a metodologia de cálculo, apenas com base nas patologias visuais observadas.

Relativamente às ancoragens, foram detetadas patologias como eflorescências, fissuração do maciço de proteção em betão e exposição da armadura, deterioração do maciço de proteção e caixa de proteção com vidro inexistente, representadas na Figura 27.



Figura 27 - Exemplos de patologias registadas no decorrer da inspeção visual ao muro M02.

Tal como demonstrado na Figura 27, é possível observar a presença de dois maciços de proteção em betão consecutivos, no local em que apenas deveria existir um. Isto advém de pequenos problemas no processo construtivo das ancoragens, sendo que se repete em 4 ancoragens, todas localizadas no alinhamento 1 do nível 1.

Na Tabela 34 encontra-se o registo de todas as patologias observadas, para os vários componentes inspecionados, com respetiva tipificação relativamente ao Estado de Conservação e Manutenção.

Tabela 34 - Patologias identificadas através da inspeção visual ao muro M02.

Componente	Subcomponente	Patologia	E.C.	E.M.
Banquetas	Banqueta 1	Fenda	1	A
Níveis	Nível 1	Componente em Conformidade	1	A
		Fissuração	1	A
	Nível 2	Eflorescências	2	N.A.
		Presença de Vegetação	N.A.	B
Drenagem Superficial	Valeta de Plataforma	Componente em Conformidade	1	A
	Valeta de Banqueta	Obstrução	3	B
Ancoragens		Desagregação do betão do maciço de proteção	N.A.	B
		Fissuração do maciço de proteção e exposição da armadura	2	C
	Alinhamento 1 - Nível 1	Escorrência de óxido de ferro ou água	N.A.	B
		Fissuração do maciço de proteção	N.A.	B
		Deterioração do maciço de proteção	N.A.	B
		Eflorescência	N.A.	B
	Alinhamento 2 - Nível 1	Fissuração do maciço de proteção em betão	N.A.	B
		Eflorescência	N.A.	B
	Alinhamento 3 - Nível 1	Fissuração do maciço de proteção em betão	N.A.	B
		Eflorescência	N.A.	B
	Alinhamento 1 - Nível 2	Eflorescência	N.A.	B
	Alinhamento 2 - Nível 2	Eflorescência	N.A.	B
	Alinhamento 3 - Nível 2	Eflorescência	N.A.	B
	CC1	Componente em Conformidade	N.A.	A
	CC2	Caixa de Proteção – Corrosão	N.A.	A
		Caixa de Proteção – Vidro inexistente	N.A.	B
	CC3	Eflorescência	N.A.	B
		Caixa de Proteção – Vidro inexistente	N.A.	B
	CC4	Eflorescência	N.A.	B
	CC5	Caixa de Proteção – Corrosão	N.A.	A
		Caixa de Proteção – Vidro inexistente	N.A.	B
		Eflorescência	N.A.	B
	CC6	Caixa de Proteção – Corrosão	N.A.	B
		Caixa de Proteção – Vidro inexistente	N.A.	B
		Eflorescência	N.A.	B

*N.A. – Não Aplicável

Algumas patologias aparecem com a indicação de não ser aplicável o cálculo do estado de conservação, como é o caso das caixas de proteção – corrosão. Este facto advém de a patologia em questão não ser considerada de conservação, mas sim de manutenção. Neste sentido, encontra-se associada a ações de manutenção, a qual, no presente caso, diz respeito à limpeza da caixa e aplicação de uma proteção contra a corrosão.

De salientar que a patologia eflorescência apresenta uma tipificação distinta quando relacionada com as ancoragens e níveis. No que concerne aos níveis, a ocorrência de eflorescências encontra-se associada à presença de fendas ou fissuras no paramento do muro que, por sua vez, são patologias que necessitam de ações e intervenções de carácter estrutural e conservativo. Por sua vez, quando associada às ancoragens, a ocorrência de eflorescências pressupõe a presença de água no interior, a qual carece de monitorização e garantia do correto funcionamento dos órgãos de drenagem profunda (drenos sub-horizontais), através de ações de manutenção e limpeza dos mesmos, bem como das caixas de proteção e/ou maciços de proteção em betão, de modo a evitar e impedir a entrada de água para o interior da ancoragem.

No que diz respeito aos inclinómetros, estes encontram-se em conformidade, sem registo de patologias. Por sua vez, a drenagem profunda não foi inspecionada, dada a complexidade associada.

No decorrer da inspeção visual, denotou-se que a altura é um parâmetro fundamental para a identificação de patologias. Os locais mais próximos do pavimento são mais facilmente inspecionados, com um maior número de patologias associadas, uma vez que os Inspetores se encontram relativamente próximos dos componentes. Do mesmo local, torna-se mais complexa a inspeção dos alinhamentos e níveis superiores, com diminuição da pormenorização das patologias.

5.1.7. Atribuição dos estados de conservação e de manutenção

Apesar de não ter sido possível a execução da prestação de serviços para avaliação do estado das ancoragens, foi exequível a aplicação da metodologia estudada, tendo por base as patologias registadas na Tabela 34.

De acordo com a metodologia utilizada na rede Ascendi para atribuição dos estados, referenciada no tópico 4.3, a definição do estado geral do muro segue um processo iterativo. Inicialmente, atribui-se um estado às patologias, os quais se encontram disponíveis na Tabela 34. De seguida, é definido o estado de cada subcomponente e, posteriormente, do componente. Este processo é automático, uma vez que o registo de patologias se encontra padronizado informaticamente,

permitindo a obtenção imediata dos estados após o *upload* da inspeção. No final, é gerado um relatório de inspeção, onde se encontram disponíveis os resultados e atribuição dos estados individuais e gerais.

Uma vez que a drenagem profunda não foi inspecionada, foi necessário recorrer à tabela presente no Anexo 1, a qual preconiza a redistribuição dos pesos perante todos os cenários possíveis de inexistência de componentes. Deste modo, no presente caso de estudo, devem ser considerados os pesos indicados na Tabela 35.

Tabela 35 - Atribuição dos pesos para o caso de estudo.

Componente	1ª Hipótese - Peso (μ_i)	2ª Hipótese - Peso (μ_i)
Banquetas	18%	23%
Níveis	38%	33%
Drenagem superficial	28%	28%
Ancoragens	16%	16%

Tendo por base a aplicação dos dois cenários, com o objetivo de analisar os seus resultados com os casos de estudo, foram gerados dois relatórios de inspeção, cada um relativo à hipótese a estudar. Este processo contou com a ajuda fundamental da equipa da Direção de Sistemas de Informação (DSI) da Ascendi, que possibilitou a execução destes testes e análises prévias. Assim, foi possível a obtenção da Tabela 36, a qual apresenta os estados de conservação para cada componente e o estado geral do muro, para as duas hipóteses propostas. De modo a realizar uma análise crítica, foram incluídos na tabela os estados obtidos na última inspeção completa, realizada no início do ano de 2023, na qual não se encontra o novo componente ancoragens.

Tabela 36 - Estados de Conservação do muro M02.

Componentes	Última Inspeção Completa (2023)		1ª Hipótese		2ª Hipótese	
Banquetas		EC_1		EC_1		EC_1
Níveis		EC_3		EC_2		EC_2
Drenagem Superficial		EC_3		EC_3		EC_3
Células de Carga		EC_1	--	--	--	--
Inclinómetros		EC_1		EC_1		EC_1
Ancoragens	--	--		EC_2		EC_2
GLOBAL		EC_2		EC_2		EC_2

De acordo com a Tabela 36, é possível tecer algumas considerações. De um modo geral, não existem alterações significativas entre as três inspeções. No entanto, salienta-se que os níveis passaram de EC3 para EC2, justificável pelo facto de terem sido removidas patologias que previamente estavam associadas aos níveis, encontrando-se agora presentes nas ancoragens. De referir também que as células de carga não apresentam EC uma vez que as suas patologias também foram registadas nas ancoragens, tendo em consideração que as células de carga dizem respeito a um componente não estrutural, e que passará a fazer parte de um novo projeto de instrumentação.

Comparando as duas hipóteses propostas, não existem diferenças entre estas. Este facto seria expectável uma vez que a distribuição dos pesos de cada componente não é significativa, não existindo uma grande dispersão entre estes.

Relativamente aos estados de manutenção, o valor global corresponde ao estado mais gravoso dos estados atribuídos aos componentes. Assim, a Tabela 37 indica os estados de manutenção para o muro M02, comparando os resultados da última inspeção completa, realizada em 2023, com as duas hipóteses a analisar.

Tabela 37 - Estados de Manutenção do muro M02.

Componentes	Última Inspeção Completa (2023)		1ª Hipótese		2ª Hipótese	
Banquetas		EM_A		EM_A		EM_A
Níveis		EM_A		EM_B		EM_B
Drenagem Superficial		EM_B		EM_B		EM_B
Células de Carga		EM_B	--	--	--	--
Inclinómetros		EM_A		EM_A		EM_A
Ancoragens	--	--		EM_C		EM_C
GLOBAL		EM_B		EM_C		EM_C

Analisando a Tabela 37, conclui-se que existem algumas diferenças significativas. Numa primeira análise, os níveis pioraram de estado, passando a apresentar um EM_B, uma vez que a presença de vegetação se tornou mais relevante, necessitando de ações de curto prazo. As ancoragens apresentam um EM_C, o mais gravoso, tendo em consideração a presença de patologias como fissuração do maciço de proteção em betão, com exposição da armadura, as quais necessitam de reparação imediata, uma vez que poderá acarretar o aparecimento de novas patologias. Esta é considerada uma patologia sujeita a ações de conservação e manutenção, tendo em consideração a reposição do maciço de proteção.

No global, o estado do muro piorou, justificado pela atribuição do Estado de Manutenção mau às ancoragens. Comparando as duas hipóteses propostas, não existem diferenças entre estas.

De modo a ser possível a análise e avaliação do comportamento global do muro e do seu estado, torna-se fundamental a observação de todos os dados disponíveis relativamente à estrutura, ou seja, informações provenientes da campanha de instrumentação, em conjunto com as patologias observáveis e resultantes da inspeção visual. De acordo com o relatório da inspeção, conclui-se que a estrutura apresenta um bom estado de conservação, tendo em conta que as patologias consideradas não dispõem de riscos e dimensões elevadas, não carecendo de intervenções estruturais urgentes. Apenas necessitam de ações de manutenção, de modo a repor o bom funcionamento dos seus componentes, prevenindo a ocorrência de patologias de caráter mais gravoso, que poderiam comprometer a estabilidade da estrutura. Por sua vez, quando analisadas as leituras das campanhas de instrumentação, verifica-se que a presente estrutura exhibe 4 de 6 células de carga com valores presentes no nível de alarme; contudo, os inclinómetros instalados não apresentam movimentos considerados significativos. A conjugação destes factos permite concluir que, apesar de a estrutura se encontrar visivelmente sem patologias graves, dispõe de valores bastante preocupantes relativamente à instrumentação, em particular das células de carga. Assim, tendo por base esta análise conjunta, verifica-se que, a nível estrutural, o muro não carece de intervenções, devendo apenas ser realizados trabalhos de manutenção, com a finalidade de aumentar a resiliência da estrutura, aos quais se adicionam inspeções complementares e campanhas de instrumentação com uma periodicidade mais reduzida.

O relatório da inspeção produzido pelo SustIMS para o muro M02 encontra-se disponível no Anexo 2.

5.2. Muro ancorado M07 – pK 045+310

5.2.1. Enquadramento geográfico

Tendo em vista os contratemplos e dificuldades sentidas na inspeção das ancoragens do muro do caso de estudo anterior, e com a finalidade de validar a proposta de metodologia a adotar pela Ascendi, foi proporcionada a sua aplicação num segundo caso de estudo. Este novo processo seletivo teve em consideração uma estrutura mais acessível, em particular das caixas de proteção das ancoragens instrumentadas, que possibilitassem a correta inspeção das ancoragens, bem como de todo a estrutura.

Tendo por base estes critérios, foi selecionado um novo muro na A7, ao pK 045+310, denominado em projeto por Muro M07, sito na Concessão Norte, no sublanço Guimarães Sul-Calvos. Apresenta a matrícula CN.BRG.A7.045+310.ME.C.D.SL, significando que este é um muro em escavação, no sentido crescente e do lado direito da autoestrada, entre o pK 045+310 e pK 045+475.

Foi projetado e dimensionado pela já extinta FUNDASOL. Na Figura 28 encontra-se uma perspetiva do muro ancorado objeto deste segundo caso de estudo.



Figura 28 - Perspetiva do muro ancorado M07.

O muro M07 foi projetado de modo a estabilizar os taludes de escavação decorrentes da construção da autoestrada A7, bem como de suportar a sapata existente da obra de arte PS11 (passagem superior), para restabelecimento da EM 579, tal como ilustrado na Figura 28. No topo do talude de escavação, situa-se um conjunto de habitações a, aproximadamente, 12 m do mesmo (Figura 29). A vedação encontra-se relativamente afastada, possibilitando o acesso ao topo e tardo do muro.



Figura 29 - Fotografia aérea do muro M07 (Ascendi, 2022).

5.2.2. Caracterização geométrica e estrutural

Inicialmente foi projetada a execução de dois muros de contenção, um de cada lado da autoestrada, realizados com estacas de 0,80 m de diâmetro, afastadas de 1 m longitudinalmente. Para ajudar a suportar os impulsos, seriam adotadas vigas transversais aos muros e autoestrada, afastadas de 7m longitudinalmente. Para transferir as cargas de todas as estacas para a viga transversal, existiria uma viga longitudinal junto às estacas com $1,50 \times 0,80 \text{ m}^2$ de secção. Por cima destas contenções em estacas, e funcionando como um segundo troço de muro, seriam preconizadas soluções de contenção do tipo muro ancorado e talude pregado.

Tendo em vista um desenvolvimento mais otimizado e integrado do projeto, apresentou-se uma solução global, alternativa à solução de estabilização do projeto base e que consistia na estabilização definitiva dos taludes, através da execução de níveis de ancoragens permanentes, estabelecidas sobre painéis isolados pré-fabricados em betão, previamente instalados e selados contra a superfície dos taludes, intercalados com pregagens. Fora da zona do restabelecimento da passagem superior, os taludes foram intervencionados com pregagens e betão projetado, de acordo com a otimização da solução, face às condicionantes geométricas serem mais favoráveis. A altura total de contenção é de aproximadamente 18 m, desde o topo do talude até à cota da rasante da autoestrada.

As pregagens aplicadas apenas no talude pregado apresentam um diâmetro de 32 mm, com um comprimento de 12 m. O betão projetado dispõe de uma espessura média de 10 cm, com malhasol AQ50 e reforço relativo ao punçoamento. Na zona do talude misto, estas dispõem de 20 mm de diâmetro e um comprimento de 3 m. Nesta mesma zona, as ancoragens apresentam um comprimento livre de 15 m e um comprimento de selagem de 6 m, perfazendo um total de 21 m de comprimento, para todas as ancoragens instaladas. Estas apresentam uma carga de serviço de 500 kN, tendo sido bloqueadas com uma carga superior de 650 kN. Cada ancoragem é constituída por 5 cordões. O primeiro nível dispõe de 4 alinhamentos horizontais e o segundo nível de apenas 3, espaçados verticalmente de 2,5 m. No global, são contabilizadas 239 ancoragens.

Relativamente ao faseamento construtivo, inicialmente procedeu-se à escavação e furação do maciço, seguida de instalação e selagem da ancoragem. Posteriormente, realizou-se a montagem dos painéis de betão, isolamento e injeção de selagem. Aplicou-se o pré-esforço, foram retirados os suportes e efetuada a proteção da cabeça da ancoragem.

Na Figura 30 encontra-se o perfil transversal do muro na zona central, fora do restabelecimento.

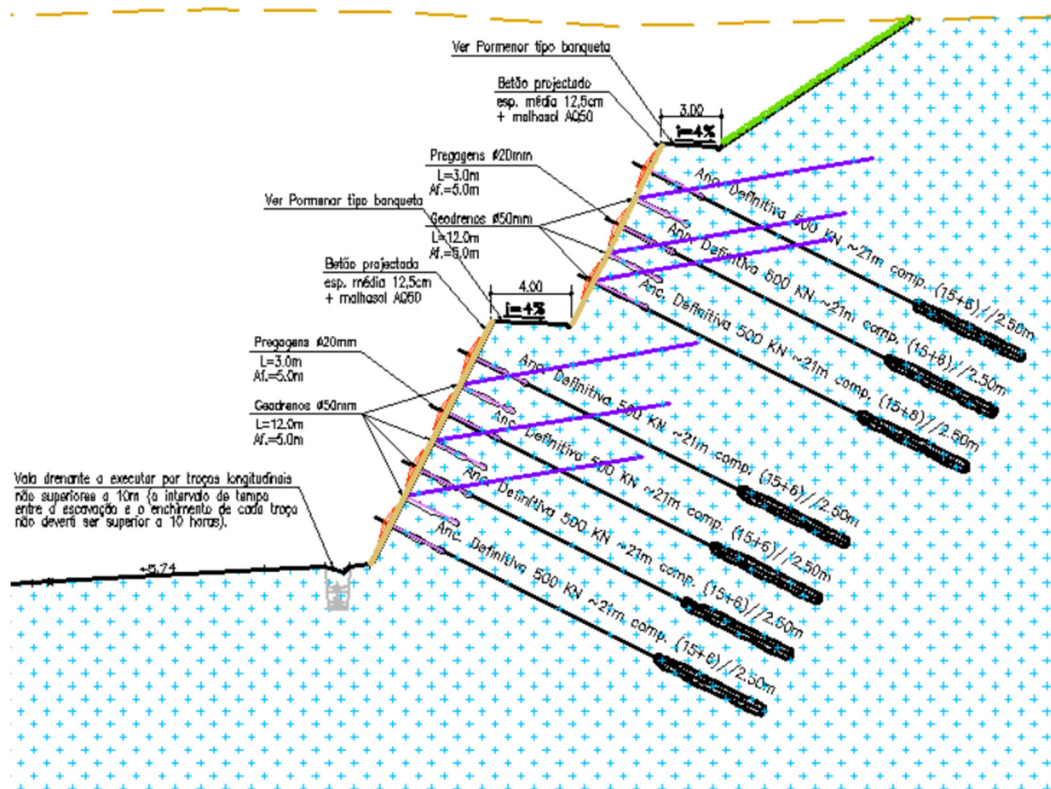


Figura 30 - Perfil transversal do muro ancorado M07 (Ascendi, 2006).

Na zona do restabelecimento, as ancoragens dos nichos das sapatas foram, após o carregamento da superestrutura da PS11, de novo pré-esforçadas, com execução de ensaios de receção simples. Estas apresentam as mesmas características estruturais que as restantes.

5.2.3. Caracterização geológico-geotécnica

De acordo com a informação obtida dos trabalhos de prospeção realizados, em particular das 6 sondagens à rotação com execução de ensaios SPT, conclui-se que o local é caracterizado por um maciço terroso granítico de idade Hercínia, muito compacto a partir dos 4-5 m de profundidade. Nas sondagens realizadas obteve-se quase sempre $N_{SPT} > 50/60$, sem que se tenha penetrado a profundidade total dos ensaios (45 cm). Face a estes resultados, pode-se considerar que se trata de um maciço que apresenta, no geral, um grau de alteração W_{4-5} , muito alterado a decomposto, caracterizando-se como um saibro granítico de grande possança (cerca de 15-20 m).

Para além deste, foram identificados alguns níveis/blocos rochosos (“bolas”) resultantes de uma alteração esferoidal, característica de maciços graníticos muito alterados. Estes revelaram um grau de alteração W_3 e um grau de fraturação F_4 , sendo blocos de granito de grão grosseiro, biotítico e com duas micas, frequentemente acinzentados.

Nestes níveis rochosos obtiveram-se percentagens de recuperação entre 60-90% e valores de percentagem RQD de 20-60%. À semelhança do muro do caso de estudo anterior, as formações intersetadas incluem-se nas designadas por “Granito de Guimarães”.

No que diz respeito às condições hidrogeológicas, o nível freático foi intercetado entre 2-16 m de profundidade.

5.2.4. Plano de instrumentação e monitorização

Considera-se de primordial importância proceder à instrumentação do muro ancorado, de modo a detetar o mais rapidamente possível indícios de instabilidade. Neste sentido, o plano de instrumentação contempla os seguintes equipamentos:

- 5 Inclínómetros/piezómetros;
- 34 Marcos topográficos;
- 10 Células de carga;
- 6 Extensómetros de barra.

Na Figura 31 encontra-se a planta de instrumentação aplicada ao caso em estudo.

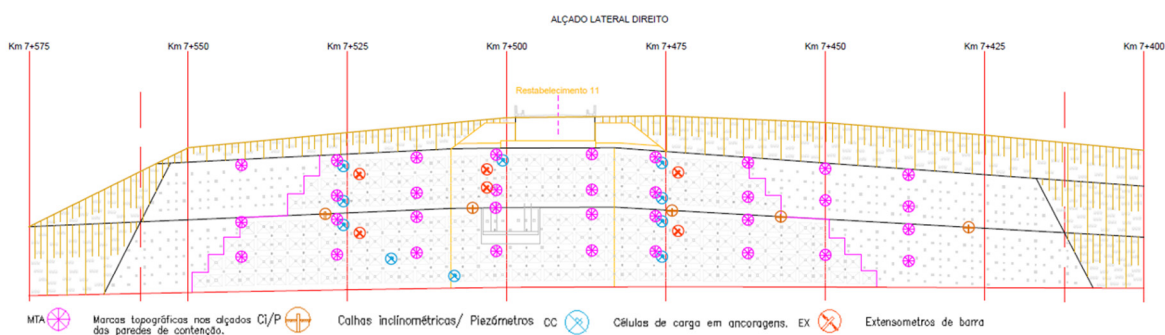


Figura 31 - Planta de instrumentação do muro M07 (Ascendi, 2006).

É fundamental referir que este plano de instrumentação apresenta diferenças significativas relativamente ao previsto na fase de projeto. Nesta, foi perspectivada a aplicação de 7 inclinómetros, situados na banquetta e crista do talude; no entanto, na realidade, apenas foram implementados 5 inclinómetros, todos na banquetta. Para além disso, o plano contempla extensómetros de barra, de modo a avaliar o comportamento interno do maciço em profundidade, permitindo a deteção de deslocamentos. Contudo, não existem leituras destes instrumentos.

O plano de monitorização e frequência de leituras encontra-se descrito na Tabela 38.

Tabela 38 - Frequência de monitorização para o muro M07.

Fase	Marcas topográficas	Inclinómetros	Células de Carga
Construção		Semanal	
Pós-Construção	2 primeiros anos	Trimestral	Bimestral
	Após 2 anos	Semestral	

O presente muro dispõe de critérios de alerta e de alarme definidos em projeto, pelo que estes deverão ser considerados no momento de avaliação das leituras obtidas. Assim, para as células de carga devem ser considerados os seguintes níveis:

- Estável $\Delta P < \pm 20\%$
- Alerta $\pm 40\% > \Delta P > \pm 20\%$
- Alarme $\Delta P > \pm 40\%$

Para os alvos topográficos e inclinómetros, foram considerados os critérios definidos na Tabela 12, uma vez que são mais conservadores do que os definidos em projeto.

5.2.5. Histórico de inspeções

À semelhança do efetuado para o caso de estudo anterior, para este segundo muro foram efetuadas inspeções completas nos anos de 2020, 2021 e início de 2023. Em todas estas inspeções, não foi retirada a caixa de proteção das ancoragens instrumentadas, facto que impossibilitou a inspeção visual da cabeça das ancoragens; apenas foram registadas patologias visuais e externas. No entanto, em 2015, tendo presente o elevado estado de corrosão das ancoragens CC1 a CC5, surgiu a necessidade de aplicação de medidas preventivas, resultando numa intervenção no que toca à limpeza e tratamento total das 10 cabeças de ancoragens instrumentadas, com aplicação de 10 novas caixas galvanizadas removíveis, adaptadas para a presença de manómetros. Para além disso, no decorrer dos anos foram realizadas campanhas de leitura da instrumentação.

Relativamente às células de carga, as suas leituras encontram-se disponíveis na Tabela 39, para o período de 2010 a 2023, acompanhadas da temperatura registada no momento de leitura. Neste momento é fundamental salientar que a carga de serviço considerada para a definição dos níveis de alerta e de alarme não é a carga de serviço identificada na Figura 30, ou seja, 500 kN, tendo sido considerada a carga de blocagem de 650 kN. Esta escolha encontra-se fundamentada, tendo em particular atenção os critérios de alarme. Em projeto, encontra-se definido que quando a carga analisada se encontra a mais de 40% abaixo da carga de serviço, então a ancoragem encontra-se

em estado de alarme. Assim, caso fossem considerados os 500 kN, todas as ancoragens se encontravam perto desse limite de alarme. Considera-se, por falta de informação disponível a esse respeito, que o valor de 500 kN serviu para dimensionamento, tendo sido majorada com a finalidade de determinar a área útil da ancoragem. Assim, para a definição dos critérios foi considerada a carga de blocagem de 650 kN.

Tabela 39 - Valores de histórico das leituras das células de carga para o muro M07.

Data	Temp. (°C)	Carga (kN)									
		CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7	CC8	CC9	CC10
15/12/2010	--	--	750	775	620	600	--	--	--	--	--
27/09/2011	--	--	810	800	650	620	--	--	--	--	--
11/07/2012	--	--	810	800	650	620	--	--	--	--	--
04/12/2013	14,0	--	--	--	650	600	--	--	--	--	--
07/10/2014	23,0	--	--	--	640	620	--	--	--	--	--
20/05/2015	19,0	900	--	--	640	620	--	--	--	--	--
05/06/2015	26,0	--	--	--	--	--	630	750	890	280	810
29/10/2015	15,0	860	--	--	640	620	--	--	--	--	--
02/11/2015	18,0	--	--	--	--	--	610	700	810	265	740
12/05/2016	12,0	860	--	--	640	620	--	--	--	--	--
18/05/2016	12,0	--	--	--	--	--	610	700	810	270	740
02/11/2016	16,0	--	--	--	--	--	620	720	825	270	790
13/12/2016	15,0	870	--	--	640	615	--	--	--	--	--
18/05/2017	15,0	880	--	--	650	630	--	--	--	--	--
24/05/2017	28,0	--	--	--	--	--	685	630	900	290	830
07/12/2017	7,0	865	--	--	630	610	670	600	750	250	680
18/07/2018	24,0	895	--	--	665	635	--	--	--	--	--
08/08/2018	20,0	--	--	--	--	--	680	630	850	280	820
12/06/2019	19,0	900	--	--	660	635	--	--	--	--	--
03/07/2019	18,0	--	--	--	--	--	680	630	870	280	810
19/11/2020	20,0	910	--	--	650	630	680	615	820	280	760
15/07/2021	28,0	930	--	--	675	650	640	680	900	300	830
10/02/2023	12,0	850	--	--	630	630	615	680	900	280	700

Através da análise da Tabela 39, é possível observar que uma célula de carga se encontra em estado de alarme, duas em estado de alerta, cinco estáveis e duas sem leituras registadas. A CC1 apresenta desde o início valores no estado de alerta, tendo registado apenas um valor no estado de alarme, em 2021. A CC8 manteve-se constantemente em estado de alerta, desde o início das leituras. A CC9 também se manteve constante no estado de alarme, com valores entre 250 kN e 300 kN. As células de carga CC2 e CC3 não apresentam registo de leitura desde 2012, uma vez que o ponteiro do manómetro excedeu a escala, não permitindo a atribuição de valores. No entanto, ambas apresentavam tendência de aumento de carga.

As restantes 5 células de carga encontram-se estáveis, com pequenas oscilações nos níveis de alerta. A variação de carga encontra-se representada no Gráfico 8.

Tal como referido anteriormente, é fundamental que a instrumentação de uma estrutura seja interpretada e avaliada como um todo. Assim, é necessário cruzar as leituras obtidas das células de carga com os restantes instrumentos de monitorização; no caso, os alvos topográficos e os inclinómetros/piezómetros. Quanto às leituras dos alvos topográficos, os resultados obtidos denotam movimentos pouco relevantes, recorrentemente inferior a 10 mm. Relativamente aos inclinómetros, todos os valores se encontram dentro dos limites definidos como estáveis, tendo sido registados deslocamentos ΔX entre -2 mm e 0,9 mm.

É importante salientar as direções fundamentais a analisar, relativamente aos alvos topográficos e inclinómetros. Assim, com o objetivo de analisar os deslocamentos perpendiculares ao muro, para os alvos topográficos devem ser lidos os valores ΔY . Deslocamentos positivos correspondem a movimentos para o terreno e deslocamentos negativos correspondem a movimentos no sentido da via. Por sua vez, para os inclinómetros/piezómetros, devem ser lidos os deslocamentos acumulados ΔX . Deslocamentos positivos correspondem a movimentos no sentido da via e deslocamentos negativos correspondem a movimentos no sentido do terreno.

Em paralelo com o efetuado para o primeiro caso de estudo, com o objetivo de compreender e analisar as variações de carga em relação às diversas variáveis existentes, tais como temperatura, deslocamentos acumulados e nível piezométrico, foram elaborados o Gráfico 9, o Gráfico 10 e o Gráfico 11, para as células de carga CC1, CC8 e CC9, respetivamente.

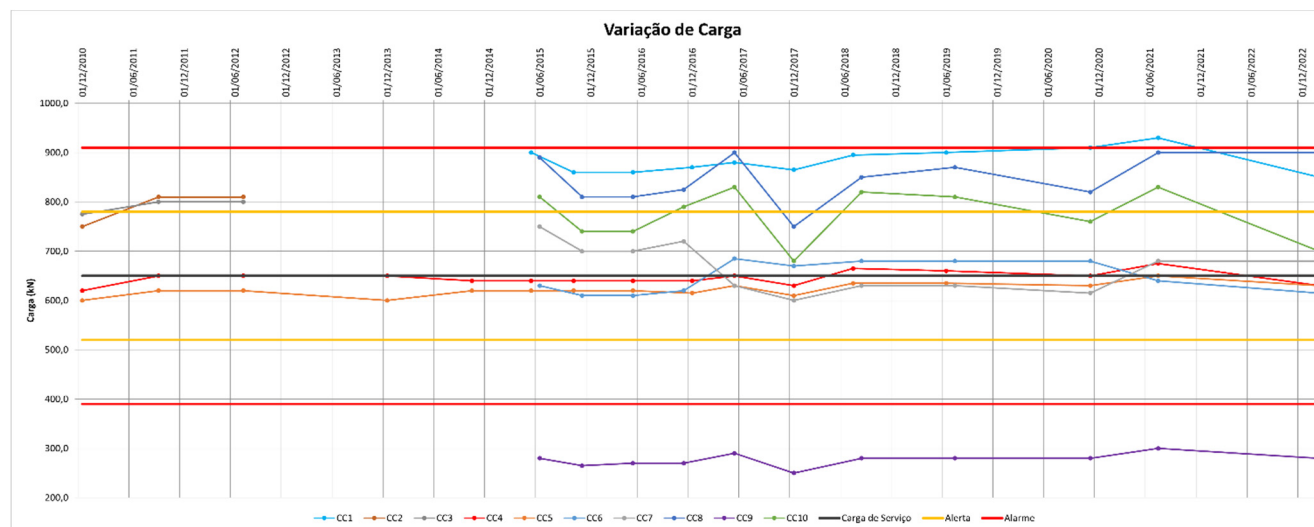


Gráfico 8 - Variação da carga ao longo do tempo das células de carga do muro M07.

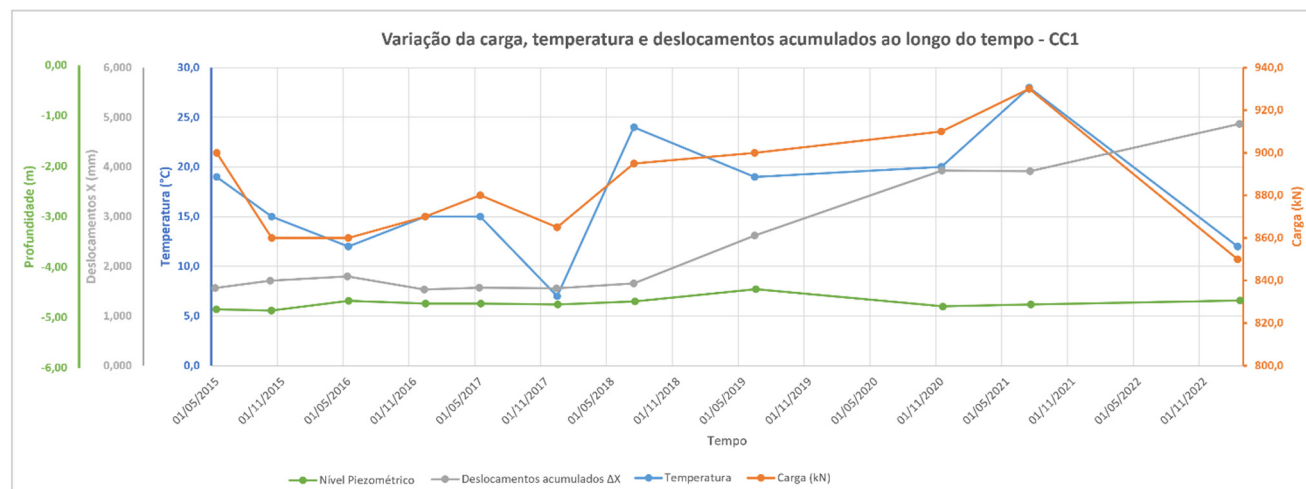


Gráfico 9 - Variação da carga, temperatura, deslocamentos ΔX e nível piezométrico ao longo do tempo para a CC1.

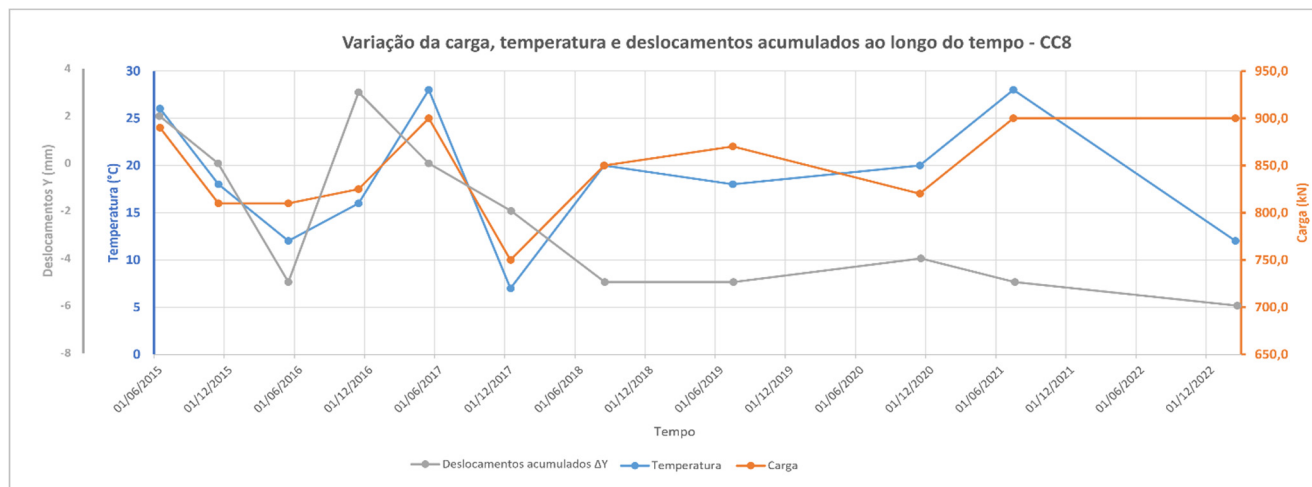


Gráfico 10 - Variação da carga, temperatura e deslocamentos ΔY ao longo do tempo para a CC8.

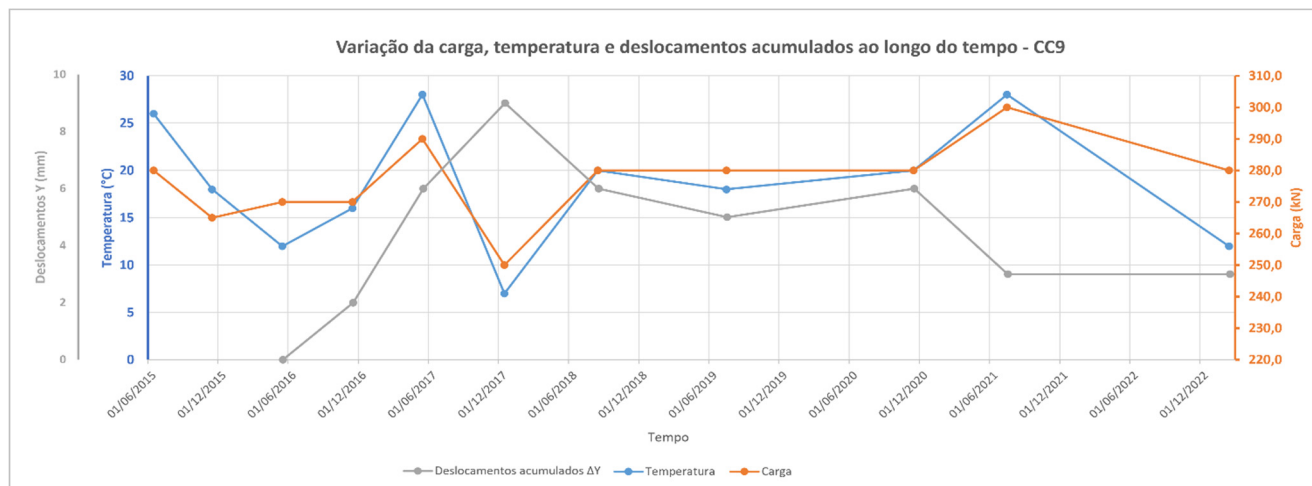


Gráfico 11 - Variação da carga, temperatura e deslocamentos ΔY ao longo do tempo para a CC9.

Pela análise dos gráficos, é possível estabelecer algumas considerações:

- **CC1**

Para a célula de carga CC1, foi possível analisar e comparar a variação de carga com a temperatura, deslocamentos ΔX e nível piezométrico, resultantes da leitura do inclinómetro mais próximo. Foi também equacionada a correspondência com o alvo topográfico mais próximo; no entanto, as datas de aquisição das leituras eram bastante díspares, quando comparadas com as restantes variáveis, pelo que esta não foi incorporada no gráfico. Dado o seu posicionamento, o muro encontra-se sujeito a grandes variações térmicas. É possível observar um acompanhamento da carga face à temperatura ambiente registada, isto é, quando a temperatura aumenta, a carga tende a aumentar, e vice-versa. A nível dos deslocamentos, verifica-se um aumento significativo dos deslocamentos com o decorrer do tempo, atingindo um valor máximo de aproximadamente 5 mm, quando a carga atinge o valor mais baixo, de 850 kN. O nível piezométrico tem-se mantido relativamente estável, a cerca de 5 m de profundidade.

- **CC8**

Para a célula de carga CC8, foi possível analisar e comparar a variação de carga com a temperatura e deslocamentos ΔY , resultantes da leitura do alvo topográfico mais próximo. Nesta situação, também é perceptível um acompanhamento da carga face às variações térmicas, com exceção da última leitura, em que a carga se mantém constante, apesar do decréscimo acentuado da temperatura. Relativamente aos deslocamentos acumulados em Y, estes acompanham as variações de carga, tendo-se registado um aumento e posterior estabilização, desde 2018. Quando a carga aumenta, os deslocamentos tendem a aumentar no sentido da via; este facto é observado, uma vez que os deslocamentos registados são negativos.

- **CC9**

Para a célula de carga CC9, foi possível analisar e comparar a variação de carga com a temperatura e deslocamentos ΔY , resultantes da leitura do alvo topográfico mais próximo. É possível, mais uma vez, estabelecer uma ligação clara entre a variação de carga e as variações da temperatura registada. Por sua vez, os deslocamentos apresentam uma determinada aproximação em alguns períodos, com alguns pontos de disparidade, como é o caso de 2017 e 2021. No primeiro caso, registou-se uma diminuição de temperatura, com consequente diminuição de carga. Perante esta situação, o deslocamento registado foi positivo e na ordem dos 10 mm, significando que o muro se deslocou para o terreno, correspondendo a um comportamento expectável. Na segunda situação, verificou-se um aumento de temperatura e aumento da carga de pré-esforço.

Neste momento, o deslocamento registado manteve-se positivo, mas com uma diminuição para valores na ordem dos 3 mm, equacionando o deslocamento do muro para o sentido da autoestrada.

Este muro é constituído por medalhões, peças pré-fabricadas em betão, que correspondem a estruturas isostáticas e isoladas. No processo construtivo, após aplicada a carga de blocagem, o medalhão pode penetrar no terreno, induzindo uma redução da carga da ancoragem. Como é um elemento sem continuidade, não existe possibilidade de redistribuição das cargas para as restantes ancoragens, encontrando-se circunscrito apenas àquele local.

5.2.6. Inspeção visual do muro

Com a finalidade de aplicar a metodologia de inspeção a muros ancorados, desenvolvida no tópico 4, foi realizada uma prestação de serviços, para avaliar o Estado de Conservação do muro em questão, especificamente considerando as ancoragens definitivas e instrumentadas, referenciadas em projeto como dotadas de células de carga. O trabalho de campo decorreu no passado dia 26 de maio de 2023, tendo sido a prestação efetuada pelo ISQ. Os trabalhos envolveram o corte de via direita e a utilização de um camião grua, como representado na Figura 32.



Figura 32 - Condições de acesso para inspeção do muro M07.

Tendo em consideração a avaliação do estado das ancoragens de forma puramente não destrutiva, desenvolvem-se um conjunto de atividades, sendo o faseamento construtivo o seguinte: remoção

da caixa metálica de proteção, inspeção visual da cabeça das ancoragens, realização de ensaios e, por fim, reposição da caixa metálica de proteção. Na inspeção visual, foram analisados os elementos constituintes visíveis, nomeadamente a caixa de proteção, placa de descarga, cordões exteriores à placa e células de carga. Relativamente aos ensaios, foi efetuada uma inspeção com endoscópio, introduzindo-se uma câmara fotográfica no negativo livre da placa, procedendo-se, para tal, à remoção prévia do produto de proteção existente. Foram realizados alguns ensaios complementares, destacando-se o ensaio de medição da resistência elétrica de isolamento dos cabos de aço de uma ancoragem, em relação ao solo, a pesquisa termográfica das cabeças das ancoragens, ensaios com georadar das placas de proteção das cabeças das ancoragens e, por fim, ensaios com ultrassons, sob uma ancoragem não instrumentada. A sequência de trabalhos encontra-se refletida na Figura 33.

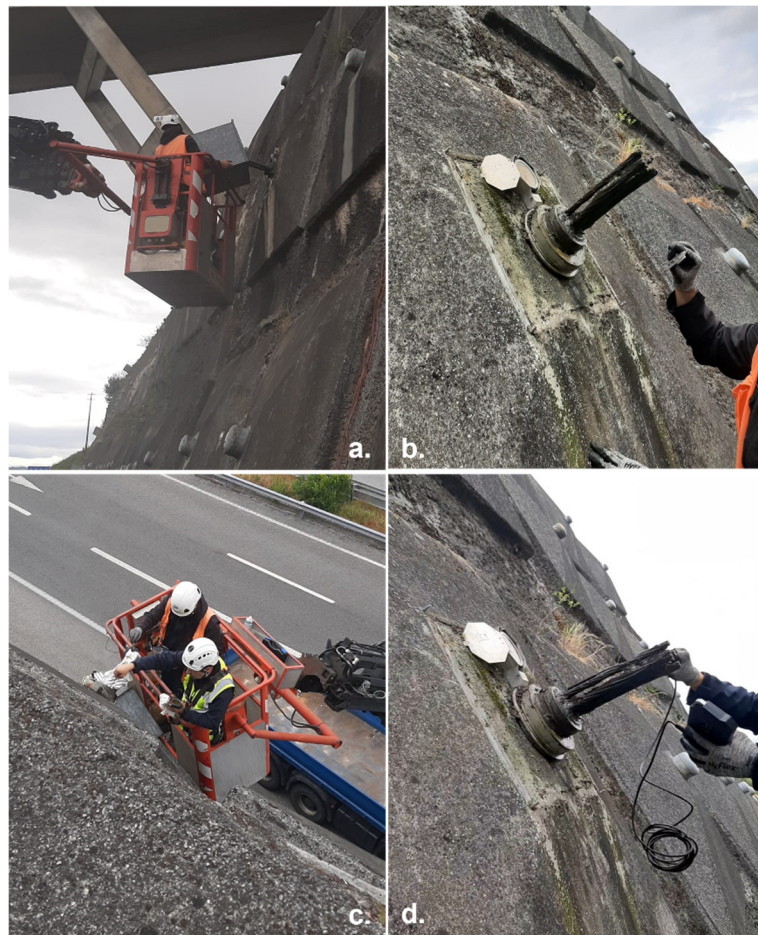


Figura 33 - Sequência de trabalhos: a. remoção da caixa de proteção; b. inspeção visual; c. endoscopia; d. ensaio de resistência elétrica.

Para além da inspeção detalhada às ancoragens, foi efetuada uma inspeção visual do muro a vários dos seus componentes, nomeadamente às banquetas, níveis, drenagem superficial, ancoragens, alvos topográficos e piezómetros.

Relativamente ao componente ancoragens, o muro em questão é composto por dois níveis, apresentando quatro alinhamentos horizontais no primeiro e três no segundo. Para além destes, apresenta dez células de carga. Deste modo, procedeu-se ao levantamento de patologias associadas aos componentes supramencionados, de modo a inspecionar visualmente a estrutura e aplicar a metodologia de cálculo, apenas com base nas patologias visuais observadas.

De um modo geral, foram identificadas diversas patologias, como é o caso de eflorescências, fissuração e superfícies partidas, assoreamento e obstrução, presença de vegetação, entre várias outras. Relativamente às ancoragens, foram detetadas patologias como eflorescências, caixa de proteção com corrosão, deterioração/insuficiência do vedante da junta entre a caixa de proteção e a estrutura e escorrência de óxido de ferro ou água, representadas na Figura 34.



Figura 34 - Exemplos de patologias registadas no decorrer da inspeção visual ao muro M07.

Na Tabela 40 e Tabela 41 encontra-se o registo de todas as patologias observadas, para os vários componentes inspecionados, com respetiva tipificação relativamente ao Estado de Conservação e Manutenção.

Tabela 40 - Patologias identificadas através da inspeção visual ao muro M07.

Componente	Subcomponente	Patologia	E.C.	E.M.
Banquetas	Banqueta 1	Fissuração	2	A
	Banqueta 2	Fissuração	1	A
		Outros (Partido)	1	A
Níveis	Nível 1	Eflorescências	1	N.A.
		Superfície Partida	2	A
		Fissuração	1	A
	Nível 2	Presença de Vegetação	N.A.	A
		Eflorescências	3	N.A.
		Superfície Partida	3	A
		Exposição da armadura	1	A
		Drenagem Superficial	Valeta de Plataforma	Componente em Conformidade
Valeta de Banqueta 1	Assoreamento		N.A.	B
	Presença de Vegetação		N.A.	B
	Elemento Partido		3	B
	Obstrução		3	B
Valeta de Banqueta 2	Assoreamento		N.A.	A
	Presença de Vegetação		N.A.	B
	Elemento Partido		2	A
	Obstrução		3	B
Ancoragens	Alinhamento 1 - Nível 1		Eflorescência	N.A.
		Caixa de Proteção – Corrosão	N.A.	B
		Escorrência de óxido de ferro ou água	N.A.	A
	Alinhamento 2 - Nível 1	Eflorescência	N.A.	B
		Caixa de Proteção – Corrosão	N.A.	A
		Deterioração do maciço de proteção em betão	N.A.	A
	Alinhamento 3 - Nível 1	Eflorescência	N.A.	B
		Caixa de Proteção – Corrosão	N.A.	B
		Escorrência de óxido de ferro ou água	N.A.	B
	Alinhamento 4 - Nível 1	Escorrência de óxido de ferro ou água	N.A.	A
	Alinhamento 1 - Nível 2	Eflorescência	N.A.	B
		Caixa de Proteção – Corrosão	N.A.	A
		Escorrência de óxido de ferro ou água	N.A.	A
	Alinhamento 2 - Nível 2	Caixa de Proteção – Corrosão	N.A.	A
		Escorrência de óxido de ferro ou água	N.A.	B

*N.A. – Não Aplicável

Tabela 41 - Continuação das patologias identificadas através da inspeção visual ao muro M07.

Componente	Subcomponente	Patologia	E.C.	E.M.
Ancoragens	Alinhamento 3 - Nível 2	Eflorescência	N.A.	B
		Caixa de Proteção – Corrosão	N.A.	A
		Escorrência de óxido de ferro ou água	N.A.	A
	CC1	Deterioração/Insuficiência do vedante	N.A.	B
	CC2	Desentrançamento dos fios dos cordões	2	N.A.
		Eflorescência	N.A.	B
	CC3	Escorrência de óxido de ferro ou água	N.A.	A
	CC4	Eflorescência	N.A.	B
	CC5	Deterioração/Insuficiência do vedante	N.A.	A
		Eflorescência	N.A.	A
	CC6	Desentrançamento dos fios dos cordões	2	N.A.
	CC7	Escorrência de óxido de ferro ou água	N.A.	A
		Caixa de Proteção – Não abre**	N.A.	A
	CC8	Caixa de Proteção – Não abre**	N.A.	A
	CC9	Eflorescência	N.A.	A
	CC10	Caixa de Proteção – Não abre**	N.A.	A

*N.A. – Não Aplicável **Sem acesso à caixa de proteção devido à altura do muro.

À semelhança do efetuado para o muro M02, algumas patologias aparecem com a indicação de não ser aplicável o cálculo do estado de conservação, uma vez que não são consideradas patologias de conservação, mas sim de manutenção, encontrando-se associadas a ações de manutenção. Do mesmo modo, a patologia eflorescência apresenta uma tipificação distinta quando relacionada com as ancoragens e níveis. No que concerne aos níveis, a ocorrência de eflorescências encontra-se associada à presença de superfícies partidas e fissuras no paramento do muro que, por sua vez, são patologias que necessitam de ações e intervenções de carácter estrutural e conservativo. Por sua vez, quando associada às ancoragens, a ocorrência de eflorescências pressupõe a presença de água no interior, a qual carece das ações de manutenção elencadas para o muro M02, relacionadas com a monitorização e garantia do correto funcionamento dos órgãos de drenagem profunda e das caixas de proteção e/ou maciços de proteção em betão.

No que diz respeito aos alvos topográficos e aos inclinómetros, estes encontram-se em conformidade, sem registo de patologias. Por sua vez, a drenagem profunda não foi inspecionada, dada a complexidade associada.

As principais patologias associadas às ancoragens foram similares às identificadas para o muro do caso de estudo anterior. Com a particularidade de no presente muro, terem sido removidas as caixas de proteção, que permitiu a inspeção visual da cabeça das ancoragens.

Nestas, verificou-se o desenrançamento dos fios dos cordões em duas células de carga, patologia essa que deverá estar associada a deficiências construtivas, nomeadamente no processo de pré-esforço.

Da inspeção realizada por parte do ISQ, resultou um relatório detalhado com o estado de cada ancoragem, acompanhado dos resultados obtidos nos ensaios efetuados.

5.2.7. Inspeção técnica e ensaio de endoscopia às ancoragens

Com a finalidade de avaliar o Estado de Conservação das ancoragens de um modo não destrutivo, para além da inspeção visual, foram realizados alguns ensaios complementares. Para a inspeção ao interior da ancoragem, nomeadamente no espaço não selado, junto à placa de distribuição, foi utilizado um endoscópio com duas câmaras, uma frontal e uma lateral, com capacidade de rotação a 360°, facilitando a visualização de todo o espaço não selado da ancoragem.

É fundamental referir que, no processo construtivo de uma ancoragem, é comum a selagem até ao topo, conferindo uma proteção contra a infiltração de água.

Neste sentido, e tendo em consideração que os cordões se encontram embainhados individualmente, era admitido, numa fase inicial, que o endoscópio apenas conseguiria analisar um comprimento relativamente baixo.

Face ao difícil acesso às caixas de proteção das ancoragens do alinhamento 3 do segundo nível, apenas foi possível o acesso, inspeção e realização de ensaios a 7 das 10 células de carga existentes. Assim, os elementos CC7, CC8 e CC10 não foram inspecionados, por falta de acesso do camião grua.

As restantes células de carga foram devidamente inspecionadas, encontrando-se, de seguida, as patologias observáveis na inspeção técnica às cabeças das ancoragens, acompanhadas das observações provenientes da endoscopia.

- **Ancoragem CC1**

A cabeça da ancoragem apresenta-se em bom Estado de Conservação, assim como a placa e os cordões exteriores. A célula de carga encontra-se em funcionamento, tendo-se registado um valor de 930 kN para a carga residual.

A ancoragem é constituída por 5 cordões de 7 fios cada, com 5 mm de diâmetro.

No interior, foi verificado um comprimento de cerca de 12 cm sem selagem, tendo-se presenciado a existência de eflorescências no interior, evidenciando a passagem de água pelo interior. Os cordões não apresentam proteção, existindo alguns com evidências de corrosão superficial.

- **Ancoragem CC2**

A cabeça da ancoragem apresenta sinais claros de saída de água do interior da ancoragem pelo negativo inferior da placa, encontrando-se esta em bom estado. A porção exterior dos fios não apresenta sinais de corrosão; no entanto, no cordão central, os fios não estão agrupados. A célula de carga encontra-se aparentemente fora de serviço, não tendo sido registada leitura.

A ancoragem é constituída por 5 cordões de 7 fios cada, com 5 mm de diâmetro.

No interior, foi verificado um comprimento de cerca de 10 cm sem selagem, tendo sido evidentes muitas eflorescências e fios com sinais de corrosão superficial.

- **Ancoragem CC3**

A cabeça da ancoragem apresenta-se em bom Estado de Conservação, assim como a placa e os cordões exteriores. A célula de carga encontra-se aparentemente fora de serviço, não tendo sido registada leitura.

A ancoragem é constituída por 5 cordões de 7 fios cada, com 5 mm de diâmetro.

No interior, foi verificado um comprimento de cerca de 12 cm sem selagem, confirmando-se a existência de água no interior, com resíduos arrastados pela mesma, e eflorescências. Os cordões apresentam evidências de corrosão avançada.

- **Ancoragem CC4**

A cabeça da ancoragem apresenta-se em bom Estado de Conservação, assim como a placa. A célula de carga encontra-se em funcionamento, tendo-se registado um valor de 660 kN para a carga residual.

A ancoragem é constituída por 5 cordões de 7 fios cada, com 5 mm de diâmetro.

O interior da ancoragem apresenta eflorescências, resultantes da passagem de água pelo betão, que acaba por ser encaminhada para o interior da ancoragem. Foi verificado um comprimento de cerca de 20 cm sem selagem, com sinais evidentes de presença de água e corrosão avançada.

- **Ancoragem CC5**

A cabeça da ancoragem apresenta-se em bom Estado de Conservação, assim como a placa. A porção exterior dos cabos não apresenta anomalias visíveis. A célula de carga encontra-se em funcionamento, tendo-se registado um valor de 642 kN para a carga residual.

A ancoragem é constituída por 5 cordões de 7 fios cada, com 5 mm de diâmetro.

No interior, foi verificado um comprimento de cerca de 15 cm sem selagem, com sinais de humidade e aranhas no interior. No entanto, os cordões expostos estão em bom estado, sem sinais de corrosão, detetando-se apenas corrosão superficial no interior da bainha.

- **Ancoragem CC6**

A cabeça da ancoragem apresenta-se em bom Estado de Conservação, assim como a placa. Um dos cabos apresenta os fios destorcidos, isto é, não agrupados como os restantes. A célula de carga encontra-se em funcionamento, tendo-se registado um valor de 630 kN para a carga residual.

A ancoragem é constituída por 5 cordões de 7 fios cada, com 5 mm de diâmetro.

No interior, foi verificado um comprimento de cerca de 12 cm sem selagem, com sinais de eflorescências, evidenciando a passagem de água pelo interior. Os cordões expostos apresentam corrosão avançada.

- **Ancoragem CC9**

A cabeça da ancoragem apresenta-se em bom Estado de Conservação, assim como a placa e os cordões exteriores. A célula de carga encontra-se em funcionamento, tendo-se registado um valor de 295 kN para a carga residual.

A ancoragem é constituída por 5 cordões, sendo que o cordão central tem 7 fios e os restantes 4 cordões apenas apresentam 6 fios visíveis, todos com 5 mm de diâmetro.

No interior, foi verificado um comprimento de cerca de 12 cm sem selagem, com presença de eflorescências. Os cordões expostos apresentam corrosão superficial, sendo que um dos conjuntos estava sem sinais de qualquer corrosão.

Na Figura 35 encontram-se algumas patologias observadas com recurso ao endoscópio, para as células de carga CC1, CC3, CC4 e CC6, a título de exemplo.

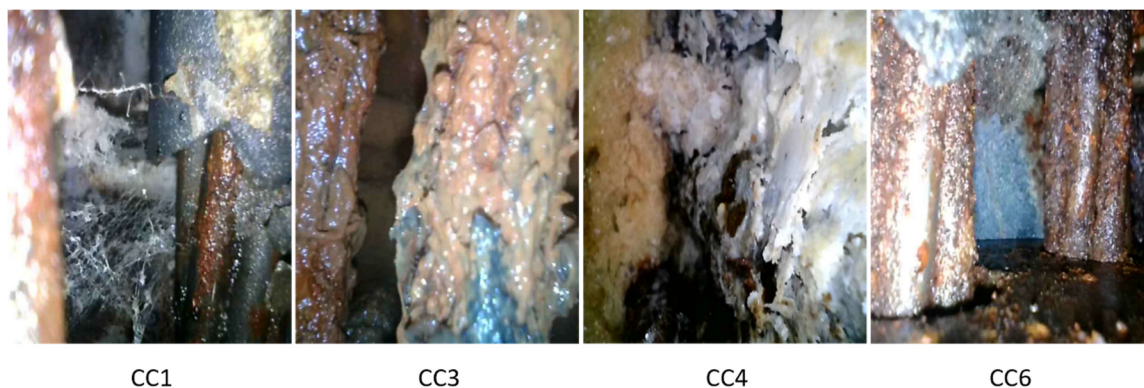


Figura 35 - Patologias observáveis com recurso ao endoscópio das células de carga CC1, CC3, CC4 e CC6.

5.2.8. Ensaio complementares

Para além da endoscopia, foram preconizados mais alguns ensaios, com o objetivo de complementar a informação fornecida. Neste sentido, foi executado o ensaio de resistência elétrica, pesquisa termográfica, ensaios com georadar e ultrassom.

- **Medição da resistência de isolamento dos cabos de aço**

Relativamente a este ensaio, foi possível a sua aplicação nas 7 ancoragens ensaiadas previamente; no entanto, não foi possível retirar muitas conclusões. Os valores obtidos nos ensaios foram inferiores ao valor definido pelos critérios de aceitação da Norma EN 1537:2013 (E) anexo B, tabela B1, registando valores de resistência elétrica $<0,001 \text{ M}\Omega$. A distinção de valores por cada cabo, em cada ancoragem, não é relevante uma vez que as pontas dos cabos na extremidade do bolbo da ancoragem se encontram amarradas em conjunto. Assim, os valores obtidos permitem concluir que os cabos não se encontram isolados do terreno, sendo este um resultado expectável face ao processo construtivo utilizado, o qual não exigia o isolamento elétrico das ancoragens. Este ensaio encontra-se significativamente padronizado para ancoragens novas e recentes, na qual já deve ser considerado esse isolamento elétrico.

- **Pesquisa termográfica**

Com recurso a uma câmara termográfica, foi realizada uma pesquisa nas ancoragens instrumentadas com acesso, bem como em algumas áreas genéricas do muro. Este ensaio foi efetuado com o objetivo de perceber se seriam expectáveis gradientes térmicos com significado pertinente para análise da condição das ancoragens.

Dada a geometria do muro, e o recurso a placas pré-fabricadas em betão, verificou-se que a inércia térmica do elemento impediu que o resultado da pesquisa fosse proveitoso, não tendo sido possível retirar conclusões acerca da condição das ancoragens.

A Figura 36 apresenta o registo termográfico para a CC4, a título de exemplo.

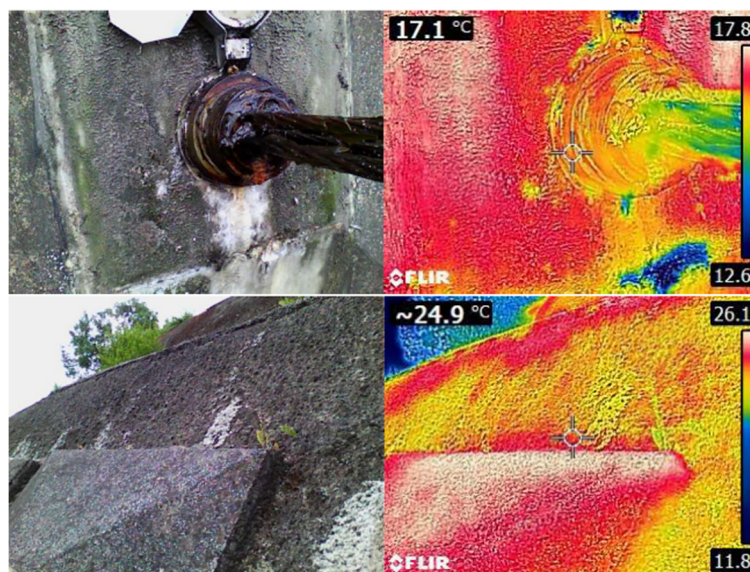


Figura 36 - Registro termográfico da CC4 e de zonas correntes.

Assim, a pesquisa termográfica permitiu realçar as situações de existência de infiltrações que, no entanto, já haviam sido constatadas pela acumulação de sais lixiviados nas superfícies de escorrência. Os restantes gradientes são expectáveis, considerando a incidência de radiação solar, bem como os diferentes coeficientes de absorção dos materiais.

- **Ensaio com georadar**

Apesar de ser conhecida a armadura das placas pré-fabricadas de betão que protegem as ancoragens, foi realizado um ensaio com georadar, no sentido de aferir a configuração e posicionamento da armadura existente, apresentando-se na Figura 37, a tomografia 2D e 3D do resultado obtido.

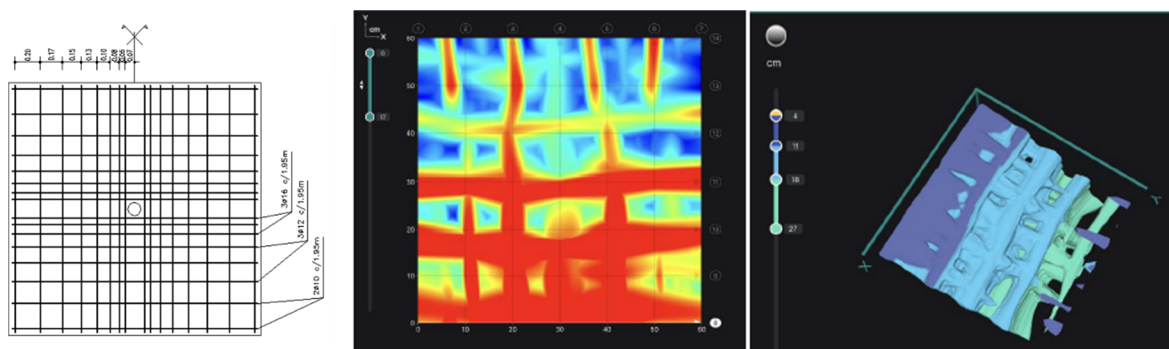


Figura 37 - Esquema da armadura definida em projeto, acompanhada dos resultados da tomografia 2D e 3D.

Tendo por base a comparação da armadura definida em projeto e os resultados do ensaio com georadar, conclui-se que a armadura se encontra em conformidade.

- **Ensaio com ultrassom (Pulse Eco)**

Foi ainda realizado um teste de ultrassons, pulse eco, para tentar aferir a existência de ar na porção inicial de uma bainha não instrumentada, tendo-se obtido o resultado presente na Figura 38.

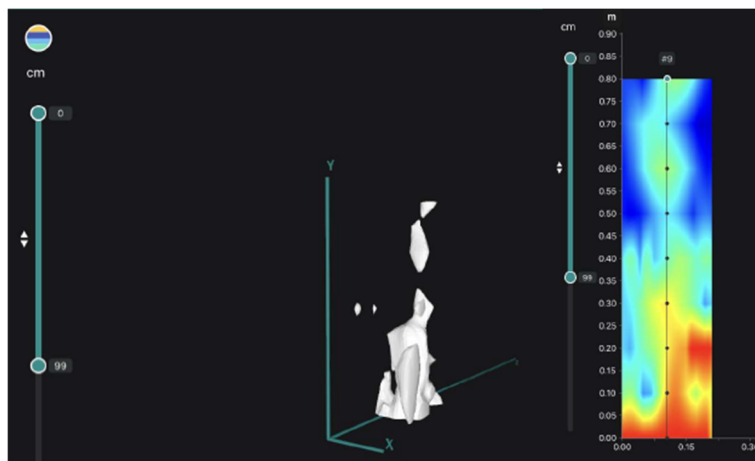


Figura 38 - Resultados da tomografia 2D e 3D com pulse eco.

Este ensaio revelou-se bastante útil, na medida em que conseguiu detetar ar na profundidade compreendida entre os 50-80 cm (no corpo 3D, o ar encontra-se representado a branco). Pode-se verificar a presença de ar no comprimento inicial da bainha, seguida de uma interrupção, com preenchimento de calda, e posterior reaparecimento de vazios, demonstrando que a calda não se apresenta íntegra e uniforme por todo o comprimento inspecionado. Este facto é relativamente comum na última porção da bainha, pelo facto de ser deixado um espaço livre entre o fim da bainha e a cabeça da ancoragem.

O equipamento apresenta a capacidade de leitura até 3 m, em peças maciças em betão. No entanto, apenas efetua leituras em matéria sólida contínua. Ou seja, se estivermos perante um muro com um paramento de cerca de 25 cm, diretamente em contacto com o terreno, o valor lido corresponde ao ar existente no tardo do muro, no contacto com o terreno. Contudo, se existir um contraforte e uma zona maciça na amarração da ancoragem com propagação para o interior, então torna-se possível a leitura da integridade da calda no interior da bainha.

No presente caso de estudo, dado que o terreno se encontra revestido com betão projetado, foi possível a aplicação correta do ensaio, uma vez que não existe uma “camada de ar” na interface paramento-terreno.

5.2.9. Síntese dos ensaios aplicados

Após o término das inspeções e formulação do relatório com identificação de resultados e observações, estabeleceu-se, na Tabela 42, uma síntese com a aplicação prática de cada ensaio aplicado no presente caso de estudo, permitindo elencar o seu alcance e funcionalidade.

Tabela 42 - Síntese da funcionalidade dos ensaios aplicados.

Ensaio	Aplicação prática no caso de estudo
Inspeção visual	Observação e detecção de patologias nos componentes visíveis da estrutura, em particular na cabeça da ancoragem.
Endoscopia	Observação interna da ancoragem, com identificação do comprimento não selado e patologias fundamentais do estado de integridade dos cordões, como é o de corrosão e eflorescências.
Medição da resistência elétrica	Avaliação do isolamento dos cabos de aço da ancoragem face ao terreno.
Pesquisa termográfica	Realce de situações de existência de infiltrações e fissuras.
Ensaio com georadar	Aferição da configuração e posicionamento da armadura existente nos painéis pré-fabricados em betão.
Ensaio com ultrassom (pulse eco)	Aferição do comprimento e integridade da calda no último metro de extensão, junto à cabeça da ancoragem.

5.2.10. Atribuição dos estados de conservação e de manutenção

Uma vez finalizado o processo de inspeção do muro ancorado objeto do caso de estudo, foi aplicada a metodologia proposta, tendo por base as patologias registadas na Tabela 40, às quais foram adicionadas as patologias decorrentes do ensaio de endoscopia, nomeadamente armadura/cordões expostos, cordões com corrosão superficial, cordões com corrosão avançada e eflorescência, nas diversas células de carga inspecionadas.

Todo o processo foi similar ao efetuado para o primeiro caso de estudo, sendo que, para o presente, foram considerados igualmente os pesos indicados na Tabela 35, tendo em consideração que a drenagem profunda não foi inspecionada.

Foram igualmente aplicados os dois cenários, com o objetivo de analisar os seus resultados, tendo sido gerados dois relatórios de inspeção, cada um relativo à hipótese a estudar. Deste modo, foi possível a obtenção da Tabela 43, a qual apresenta os estados de conservação para cada componente e o estado geral do muro, para as duas hipóteses propostas. De modo a realizar uma análise crítica, foram incluídos na tabela os estados obtidos na última inspeção completa, realizada no início do ano de 2023, na qual não se encontra o novo componente ancoragens.

Tabela 43 - Estados de Conservação do muro M07.

Componentes	Última Inspeção Completa (2023)		1ª Hipótese		2ª Hipótese	
Banquetas	●	EC_2	●	EC_2	●	EC_2
Níveis	●	EC_3	●	EC_3	●	EC_3
Drenagem Superficial	●	EC_3	●	EC_3	●	EC_3
Células de Carga	●	EC_1	--	--	--	--
Alvos Topográficos	●	EC_1	●	EC_1	●	EC_1
Inclinómetros	●	EC_1	●	EC_1	●	EC_1
Ancoragens	--	--	●	EC_4	●	EC_4
GLOBAL	●	EC_2	●	EC_3	●	EC_3

De acordo com a Tabela 43, é possível tecer algumas considerações. De um modo geral, não existem alterações significativas entre as três inspeções. Para os componentes previamente existentes, não existiram alterações, uma vez que as patologias de manutenção são idênticas. Para o caso dos níveis, neste caso de estudo não se verificaram alterações no seu Estado de Conservação, uma vez que apenas uma patologia pertencia às ancoragens, sendo que as restantes pertenciam por completo aos níveis, ao contrário do observado no caso de estudo anterior.

Quanto ao novo componente, foram registadas algumas patologias que proporcionaram a atribuição de um estado EC4, em particular a corrosão avançada dos cordões. De referir também que as células de carga não apresentam EC uma vez que as suas patologias também foram registadas nas ancoragens, tendo em consideração que as células de carga dizem respeito a um componente não estrutural, e que passará a fazer parte de um novo projeto de instrumentação.

Comparando as duas hipóteses propostas, não existem diferenças entre estas. Este facto seria expectável uma vez que a distribuição dos pesos de cada componente não é significativa, não existindo uma grande dispersão entre estes.

Relativamente aos estados de manutenção, o valor global corresponde ao estado mais gravoso dos estados atribuídos aos componentes. Assim, a Tabela 44 indica os estados de manutenção para o muro M07, comparando os resultados da última inspeção completa, realizada em 2023, com as duas hipóteses a analisar.

Tabela 44 - Estados de Manutenção do muro M07.

Componentes	Última Inspeção Completa (2023)		1ª Hipótese		2ª Hipótese	
Banquetas	●	EM_A	●	EM_A	●	EM_A
Níveis	●	EM_B	●	EM_B	●	EM_B
Drenagem Superficial	●	EM_B	●	EM_B	●	EM_B
Células de Carga	●	EM_A	--	--	--	--
Alvos Topográficos	●	EM_A	●	EM_A	●	EM_A
Inclinómetros	●	EM_A	●	EM_A	●	EM_A
Ancoragens	--	--	●	EM_B	●	EM_B
GLOBAL	●	EM_B	●	EM_B	●	EM_B

Analisando a Tabela 44, conclui-se que não existem diferenças entre as três inspeções. Como o Estado de Manutenção é obtido segundo o estado mais gravoso, na presente situação, o estado mais gravoso corresponde a EM_B, o qual já acontecia previamente à introdução das ancoragens. Como o seu Estado de Manutenção é igualmente EM_B, não se verifica qualquer alteração dos estados.

De modo a ser possível a análise e avaliação do comportamento global do muro e do seu estado, torna-se fundamental, à semelhança do efetuado para o muro M02, a observação de informações provenientes da campanha de instrumentação, em conjunto com as patologias observáveis e resultantes da inspeção visual. De acordo com o relatório da inspeção, conclui-se que a estrutura apresenta um estado de conservação médio, em grande parte devido à presença de cordões com corrosão avançada. Neste sentido, deverão ser proporcionadas ações conservativas e de proteção, relacionadas com a selagem da porção da ancoragem que não se encontra selada, de modo a travar a progressão da corrosão em curso. Para além destes, devem ser implementadas ações de manutenção, de modo a repor o bom funcionamento dos seus componentes, prevenindo a ocorrência de patologias de carácter mais gravoso, que poderiam comprometer a estabilidade da estrutura.

Por sua vez, quando analisadas as leituras das campanhas de instrumentação, verifica-se que a presente estrutura exibe uma célula de carga no nível de alarme e duas células de carga no nível de alerta, encontrando-se as restantes estáveis; para além disso, os alvos topográficos e inclinómetros instalados não apresentam movimentos considerados significativos.

A conjugação destes factos permite concluir que, apesar de a estrutura se encontrar visivelmente sem patologias graves (apenas dispõe de situações pontuais de fissuração, elementos partidos e

obstruções), dispõe de alguns valores preocupantes relativamente à instrumentação, em particular das células de carga em nível de alerta e de alarme. Assim, tendo por base esta análise conjunta, verifica-se que, a nível estrutural, o muro carece de pequenas intervenções relacionadas com os níveis e drenagem superficial, com a finalidade de aumentar a resiliência da estrutura, aos quais se adicionam inspeções complementares e campanhas de instrumentação com uma periodicidade mais reduzida, de modo a compreender e avaliar a variação da carga ao longo do tempo.

O relatório da inspeção produzido pelo SustIMS para o muro M02 encontra-se disponível no Anexo 3.

5.3. Proposta de ações de conservação e de manutenção

Após a realização de inspeções à estrutura, caso as ancoragens apresentem um nível de deterioração e desempenho inferior ao nível exigido em projeto, devem ser aplicadas medidas com o objetivo de garantir o cumprimento dos requisitos de desempenho durante a sua vida útil.

Assim sendo, são apresentadas, de seguida, as ações de conservação e de manutenção para os dois casos de estudo.

- **1º Caso de Estudo - CN.BRG.A7.039+265.ME.C.D.SL**

De acordo com o Estado de Manutenção definido pela Ascendi, as ancoragens deverão sofrer trabalhos de manutenção num prazo de 12 meses. No entanto, a ancoragem localizada ao pK 39+312 deverá ser alvo de ações de reparação do betão do maciço de proteção, uma vez que este apresenta a exposição da armadura. Os trabalhos devem decorrer num prazo de 6 meses.

Tendo em consideração que não foi possível a inspeção do muro ancorado devido à selagem das caixas de proteção, recomenda-se, em primeiro lugar:

- Realização de uma empreitada para remoção e substituição das caixas de proteção das ancoragens instrumentadas, com um sistema que facilite a sua remoção e consequente reposição.

Apesar de os movimentos traduzidos pelos inclinómetros serem de muita reduzida magnitude, os valores de pré-esforço instalados por grande parte das células de carga (com exceção da CC2 e CC6) justificam uma inspeção complementar, aprofundada e mais detalhada às ancoragens, uma vez que a CC1 se encontra aparentemente inoperacional e as restantes apresentam perdas de carga bastante significativas.

Neste sentido, torna-se fundamental:

- Averiguar e despistar o mau funcionamento das células de carga, através do contacto com o seu fabricante.

O posicionamento do ponteiro do manómetro pode indicar a perda completa de carga ou que este não se encontra operacional. A solução passaria pela avaliação junto do fabricante do modelo específico, se é possível retirar o manómetro existente e substituí-lo por outro, o qual iria permitir despistar o seu mau funcionamento.

Caso este processo não seja viável, as soluções devem passar por:

- Reforço da instrumentação presente, através da instalação de alvos topográficos, os quais se encontravam presentes na fase construtiva, de modo a avaliar os deslocamentos da estrutura, em complemento com os inclinómetros existentes.
- Aumento da frequência de aquisição de leituras;
- Aplicação de outros ensaios não destrutivos que permitam estimar a carga residual da ancoragem.

Um ensaio que tem apresentado bons resultados corresponde ao método de vibração. Segundo (Yamazaki et al., 2023), é possível estimar a carga residual através da frequência de vibração recebida, originada por um pequeno vibrador inserido nos cordões remanescentes da cabeça da ancoragem. Este método permitia confrontar o valor lido na célula de carga com o resultado do ensaio, fornecendo um método de despiste de mau funcionamento do manómetro.

Em paralelo, devem também ser executados ensaios complementares, como o ensaio de endoscopia, ensaio com ultrassom, medição da resistência elétrica, de modo a averiguar o Estado de Conservação das ancoragens, em particular da cabeça da ancoragem e dos cordões.

A ser confirmada uma efetiva perda significativa de pré-esforço deverá ser contactado o projetista, no sentido de avaliar operações de reforço da estrutura.

- **2º Caso de Estudo - CN.BRG.A7.045+310.ME.C.D.SL**

De acordo com o Estado de Manutenção definido pela Ascendi, as ancoragens deverão sofrer trabalhos de manutenção num prazo de 12 meses.

No âmbito destas ações de manutenção, podem ser seguidas as recomendações por parte do ISQ, sendo essas:

-
- Aplicação de tratamento anticorrosivo nas placas de proteção mecânica das ancoragens, com preparação prévia das superfícies;
 - Instalação de caixas de proteção das ancoragens instrumentadas com um sistema que facilite a sua remoção e reaplicação expedita, facilitando uma maior frequência da sua inspeção, ao contrário do sistema existente;
 - Reaplicação do lubrificante, dado que para a realização da endoscopia foi necessária a sua remoção parcial, precedido de uma selagem da porção de ancoragem não selada, de forma a travar a progressão da corrosão em curso.

Relativamente à integridade das ancoragens e consequente estabilidade estrutural do muro, recomendam:

- Embora os movimentos traduzidos pelos alvos topográficos e inclinómetros não denotem indícios de alerta, o nível de pré-esforço instalado proporciona um incremento do plano de instrumentação existente, na sequência do definido em projeto, uma vez que o nível de alarme se encontra largamente excedido, em particular na célula de carga CC9.
- O reforço de instrumentação poderá passar pela introdução de instrumentos adicionais, bem como pelo incremento da frequência das leituras. Seria particularmente útil a obtenção da leitura dos extensómetros de barra presumivelmente instalados, conforme preconizado em projeto, uma vez que estes permitem avaliar o comportamento do maciço em profundidade.
- Averiguar e despistar o mau funcionamento das células de carga, através do contacto com o seu fabricante, em particular da CC2 e CC3 – recomendação de aplicação do método de vibração, à semelhança do caso de estudo anterior.
- Por fim, a consulta do projetista, no sentido de avaliar a eventual necessidade de medidas de estabilização do talude existente.

Em suma, as medidas a aplicar para os dois casos de estudo analisados encontram-se elencadas na Tabela 45.

Tabela 45 - Síntese da proposta de ações de manutenção e de conservação para os dois casos de estudo.

Caso de Estudo	Proposta de ações
1º Caso de Estudo - Muro M02	Substituição das caixas de proteção das ancoragens instrumentadas, com um sistema que facilite a sua remoção e consequente reposição.
	Despiste do mau funcionamento das células de carga, através do contacto com o seu fabricante.
	Reforço da instrumentação presente, através da instalação de alvos topográficos.
	Aumento da frequência de aquisição de leituras
	Aplicação de outros ensaios não destrutivos que permitam estimar a carga residual da ancoragem.
	Contacto com o projetista, no sentido de avaliar operações de reforço da estrutura.
2º Caso de Estudo - Muro M07	Aplicação de tratamento anticorrosivo nas placas de proteção mecânica das ancoragens, com preparação prévia das superfícies.
	Instalação de caixas de proteção das ancoragens instrumentadas com um sistema que facilite a sua remoção e reaplicação expedita.
	Reaplicação do lubrificante, precedido de uma selagem da porção de ancoragem não selada.
	Reforço do plano de instrumentação existente e incremento da frequência das leituras.
	Despiste do mau funcionamento das células de carga, através do contacto com o seu fabricante.
	Consulta do projetista, no sentido de avaliar a eventual necessidade de medidas de estabilização do talude existente.

(página propositadamente em branco)

Capítulo VI

Conclusões

(página propositadamente em branco)

6. Conclusões

Um dos principais objetivos no horizonte desta dissertação consistia na identificação das melhores práticas nacionais e internacionais no âmbito da observação e auscultação das ancoragens, ao longo de todo o seu ciclo de vida. O enfoque deste documento prendeu-se com a validação do método de cálculo do Estado de Conservação e de Manutenção na rede Ascendi, para as ancoragens.

As ancoragens possibilitam a restrição dos deslocamentos de uma estrutura de contenção, proporcionando a estabilidade do maciço. São elementos projetados para prevenir os possíveis mecanismos de rotura, podendo estes ocorrer na armadura ou cabeça da ancoragem, interface entre a armadura e a calda de injeção, interface entre a calda e o terreno, ou então perda de estabilidade global da estrutura.

A nível da estabilidade global, devem ser avaliados diversos fatores, de modo a minimizar o risco de ocorrência, como é o caso da carga de pré-esforço aplicada, as suas variações, o processo de fluência e o relaxamento da ancoragem.

No plano de observação e auscultação devem ser incluídas as inspeções visuais, uma vez que estas permitem ao Inspetor, aferir sobre o estado dos componentes externos de uma estrutura, permitindo a identificação de patologias. A inspeção visual faz parte do ciclo das atividades principais desenvolvidas anualmente nas Concessões e Subconcessões da Ascendi. A simbiose desta atividade com a observação e leitura da instrumentação, permite definir um plano de ações de manutenção, com carácter paliativo, e ações de conservação, com carácter corretivo. Para além disso, permite uma racionalização dos investimentos e minimização ou mitigação do desenvolvimento de patologias, que podem comprometer a estabilidade das estruturas geotécnicas e a circulação com segurança dos utentes, reduzindo o nível de serviço.

O Estado de Conservação de uma estrutura geotécnica depende de todos os seus componentes, quer sejam estes visíveis por completo ou não, como é o caso das ancoragens. Assume-se que estes se encontram igualmente sujeitos a degradação, facto que a longo prazo, pode conduzir ao aparecimento de patologias na estrutura, que a coloque em risco de rotura.

À semelhança do que se observa na bibliografia nacional e internacional relativamente à atribuição dos estados, verifica-se que a metodologia atualmente em vigor utilizada pela Ascendi é adequada para identificar patologias, ocorrências e variações das grandezas geométricas e mecânicas e, consequentemente, atribuição dos estados de conservação e de manutenção.

Um dos alvos principais do estágio, que também foi o objetivo principal da dissertação, resume-se no acréscimo de um novo componente estrutural, designado por “Ancoragens”, que entrando no cálculo dos estados, permite retirar conclusões mais completas e ajustadas ao estado global das estruturas geotécnicas.

Relativamente à definição da proposta de cadastro das estruturas ancoradas, após várias otimizações, definiu-se a solução final, na qual as ancoragens são agrupadas por alinhamentos horizontais. Relativamente às ancoragens instrumentadas, estas são cadastradas como elementos individuais, correspondendo a subcomponentes do componente ancoragens. Cada um é caracterizado por um conjunto de atributos dinâmicos, os quais correspondem às informações mais pertinentes sobre cada elemento em questão.

Tendo em vista a criação do novo componente estrutural, foi necessário proceder-se a uma nova atribuição de pesos a cada componente. Para tal, foram estudados três possíveis cenários. Após discussão e pensamento crítico, optou-se por manter os dois últimos cenários de atribuição dos pesos aos componentes (Hipótese 1 e Hipótese 2), até à sua aplicação nos casos de estudo.

Com base na pesquisa e referências bibliográficas, foram identificadas um conjunto de patologias associadas às ancoragens, as quais permitiram a otimização e melhoria do catálogo previamente existente em cerca de quatro vezes mais patologias.

Com o propósito de validar a proposta de metodologia a adotar pela Ascendi, esta foi aplicada a dois casos de estudo. A primeira estrutura geotécnica analisada corresponde a um muro ancorado, denominado M02, localizado na A7, ao pK 039+265. Esta estrutura já tem sido acompanhada, uma vez que 4 das 6 células de carga instaladas se encontram acima do nível de alarme definido. Em particular, uma delas já não apresenta carga instalada.

A partir de uma análise de gabinete, analisaram-se as amplitudes térmicas diárias e sazonais, as quais provocam a dilatação e contração da ancoragem. Dado o seu posicionamento, este encontra-se sujeito a grandes variações térmicas, podendo-se concluir que, para o muro M02, a temperatura não tem influenciado a perda de carga das ancoragens, tendo apenas acompanhado ligeiramente essa variação de carga. Relativamente à campanha anual de leituras dos inclinómetros, não foram detetados deslocamentos significativos, encontrando-se todos os valores dentro dos limites definidos como estáveis.

Assim, foi proposta a avaliação do estado das ancoragens de forma puramente não destrutiva, através de uma prestação de serviços, na qual se procurou desenvolver um conjunto de atividades relacionadas com a inspeção visual da cabeça da ancoragem e aplicação de ensaios. No entanto, no dia da inspeção, os Inspetores não conseguiram proceder à remoção das caixas de proteção, uma

vez que estas se encontravam seladas às faces dos níveis. Após várias tentativas de remoção, todas sem sucesso, deu-se por terminada a realização dos trabalhos propostos, não tendo sido possível a avaliação do estado das ancoragens. Contudo, foi possível a inspeção visual do muro aos seus componentes, incluindo as ancoragens.

Foram detetadas diversas patologias, as quais permitiram a aplicação da metodologia proposta, embora só com recurso a patologias visuais e externas. Desta aplicação, resultaram diversos estados para a estrutura. A nível do Estado de Conservação, não existem alterações significativas, sendo este um facto expectável, uma vez que a distribuição dos pesos de cada componente não é significativa, não existindo uma grande disparidade entre estes. Em relação ao Estado de Manutenção, este piorou com o acréscimo do novo componente, ao qual foi atribuído um Estado de Manutenção mau.

Como ações de conservação e de manutenção, é recomendada a substituição urgente das caixas de proteção, de modo a ser possível a realização da inspeção às ancoragens, com aplicação de ensaios não destrutivos. Torna-se essencial despistar o mau funcionamento dos manómetros existentes, através do contacto com o seu fabricante. Seria interessante perceber se é possível a remoção e substituição do manómetro, sem necessidade de nova blocagem à ancoragem.

No entanto, deve-se procurar reforçar a instrumentação presente, em particular com a instalação de alvos topográficos, a fim de avaliar os deslocamentos da estrutura. Deve também, por isso, ser aumentada a frequência de aquisição das leituras.

Em paralelo, podem ser aplicados outros ensaios não destrutivos que permitem estimar a carga residual da ancoragem, de modo a aferir e confrontar com o valor lido na célula. Segundo (Yamazaki et al., 2023), a aplicação do método de vibração tem apresentado bons resultados quando comparado aos valores lidos com o ensaio de *Lift-Off*.

Este primeiro caso de estudo foi fundamental, na medida em que permitiu assegurar a aplicação da metodologia nas restantes estruturas geotécnicas. Isto é, numa primeira fase, apenas serão executadas inspeções visuais aos componentes externos. Face às adversidades ocorridas, este foi o processo seguido para o presente caso. Assim, a metodologia foi aplicada tendo por base as patologias resultantes desse processo, permitindo concluir que tanto a metodologia, como o catálogo de patologias proposto, se enquadram na realidade das estruturas geotécnicas da rede Ascendi.

As inspeções complementares devem ser realizadas sempre que existam indícios de instabilidade da estrutura geotécnica, acompanhados de valores anómalos resultantes das campanhas de leitura da instrumentação.

Tendo em vista os contratempos e dificuldades sentidas na inspeção das ancoragens do muro do caso de estudo anterior, foi aplicada a metodologia a um segundo caso de estudo, denominado por muro M07, localizado na A4, ao pK 045+310.

Da campanha de instrumentação resultou que uma célula de carga se encontra em estado de alarme, duas em estado de alerta, cinco estáveis e duas sem leituras registadas. A nível dos restantes equipamentos de monitorização, não foram detetados movimentos e deslocamentos significativos.

De igual modo, foi efetuada uma análise de gabinete, a qual permitiu observar um acompanhamento da carga face à temperatura ambiente registada, isto é, quando a temperatura aumenta, a carga tende a aumentar, e vice-versa.

Dos ensaios não destrutivos aplicados a ancoragens, foi executado o ensaio de resistência elétrica, o qual permitiu concluir que os cabos não se encontram isolados do terreno, o qual é expectável face ao processo construtivo utilizado. Foram também aplicados ensaios de endoscopia e inspeções visuais, os quais permitem salientar que todas as ancoragens apresentam uma porção de não selada que varia entre 10-20 cm, sendo que nas ancoragens CC2, CC3, CC4, CC6 e CC9 existe corrosão significativa nos cabos expostos.

Em todas as ancoragens foram visíveis eflorescências na porção não selada, evidenciando a passagem de água para o interior, onde se precipitam sais lixiviados do betão envolvente, causando um ambiente de reduzida proteção aos elementos metálicos existentes.

O nível de pré-esforço da ordem dos 930 kN, registado na CC1, denota uma tensão na armadura de cerca de 1 328 MPa, muito para além dos níveis regularmente exigíveis.

A pesquisa termográfica não permitiu retirar conclusões acerca do estado das ancoragens, apenas sobre situações de infiltrações e fissuras. Por sua vez, o ensaio com ultrassom permitiu aferir o comprimento de selagem e a integridade de calda no último metro de extensão. Face ao bom resultado proveniente do ensaio, este deverá ser aplicado em inspeções futuras, de modo a padronizar os resultados.

Foram detetadas diversas patologias, as quais permitiram a aplicação da metodologia proposta, através da inspeção visual e dos ensaios complementares. Desta, resultaram diversos estados para a estrutura. A nível do Estado de Conservação, não existem alterações significativas. Quanto ao novo componente, foram registadas algumas patologias que proporcionaram a atribuição de um estado EC4, em particular a corrosão avançada dos cordões. Em relação ao Estado de Manutenção, este manteve-se constante.

Quanto às ações de conservação e de manutenção a implementar, salienta-se a necessidade de confirmação com o fabricante do funcionamento dos manómetros, em particular da CC2 e CC3, que não dispõe de leituras desde 2012. Em paralelo, deve ser reforçado o plano de instrumentação e incrementada a frequência das leituras. Será particularmente interessante a obtenção da leitura dos extensómetros de barra presumivelmente instalados, conforme o projeto, uma vez que estes permitem avaliar o comportamento do maciço em profundidade.

Após o término da avaliação dos casos de estudo, foi possível selecionar qual o melhor cenário para distribuição dos pesos. Assim, conclui-se que a hipótese a selecionar corresponde à Hipótese 2, uma vez que esta uniformiza os pesos atribuídos por todos os componentes. As banquetas e os níveis apresentam uma grande relevância para a estrutura, na medida em que permitem identificar possíveis situações de instabilidade da estrutura, como fendas de tração, embarrigamentos ou depressões. A drenagem profunda e as ancoragens apresentam menos peso, uma vez que na grande maioria se encontram ocultas, podendo apenas ser registadas patologias associadas ao maciço/caixa de proteção, no decorrer de uma inspeção visual.

Deste modo, a distribuição dos pesos a considerar com a adição do novo componente é a seguinte: i) Banquetas – 20%; ii) Níveis – 30%; iii) Drenagem superficial – 25%; iv) Drenagem profunda – 10% e v) Ancoragens – 15%.

Como perspetivas futuras, propõe-se a aplicação da metodologia às restantes estruturas geotécnicas da rede Ascendi, de modo a uniformizar os estados e compreender a sua funcionalidade e praticidade de um modo mais global.

Para além disso, sugere-se o estudo da possibilidade de integração do projeto de instrumentação ao processo das inspeções visuais, de modo que estes dois procedimentos sejam considerados como apenas um, resultando num projeto agregado que associe as patologias registadas durante as inspeções visuais com as campanhas de leitura da instrumentação. Este deverá orientar para a aplicação de uma inspeção adicional e detalhada aos componentes com patologias graves e que indiquem uma situação de instabilidade, com particular enfoque para as ancoragens, com a respetiva realização de campanhas de inspeções visuais detalhadas e execução de ensaios complementares. Atualmente, este processo é realizado de modo individual, embora com a análise conjunta do comportamento estrutural do muro, tendo em consideração as informações obtidas em ambos os processos. Esta agregação tem como objetivo a integração de dois componentes fundamentais na avaliação do estado global da estrutura geotécnica, na medida em que permite a análise em simultâneo de todos os dados disponíveis relativos à estrutura.

Caso este processo seja aplicado, recomenda-se uma nova aferição e redistribuição dos pesos atribuídos aos componentes, com aumento do peso associado às ancoragens, uma vez que as patologias relacionadas com a variação de carga, consideradas fundamentais no que diz respeito ao elemento, passam a ser consideradas como estruturais, entrando para o cálculo do estado de conservação global da estrutura geotécnica. Este processo não deve ser considerado como um ciclo fechado, na medida em que deve ser reaberto sempre que existam novos materiais, tecnologias construtivas, equipamentos de monitorização e metodologias de inspeção.

Para a situação dos taludes suportados por medalhões ancorados, como o caso do muro M07, recomenda-se que o cálculo dos estados deva ser tratado de forma distinta. A importância que o componente “Níveis” assume num muro ancorado contínuo, deve ser superior à que este componente desempenha nestas estruturas com elementos isolados. Um exemplo prático desta situação pode ser traduzido pela eventual fissuração do paramento de um muro contínuo, a qual poderá estar associada a deslocamentos relativos entre duas ancoragens adjacentes. Num talude suportado por elementos isolados, esta fissuração não ocorrerá, e, por conseguinte, não poderá ser valorizada nestas estruturas.

Mais se adiciona a proposta de acréscimo da patologia “Sem Acesso”, uma vez que é uma realidade presente nas estruturas, em particular das que apresentam grandes dimensões em altura. Com a sua inclusão, contribui-se para a melhoria do catálogo de patologias. Este deverá ser complementado sempre que exista essa necessidade, tendo por base as patologias observadas no futuro.

Considera-se que a presente dissertação contribui para a melhoria da metodologia aplicada no contexto Ascendi, em particular para as estruturas ancoradas. A implementação sistemática da plataforma SustIMS permite o desenvolvimento sustentável da transição digital dos processos e procedimentos implementados, sendo estes de carácter inovador e progressivo.

Tendo por base a experiência e aprendizagem da Ascendi, seria pertinente a elaboração de um conjunto de medidas a adotar no projeto e na construção de eventuais muros associados a ancoragens definitivas, como complemento e sugestão de melhoria ao Caderno de Encargos estabelecido. Neste, podem ser detalhados aspetos que melhorem o desempenho das ancoragens, garantam uma maior longevidade, facilitem o acesso e a respetiva inspeção periódica, tornem mais ágil a aquisição de leituras da instrumentação instalada e permitam a realização de ensaios não destrutivos.

A conjugação do Caderno de Encargos das Infraestruturas de Portugal (IP), o Manual de Observação e Auscultação de Estruturas Geotécnicas e o recurso à plataforma SustIMS, possibilitam a

concessão, construção e operação das estruturas geotécnicas ancoradas, de acordo com os parâmetros e procedimentos estabelecidos pela Ascendi, permitindo uma gestão mais eficaz deste ativo, ao longo do seu ciclo de vida.

A atribuição dos estados de conservação e de manutenção contribui para o aumento da resiliência das estruturas geotécnicas aos riscos naturais, permitindo a otimização dos custos e minimização dos consumos, através da implementação preventiva de ações de conservação e de manutenção.

Assim, a aplicação sistemática desta metodologia, durante o ciclo de vida das estruturas geotécnicas ancoradas, traduz-se numa gestão de ativos mais sustentável, com acréscimos muito expressivos na redução da pegada de carbono nas autoestradas, na melhoria das condições de segurança nas imediações e na circulação dos utentes, contribuindo para o cumprimento do nível de serviço contratual da Ascendi.

(página propositadamente em branco)

Capítulo VII

Referências bibliográficas

(página propositadamente em branco)

7. Referências bibliográficas

- Amado, J., Monteiro, B., & Freire, L. (2014). Fundamentos para o Desenvolvimento de um Sistema de Gestão de Obras de Contenção da EP - Estradas de Portugal, S.A.
- Anghinoni, W. H. (2018). Ancoragem em Estruturas de Contenção Aplicada às Obras Rodoviárias [Tese de Licenciatura]. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Arndt, R., Hegedus E., Kovacs A.C., & Stickel, J., (2018). You can leave your head on ... Geophysics serves non-destructive in-situ inspections of ground anchors. In: 6th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization. <https://www.issmge.org/uploads/publications/25/111/ISC2020-10.pdf>.
- Ascendi. (2006). Peças desenhadas. (Relatório Inédito).
- Ascendi. (2015). Nota Técnica – Reabilitação de Muros. (Relatório Inédito).
- Ascendi. (2022). Manual de Observação e Auscultação de Infraestruturas Geotécnicas. (Relatório Inédito).
- Ascendi. (2022). Relatório de inspeção – Inspeção completa. (Relatório Inédito).
- Ascendi. (2023). Relatório de inspeção – Inspeção completa. (Relatório Inédito).
- Bačić, M., Gavin, K., & Saša Kovačević, M. (2019). Trends in non-destructive testing of rock bolts. *Gradjevinar*, 71(10), 823–831. <https://doi.org/10.14256/JCE.2727.2019>.
- Bejinha, A. (2009). Estruturas de Contenção Ancoradas Sujeitas a Ação Sísmica. Análise do Comportamento. [Dissertação de Mestrado]. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa.
- Bomjardim, T. (2015). Ancoragens em Solos - Comportamento Geotécnico e Metodologia Via Web para Previsão e Controle [Tese de Doutorado]. Universidade Federal de Ouro Preto.
- British Standards Institution. (2000). BS EN 1537:2000 Execution of special geotechnical work Ground anchors. British Standards Institution.
- Carvalho, M. (2009). Ancoragens pré-esforçadas em obras geotécnicas. Construção, ensaios e análise comportamental. [Tese de Doutorado]. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cerema. (2018). Guide méthodologique IQOA Murs - La quantification des désordres Collection. www.cerema.fr.
- Choi, S. W., Lee, J., Kim, J. M., & Park, H. S. (2013). Design and application of a field sensing system for ground anchors in slopes. *Sensors (Switzerland)*, 13(3), 3739–3752. <https://doi.org/10.3390/s130303739>.
- Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique (CFMS). (2021). GROUND ANCHORS TA 2020 - Professional Rules Relative to Design, Construction, Testing and Monitoring of Ground Anchors. www.cfms-sols.org.
- Costa, A. (n.d.). Patologia do Betão Armado - Anomalias e Mecanismos de Deterioração. http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1162_Patologias%20do%20bet%C3%A3o.pdf (consultado em Março de 2023).
- Costa, J. (2014). A Utilização de Ancoragens em Centrais Hidroelétricas. Casos de Obra. [Dissertação de Mestrado], Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Ferreira, A., Neves, A., & Sanches, S. (2019). SUSTIMS - Muros & Taludes. In: 9º Congresso Rodoviário, LNEC, Lisboa.
- Ferreira, A., Neves, A., Sanches, S., Varela, P., & Sousa, J. (2021). Manual of Auscultation and Observation of Geotechnical Structures. <https://www.ascendi.pt/>.
- Ferreira, A., Varela, P., Sousa, J., Sanches, S., Neves, A., Pinto, A., & Fernandes, E.M. (2022). Manual de Observação e Auscultação de Infraestruturas Geotécnicas. In: 10 Congresso Rodoferroviário Português. https://10crp.crp.pt/wp-content/uploads/2022/07/paper_72.pdf.
- FIP. (1996). Corrosion protection of prestressing steels. http://civilwares.free.fr/ACI/MCP04/2222r_01.pdf.
- Fujiwara, Y., & Sakai, T. (2016a). A Study of a Lift-Off Test Method for Ground Anchors. *Journal of JSCE*, 4: 106-117.

Fujiwara, Y., & Sakai, T. (2016b). A Study of a Monitoring Method for Residual Tensile Load of Ground Anchor. *Journal of JSCE*, 4:134-151.

Gontigo, G. (2020). Reavaliação Geotécnica das Ancoragens de uma Estrutura de Contenção com Patologias Diversas. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Ouro Preto.

Gonzalez, I., Martins, J., & Cruz, M. Q. (2022). Monitorização Remota das Células de Carga de Ancoragens em Estrutura de Contenção da Rede Brisa. www.brisa.pt.

Guimarães, K. (2015). Cortinas Atirantadas: Estudo de Patologias e suas Causas [Trabalho de Diplomação]. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Hn-S, Y., C-s, W., C-y, W., S-m, L., T-y, H., C-a, H., & L-s, T. (2013). Inspection and Capacity Assessment of Anchored Slopes. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Paris. <https://www.issmge.org/uploads/publications/1/2/2285-2288.pdf>.

Instituto de Soldadura e Qualidade. (2022). Relatório de Inspeção. (Relatório Inédito).

Instituto de Soldadura e Qualidade. (2023). Relatório de Inspeção. (Relatório Inédito).

ISO/FDIS 22477-5. (2018). Geotechnical investigation and testing - Testing of geotechnical structures - Parte 5: Testing of grouted anchors.

Ivanović, A., Monese, A., & Neilson, R. D. (2017). Optimisation of ground anchor head for non-destructive testing. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering and Computational Mechanics*, 170(3), 118–131. <https://doi.org/10.1680/jencm.16.00012>.

Japan Anchor Association. (2015). Inspection and Maintenance Manual for Ground Anchors. Japan Anchor Association. <https://www.japan-anchor.or.jp/05oshirase/2015/20150707.pdf>.

Jeng, C.-J., Chen, Y.-C., Chen, C.-J., & Associated Professor, Y.-C. (2013). Investigating the Performance of Ground Anchor Through The Failure Slope Disaster in Taiwan. <https://scholarsmine.mst.edu/icchgehttps://scholarsmine.mst.edu/icchge/7icchge/session03/23>.

Lazarte, C., Robinson, H., Gómez, J., Baxter, A., Cadden, A., & Berg, R. (2015). Geotechnical Engineering Circular No. 7 - Soil Nail Walls Reference Manual (FHWA-NHI-14-007).

Liao, H. J., Cheng, S. H., Chen, H. R., & Chen, C. C. (2017). Simple method to measure the long-term load change of ground anchors. *Geotechnical Testing Journal*, 40(2), 345–350. <https://doi.org/10.1520/GTJ20160110>.

LNEC. (2016). NP EN 1537:2016 Execução de obras geotécnicas especiais. Ancoragens no terreno.

LNEC. (2021). Relatório final de inspeção da cabeça de ancoragens de estruturas ancoradas dos taludes subjacentes à PS3. (Relatório Inédito).

Martins, L. (2014). Manutenção das infraestruturas fixas da Metro do Porto na vertente da construção civil [Dissertação de Mestrado]. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Matos Fernandes, M. (1990). Estruturas de suporte de terras. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Metro do Porto, S. A. (2017). Apêndice F - Plano de Manutenção das Obras de Arte, Túneis e Obras de Contenção.

Min, D.-H., Jang, B.-S., & Yoon, H.-K. (2023). Application of infrared thermography for estimating residual stress in ground anchors for maintenance. *Scientific Reports* 13:36. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-27222-7>.

Neves, C., Matos, J., & Neves, L. (2015). SUSTIMS - Plataforma de Gestão Sustentável de Infraestruturas Rodoviárias.

NP EN 1997-1 2010 - Norma Portuguesa - Eurocódigo 7 – Projecto geotécnico Parte 1: Regras gerais. (2010). 179 pp.

NSW Government. (2021). Technical Guide – Inspection and maintenance framework for ground anchor supported slopes and structures. NSW Government.

Plácido, R. (2013). Proposta de Modelo de Avaliação do Estado de Conservação de Equipamentos Escolares [Dissertação de Mestrado]. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

Ribeiro, L. (2012). Ancoragens em estruturas portuárias. Análise de um caso de obra. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Nova de Lisboa.

Rocha, M. (2014). Instrumentação e Monitorização de Estruturas Geotécnicas na Rede Ferroviária Nacional-Estudo de caso do talude de aterro entre os Km's 236+450 e 236+720 da Linha do Sul [Dissertação de Mestrado]. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

Sabatini, P., Pass, D., & Bachus, R. (1999). Geotechnical Engineering Circular No. 4 - Ground Anchors and Anchored Systems (FHWA-IF-99-015).

Santa, V. (2010). Controlo de Qualidade de Ancoragens Passivas e Activas [Dissertação de Mestrado]. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa.

Santos, J. (2008). Patologias em Obras-de-Arte [Dissertação de Mestrado]. Universidade de Aveiro.

Sousa, A. M. D. de, Costa, Y. D. J., Florêncio, L. A. da S., & Costa, C. M. L. (2021). Load transfer on instrumented prestressed ground anchors in sandy soil. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 14(6). <https://doi.org/10.1590/s1983-41952021000600012>

Sousa, J. (2020). Estudo e definição de critérios gerais de alerta e de alarme para muros de suporte e taludes rodoviários na sua fase de exploração: Casos de estudo [Dissertação de Mestrado]. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Strom, R., & Ebeling, R. (2002). Methods Used in Tieback Wall Design and Construction to Prevent Local Anchor Failure, Progressive Anchorage Failure, and Ground Mass Stability Failure. US Army Corps of Engineers - Innovations for Navigation Projects Research Program.

Tamrakar, S. B., Asaue, H., Shiotani, T., Chang, K. C., & Fujiwara, Y. (2018). In situ ultrasonic method for estimating residual tension of wedge fix type anchors. *Construction and Building Materials*, 189, 1184–1190. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.07.251>.

Teixeira, P. (2022). Observação e auscultação do estado de conservação das ancoragens em estruturas geotécnicas rodoviárias na rede Ascendi: Caso de estudo [Dissertação de Mestrado]. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Torres, J. (2010). Métodos de observação durante a execução de obras subterrâneas [Dissertação de Mestrado]. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Yamazaki, M., Kitamura, T., Saito, H., Ogawa, N., Niibe, T., & Yashima, A. (2023). Efficient Safety Assessment of Expressway Slope Reinforced by Ground Anchors Based on Residual Tensile Load Evaluated by Vibration Method.

(página propositadamente em branco)

Anexos

(Consultar DVD-Rom)

(página propositadamente em branco)

Anexos

Os anexos podem ser consultados em DVD-Rom.

Anexo 1 – Tabela de redistribuição de pesos.

Anexo 2 – Relatório de Inspeção produzido pelo SustIMS para o Muro M02.

Anexo 3 – Relatório de Inspeção produzido pelo SustIMS para o Muro M07.