

Ensaaios de Carga em Ancoragens – Realização, Interpretação e Sistematização de Resultados

JOSÉ MARIA GOMES LIVRAMENTO SILVA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS E GEOTECNIA

Orientador: Professor Aires Manuel Silva Colaço

Co-orientador: Engenheiro Paulo Jorge Paiva Lopes

JULHO DE 2024

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2023/2024

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2023/2024 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2024*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais e irmã

O Homem é do tamanho do seu sonho

Fernando Pessoa

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação de Mestrado contou com o apoio inestimável de várias pessoas, a quem gostaria de expressar meu sincero agradecimento.

Primeiramente, agradeço de forma especial ao meu orientador e professor Aires Colaço, por todo o tempo dedicado proporcionando o melhor acompanhamento possível. A sua disposição incansável e toda a colaboração no esclarecimento de dúvidas foram essenciais no decurso da realização deste trabalho.

Um agradecimento muito especial à empresa que me acolheu, ACAGeo, que foi crucial em todo este processo e que desde o primeiro dia me fizeram sentir em casa, estando sempre disponíveis a ajudar-me em qualquer situação. Um agradecimento ao engenheiro Carlos Afonso, por me acompanhar durante o caso de estudo, ao Engenheiro Paulo Leocádio, por me ensinar e orientar na análise de dados e em especial ao Engenheiro Paulo Lopes que me orientou na empresa e reuniu comigo sempre que necessitava, mesmo em alturas inoportunas, oferecendo sempre os melhores conselhos.

Aos meus pais, devo um agradecimento muito especial por todo o apoio dado ao longo do desenvolvimento desta dissertação e durante todo o curso. Sem eles, teria sido impossível superar os desafios deste percurso.

Por fim, mas não menos importante, um agradecimento a todos os que fizeram parte do meu percurso ao longo destes 5 anos na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, desde professores a alunos, em especial ao Carlos Magalhães e ao José Alves que me acompanharam desde o primeiro dia e que me incentivaram a procurar o melhor de mim.

RESUMO

A utilização de ferramentas de cálculo automático é fundamental no ambiente de trabalho para aumentar a produtividade e otimizar a execução de tarefas. Esta dissertação explora esta integração, apresentando o desenvolvimento de uma ferramenta automática para o tratamento de dados resultantes de ensaios de carga de ancoragens.

O processo de realização e tratamento de dados de um ensaio de carga em ancoragens é, essencialmente, normativo, o que permite uma automatização dos processos, aumentando a eficiência e diminuindo a probabilidade de erros.

Ao longo da presente dissertação são apresentados e discutidos os diferentes tipos e métodos de ensaios de carga em ancoragens e respetivos procedimentos, culminando com a sua integração numa ferramenta de cálculo automático, a qual segue as disposições normativas expostas na norma ISO 22477-5. A ferramenta desenvolvida é posteriormente aplicada na validação e sistematização dos resultados de ensaios de carga realizados num caso de estudo específico, ao longo do qual se destaca a importância de procedimentos normativos e técnicos rigorosos para a segurança das estruturas.

Palavras-chave: Ensaio de carga, ancoragens, análise de dados, ferramenta de tratamento de dados, ISO 22477-5.

ABSTRACT

The use of automatic calculation tools is essential in the workplace to increase productivity and optimize the execution of tasks. This dissertation explores this integration, presenting the development of an automatic tool for processing data resulting from anchor load tests.

The process of carrying out and processing data from a load test on anchorages is essentially normative, which allows processes to be automated, increasing efficiency and reducing the likelihood of errors.

Throughout this dissertation, the different types and methods of load tests on anchorages and their respective procedures are presented and discussed, culminating in their integration into an automatic calculation tool, which follows the normative provisions set out in the ISO 22477-5 standard. The developed tool is subsequently applied to validate and systematize the results of load tests carried out in a specific case study, throughout which the importance of rigorous normative and technical procedures for the safety of structures is highlighted.

Keywords: Load tests, ground anchors, data analysis, data processing tool, ISO22477-5.

Índice

1. INTRODUÇÃO	21
1.1. considerações iniciais.....	21
1.2. Objetivos	22
1.3. Estrutura	22
2. ANCORAGENS – CONSTITUIÇÃO E GENERALIDADES	23
2.1 Breve HISTÓRIA DAS ANCORAGENS.....	23
2.2. CONSTITUIÇÃO E DESCRIÇÃO DE ANCORAGENS	24
2.2.1. Generalidades.....	24
2.2.2. Comprimento Fixo ou Comprimento de Selagem.....	26
2.2.3. Comprimento Livre	27
2.3. CLASSIFICAÇÃO DAS ANCORAGENS.....	29
2.3.1. Generalidades.....	29
2.3.2. Classificação das Ancoragens à sua Natureza Provisória ou Definitiva	29
2.3.3. Ancoragens Passivas e Ancoragens Ativas.....	31
2.3.4. Tipos de Ancoragem considerando a Forma de Transferência de Carga	32
2.4. DIMENSIONAMENTO DE ANCORAGENS.....	34
2.4.1. Generalidades.....	34
2.4.2. Dimensionamento Segundo Estados Limite.....	35
2.4.3. Dimensionamento do Comprimento Livre de Ancoragem.....	35
2.4.4. Dimensionamento do Comprimento de Selagem da Ancoragem	36
2.4.5. Dimensionamento da Armadura	38
3. ENSAIOS DE CARGA EM ANCORAGENS	40
3.1. nota introdutória.....	40
3.2. Generalidades dos ensaios de carga em ancoragens.....	41
3.2.1 Procedimentos Normativos	41
3.2.2. Procedimentos de furação	42

3.2.3. Material Utilizado na Realização de um Ensaio	43
3.3. tipos de ENSAIOS DE CARGA.....	45
3.3.1. Ensaio Prévios	45
3.3.1.2. Método 2.....	47
3.3.1.3. Método 3.....	49
3.3.2. Ensaio de adequabilidade, EA	49
3.3.2.1. Método 1.....	50
3.3.2.2. Método 2.....	51
3.3.2.3. Método 3.....	52
3.3.3. Ensaio de receção, ER.....	53
3.3.3.1.2. Método 2.....	55
3.3.3.1.3. Método 3.....	57
3.3.3.2. Ensaio de receção simplificados	57
3.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARGA	58
3.5. INTRODUÇÃO À FERRAMENTA DE TRATAMENTO DE DADOS.....	60
3.5.1. Menu Inicial.....	61
3.5.2. Módulo Macaco Hidráulico	62
3.5.3. Módulo de introdução de dados	63
3.5.4. Módulo Tratamento de dados	65
3.5.5. Módulo Sistematização de Resultados	68
3.6. Conclusões.....	70
4. CASO DE ESTUDO.....	71
4.1. Generalidades	71
4.2. Enquadramento geológico-geotécnico	72
4.3. Localização e características das ancoragens ensaiadas	73
4.4. Aplicação da ferramenta de tratamento de dados	75
4.4.1. Ensaio de receção simplificado: ancoragem A4.12	75
4.4.2. Ensaio prévio: Ancoragem A5.4	80
4.4.3. Ensaio de receção detalhado: Ancoragem A4.14	87
4.4. considerações finais	94

5. CONCLUSÕES.....	96
5.1. conclusões finais.....	96
5.2. desenvolvimentos futuros	97
BIBLIOGRAFIA.....	99
ANEXO A	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1- Representação esquemática de uma ancoragem e respetiva legenda. (ISO 22477-5:2018)	25
Fig. 2-Secção transversal de bolbo de selagem para ancoragens definitivas. (Bodas Santa, 2010)	27
Fig. 3- Secção transversal do comprimento livre de uma ancoragem definitiva. (Rodrigues de Carvalho, 2009)	28
Fig. 4 - a) ancoragem provisória; b) ancoragem definitiva	29
Fig. 5 - Comparação entre ancoragem passiva e ativa.....	32
Fig. 6 - Classificação das ancoragens quanto ao mecanismo de transferência de carga	33
Fig. 7 - Exigências de profundidade para ancoragens em terreno. (Matos Fernandes, 2020)	36
Fig. 8 - Máquina Klemm KR-805	43
Fig. 9 – Exemplo de macaco hidráulico	44
Fig. 10 - Aplicação de uma ancoragem	45
Fig. 11 - Aplicação de uma ancoragem com célula de carga.....	45
Fig. 12 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de Ensaio Prévio de acordo com o Método 1	47
Fig. 13 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de ensaio para método 2	48
Fig. 14 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de ensaio para método 3	49
Fig. 15 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de ensaio para método 1	51
Fig. 16 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de ensaio para método 2	52
Fig. 17 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de ensaio para método 3	53
Fig. 18 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de ensaio para método 1	55
Fig. 19 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de ensaio para método 2	56

Fig. 20 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de ensaio para método 3	57
Fig. 21 - Determinação da carga crítica de fluência, P_c	59
Fig. 22 - Menu inicial da ferramenta	62
Fig. 23 - Página da ferramenta relacionada com informações de macaco hidráulico...	63
Fig. 24 - Módulo de introdução de dados, assumindo tensão útil = 600 kN	64
Fig. 25 - Dados relativo à primeira análise de dados.	65
Fig. 26 - Dados relativo à segunda análise de dados.	67
Fig. 27 - Análise de fatores fundamentais.	68
Fig. 28 - Relação gráfica entre alongamento e carga.	69
Fig. 29 - Relação gráfica entre alongamento e carga, com valores de deformação elástica e plástica.	69
Fig. 30 - Relação gráfica entre carga e coeficiente de fluência.....	70
Fig. 31 - Vista satélite do antigo Quartel S. Brás.	72
Fig. 32 - Localização em alçado das ancoragens A5.4, A4.12 e A4.14	73
Fig. 33 - Legenda da simbologia nas figuras 32 e 33.	74
Fig. 34 - Planta de ancoragens.....	74
Fig. 35 - Página inicial ensaio de receção simplificado.....	75
Fig. 36 - Dados relativos ao ensaio de receção simplificado.	76
Fig. 37 - Gráfico Deformação Total e Blocagem.....	77
Fig. 38 - Gráfico de deformação elástica e deformação plástica.....	78
Fig. 39 - Gráfico associado às deformações de fluência.	79
Fig. 40 - Folha de introdução de dados para método 1 de um ensaio prévio.....	82
Fig. 41 - Folha de introdução de dados para método 1 de um ensaio prévio.....	83
Fig. 42 - Fatores a ter em conta na folha de tratamento de dados.....	84
Fig. 43 - Gráfico de deformação total	85
Fig. 44 - Gráfico de deformação elástica e deformação plástica.....	86
Fig. 45 - Gráfico associado às deformações de fluência.	87

Fig. 46 - Folha de introdução de dados para método 1 de um ensaio de receção detalhado.....	89
Fig. 47 - Análise de valores da folha de tratamento de dados.	90
Fig. 48 - Fatores a ter em conta no módulo de tratamento de dados.....	91
Fig. 49 - Gráfico de deformação total	92
Fig. 50 - Gráfico de deformação elástica e deformação plástica.....	92
Fig. 51 - Gráfico associado às deformações de fluência.	93

SÍMBOLOS, ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

L_{lf} – comprimento livre da armadura de uma ancoragem

L_{tb} - comprimento de selagem da armadura de uma ancoragem

$E_{ULS;d}$ – valor de cálculo da força a ser suportada pela ancoragem no estado limite último

$F_{ULS;d}$ – valor de cálculo da força necessária para prevenir qualquer estado limite último na estrutura suportada

$F_{SERV;d}$ – valor de cálculo da força máxima da ancoragem, suficiente para impedir um estado de limite de utilização na estrutura suportada

$F_{SERV;k}$ – valor característico de cálculo da força máxima da ancoragem, suficiente para impedir um estado de limite de utilização na estrutura suportada

$\gamma_{SERV;k}$; γ_a ; SLS; γ_a ; acc; ULS – coeficientes parciais

$R_{t;d}$ – valor de cálculo da capacidade resistente dos elementos estruturais de uma ancoragem no estado limite último

R_{ULS} – valor de cálculo da capacidade resistente de uma ancoragem em conformidade com os critérios de estado limite último

d- Diâmetro do furo

τ_M - Resistência ao longo da interface do solo e calda, sendo esta uma fração da resistência ao corte não drenada do solo.

ξ_{ULS} – coeficiente de correlação

P_a – carga inicial, ou de referência

P – carga de serviço ou carga útil

P_P – carga de ensaio

P_0 – carga de blocagem

K_s – coeficiente de fluência

s_a - deslocamento do cordão associado ao intervalo de tempo inicial, t_a

s_b - deslocamento do cordão associado ao intervalo de tempo final, t_b

P_c – valor da carga crítica de fluência

P'_c – valor virtual da carga crítica de fluência

L_{app} – comprimento livre aparente da armadura da ancoragem

L_e – comprimento exterior da armadura medido entre o ponto de fixação na armadura na cabeça da ancoragem e o ponto de fixação do macaco de tensionamento

A_s – área da secção

E – módulo de elasticidade

$\Delta\delta_{el}$ – variação de deformação elástica

F_a – força que a ancoragem deve resistir

$\tau_{h, total}$ – resultante horizontal dos impulsos do terreno

e – espaçamento médio em planta das ancoragens

α - inclinação mais desfavorável das ancoragens

n – número de cordões de cabos de pré-esforço

$N_{rd, cordão}$ - o valor de cálculo da resistência à tração em estado limite último de um cordão.

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Distinções entre ancoragens quanto à sua natureza provisório ou definitiva.	30
Quadro 2 - Classificação de ancoragem de acordo com a sua função e carga.	31
Quadro 3 - Percentagem de carga a utilizar na realização do ensaio e respetivo tempo em cada patamar.	48
Quadro 4 - Percentagem de carga a utilizar na realização do ensaio e respetivo tempo em cada patamar.	51
Quadro 5 - Percentagem de carga a utilizar na realização do ensaio e respetivo tempo em cada patamar.	53
Quadro 6 - Percentagem de carga a utilizar na realização do ensaio e respetivo tempo em cada patamar.	55
Quadro 7 - Percentagem de carga a utilizar na realização do ensaio e respetivo tempo em cada patamar.	56

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O uso de ancoragens na engenharia civil tem uma história longa e inovadora, remontando ao final do século XIX. A inovação tecnológica e a necessidade crescente de segurança e eficiência nas construções impulsionaram o desenvolvimento de novas técnicas e materiais para ancoragens. No século XX, avanços significativos foram feitos na área de engenharia geotécnica. Estes desenvolvimentos permitiram a construção de estruturas mais seguras e duradouras, capazes de suportar cargas superiores e condições ambientais adversas.

As ancoragens são componentes críticos em muitos projetos de engenharia civil, garantindo a estabilidade e segurança das estruturas. A contínua inovação tecnológica, aliada à adoção de normas rigorosas e ao uso de ferramentas de análise avançadas, continua a aprimorar a eficácia e a confiabilidade das ancoragens, desempenhando um papel fundamental no sucesso de projetos de construção modernos.

A inovação no campo das ancoragens não só melhorou a segurança das construções, mas também aumentou a eficiência dos processos de construção. A aplicação de novas tecnologias, como sensores inteligentes e técnicas de monitoramento em tempo real, permite uma avaliação contínua do desempenho das ancoragens. Essas tecnologias são essenciais para identificar falhas potenciais antes que elas comprometam a integridade estrutural, permitindo intervenções preventivas. Além disso, a integração de ferramentas digitais no processo de design e análise das ancoragens facilita a otimização dos projetos, resultando em soluções mais econômicas e eficazes.

Este estudo foca-se na realização, interpretação e sistematização de resultados de ensaios de carga em ancoragens, um tema de extrema importância para garantir a fiabilidade, estabilidade e durabilidade das construções. É fundamental que as práticas adotadas sejam rigorosamente analisadas e aperfeiçoadas para atender aos valores

normativos estabelecidos, garantindo a segurança e eficiência esperadas nos projetos atuais.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação centra-se na melhoria dos processos de recolha, interpretação e sistematização dos dados provenientes de ensaios de carga em ancoragens realizados pela empresa ACA-GEO. Deste modo, a presente dissertação aborda todos os passos envolvidos na preparação e execução dos ensaios, desde o momento da instalação das ancoragens até à realização dos mesmos.

Dado o objetivo enunciado, a sua concretização envolve o desenvolvimento de uma ferramenta para a sistematização e análise de dados coesa e abrangente, a qual permita a avaliação dos parâmetros de controlo da qualidade de uma ancoragem de um modo mais eficaz e preciso, excluindo a necessidade de intervenção manual. Esta ferramenta será validada através de ensaios em obra, garantindo precisão e confiabilidade nos resultados.

Ao abordar esses objetivos, esta dissertação pretende não apenas consolidar o conhecimento existente sobre ensaios de carga em ancoragens, mas, também, introduzir inovações que possam melhorar significativamente as práticas e os resultados na engenharia civil.

1.3. ESTRUTURA

Para alcançar os objetivos mencionados anteriormente, esta dissertação está organizada em cinco capítulos, nos quais são apresentadas evidências científicas atualizadas sobre os temas abordados.

No segundo capítulo são apresentadas generalidades do elemento estrutural ancoragem, compreendendo conceitos teóricos desde a história da ancoragem, à sua constituição e dimensionamento.

O capítulo 3 da dissertação aborda os procedimentos e metodologias dos ensaios de carga em ancoragens, essenciais para validar o dimensionamento e garantir a segurança estrutural. São apresentadas algumas diretrizes normativas, descrevendo os métodos de ensaio, incluindo os procedimentos de carregamento, descarregamento, medições e análise dos dados. O capítulo também destaca uma ferramenta de tratamento de dados desenvolvida para otimizar a análise dos resultados, aumentando a eficiência e a precisão na avaliação das ancoragens.

No capítulo 4, apresenta-se um caso de estudo, realizado numa obra de contenção no Quartel de S. Brás, na zona do Marquês, no Porto. Para este caso em particular, são expostos dois ensaios de carga realizados e acompanhados pelo autor, sendo a ferramenta desenvolvida aplicada na sua interpretação. A realização desta obra está a cargo da empresa ACA-GEO.

O último capítulo, apresenta as conclusões finais retiradas neste trabalho.

2

ANCORAGENS – CONSTITUIÇÃO E GENERALIDADES

2.1 BREVE HISTÓRIA DAS ANCORAGENS

Historicamente, a origem das ancoragens remonta ao final do século XIX. Frazer (1874) foi o primeiro a descrever ensaios de ancoragens, numa obra de suporte a uma encosta localizada junto a um canal ao longo de uma linha férrea entre Londres e Birmingham.

Em 1934, uma das primeiras e mais revolucionárias aplicações foi o reforço de estabilização de uma barragem em Cheurfas, na Argélia, realizada por Coyne (Xanthaxos, 1991). Esta barragem teria sido construída em 1880 com materiais convencionais. No entanto, colapsou em 1885, devido a uma cheia. Foi reconstruída em 1892, mas no início dos anos 1930 deu sinais de grande instabilidade de fundações. Coyne (Xanthaxos, 1991) decide, então, tensionar a barragem com o uso de ancoragens verticais, espaçadas em intervalos de 3 a 5 metros e tensionadas através de um macaco hidráulico entre a crista da barragem e a parte inferior da cabeça do cabo com um valor 1000 toneladas (9807 kN). As ancoragens encontravam-se 15 metros abaixo da base da barragem e, durante a abertura dos furos, foram encontradas grandes dificuldades na implementação devido à fraca qualidade da estrutura, da presença de margas com características expansivas e à presença de água no corpo da barragem. Todas estas condições contribuíram para o início de um processo corrosivo acelerado e, 30 anos depois, a maioria das ancoragens tiveram de ser substituídas.

Este desenvolvimento protagonizado por Coyne (Xanthaxos 1991), levou a uma grande pesquisa de países europeus na altura pós II Guerra Mundial. A França, a Alemanha, a Suíça, a Suécia e a Inglaterra focaram-se em investigar no que, à altura, era utilizado para suportar escavações profundas e que, atualmente, é um dos mais úteis e comuns

métodos de estabilização no mundo inteiro, sendo utilizado na generalidade dos solos. Com a investigação crescente na área, foram-se desenvolvendo e generalizando soluções, que incentivaram à criação de normas, regulamentos e manuais de utilização. Exemplo disso, é a norma europeia, EN1537, focada na apresentação das diretrizes para a execução de obras geotécnicas especiais, a qual é introduzida em alguns países europeus no final do milénio, 1999, tendo sido atualizada pela última vez em 2016.

Com o avanço nas pesquisas, a criação de regulamentos permitiu compreender que as ancoragens seriam um método fundamental para as obras geotécnicas uma vez que forneceriam capacidades de:

- resistir a forças de tração;
- permitir o pré-esforço da estrutura, através de pré-esforços convencionais;
- aumento da longevidade das ancoragens;
- melhoria dos métodos de monitorização, que incentivam a construção permanente;
- produção de brocas para furação de alta velocidade e métodos de injeção sob pressão para diferentes condições geotécnicas;
- um enorme progresso tecnológico que permite aos engenheiros a responder a situações especiais em diferentes tipos de condições de projeto.

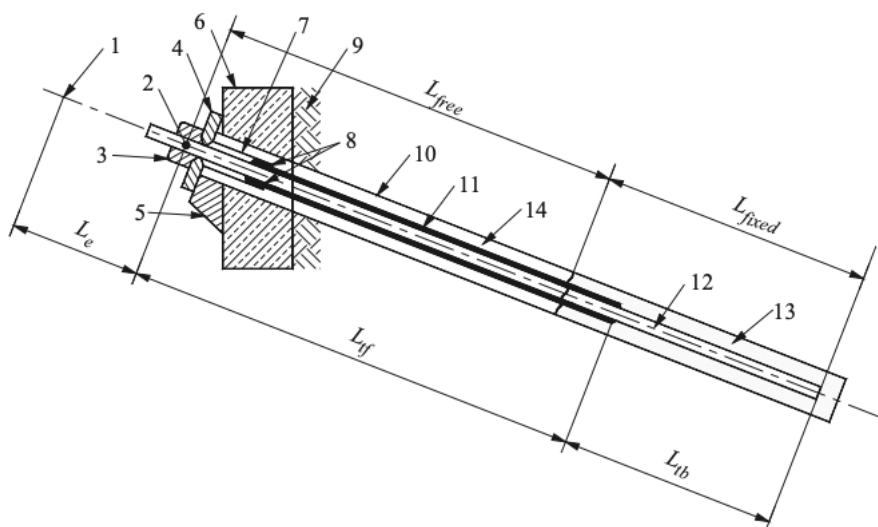
No decorrer do século XXI, a evolução das ancoragens continuou a acompanhar os avanços tecnológicos, incorporando materiais avançados e técnicas de instalação mais eficientes. A introdução de ancoragens com capacidade de auto monitorização, utilizando sensores embutidos que transmitem dados em tempo real sobre a tensão e a integridade estrutural, representa um dos avanços mais significativos recentes. Esses desenvolvimentos não só melhoram a segurança das estruturas, mas também reduzem os custos de manutenção e prolongam a vida útil das ancoragens.

2.2. CONSTITUIÇÃO E DESCRIÇÃO DE ANCORAGENS

2.2.1. GENERALIDADES

Uma ancoragem funciona como elemento estrutural de transferência de carga. Consiste, fundamentalmente, num tirante de aço introduzido e selado no terreno. O elemento de ancoragem essencial é o cordão da ancoragem, que engloba três zonas fundamentais: a cabeça da ancoragem, o comprimento livre e o comprimento de selagem, cuja soma destes últimos resulta no comprimento total. A cabeça da ancoragem é o elemento de ligação entre o cordão de aço e a estrutura a ancorar. O comprimento de selagem distingue-se por ser a zona resistente, na qual a força de tração do cabo é transmitida ao terreno envolvente. O comprimento livre está entre a cabeça da ancoragem e o início da zona de selagem, não sendo considerada qualquer interação entre o cabo e o solo, deformando-se elasticamente e transferindo a força resistente da ancoragem até ao comprimento de selagem.

Observa-se na Figura 1 a representação esquemática de uma ancoragem.



1- Ponto de ancoragem no macaco durante o tensionamento	2- Ponto de ancoragem na cabeça
3- Cabeça da ancoragem	4- Chapa de descarga
5- Maciço de apoio	6- Elemento estrutural a ancorar
7- Trompete	8- O'ring
9- Solo/Rocha	10- Furo
11- Corpo da ancoragem	12- Cabo
13- Corpo de calda do comprimento de selagem	14- Preenchimento de comprimento livre, quando adequado e necessário

Fig. 1- Representação esquemática de uma ancoragem e respetiva legenda. (ISO 22477-5:2018)

A execução de uma ancoragem consiste em 4 fases principais:

- 1- A perfuração do furo, eventualmente revestido;
- 2- A introdução do cordão e o seu posicionamento no eixo do furo com auxílio de espaçadores;
- 3- Selagem entre o cordão e o solo ao longo do comprimento de selagem;
- 4- O pré-esforço do cordão e fixação deste à cabeça da ancoragem.

Várias características associadas a estas fases podem variar com a tecnologia utilizada, com as condições do solo e o tipo de trabalho. O processo de perfuração deve perturbar o menos possível as condições do terreno, uma vez que, estas acarretam um papel decisivo no desempenho da ancoragem.

Para além disso, a injeção de caldas é a operação mais importante para o desempenho da ancoragem. A calda é uma mistura de água com cimento e, caso seja necessário, aditivos e a sua aplicação realiza-se preenchendo o furo de baixo para cima, até atingir consistência entre 0,3 e 0,4 de relação água/cimento. Proceda-se à injeção do

comprimento de selagem e à injeção do comprimento livre, para aumentar a eficácia do procedimento. Repare-se que, em terrenos menos favoráveis, podem ser necessárias injeções adicionais à injeção primária, de modo a melhorar as condições do terreno envolvente e a ligação entre o bolbo de selagem e o solo.

Não apenas a qualidade da execução das injeções de caldas, mas também outros cuidados, como a aplicação do pré-esforço, a monitorização e inspeção, e o controlo de qualidade, devem ser rigorosamente considerados durante o fabrico e a construção das ancoragens.

A capacidade e o desempenho das ancoragens podem variar com as características do solo (especialmente a resistência ao esforço de corte), com as técnicas de instalação e com a experiência dos profissionais que executam a ancoragem.

2.2.2. COMPRIMENTO FIXO OU COMPRIMENTO DE SELAGEM

O comprimento fixo representa o comprimento da ancoragem ao longo do qual a força de tração aplicada é transmitida ao solo ou à rocha. É a parte da ancoragem que tem movimentos muito reduzidos e tem como objetivo transferir as cargas aplicadas na ancoragem para o solo de forma segura e eficiente. Ainda proporciona a resistência necessária para estabilizar estruturas.

É comum que seja realizado com caldas de injeção de cimento, sendo este processo válido para diferentes condições de solo. Como tal, é necessário perfurar o solo com diâmetros e profundidades definidas em projeto. Estas caldas, para além de viabilizarem a definição do comprimento fixo, são muito importantes para proteger a armadura de aço pré-esforçado da corrosão. Nas ancoragens definitivas, é necessária maior proteção, normalmente providenciada por um tubo corrugado que assegura o isolamento da armadura.

Esta injeção é realizada em extensões muito limitadas, de baixo para cima para aumentar a eficácia do procedimento. Esta tecnologia de reinjeção seletiva tem uma importância decisiva no desempenho da ancoragem sendo capaz de aumentar a força de arranque do bolbo para um determinado comprimento de selagem.

O comprimento fixo é significativo no ramo de projeto uma vez que requer muita precisão no cálculo e na sua instalação de modo a garantir a segurança da estrutura (Briaud, 1998). Como tal, dispõe de vários valores normativos a cumprir para garantir a durabilidade e eficácia das ancoragens.

Na Figura 2, observa-se a secção transversal de um bolbo de selagem, em ancoragens definitivas. Com este, podemos entender que o bolbo é composto por cordões de aço, espaçadores, um tubo de injeção, um centralizador e um tubo corrugado.

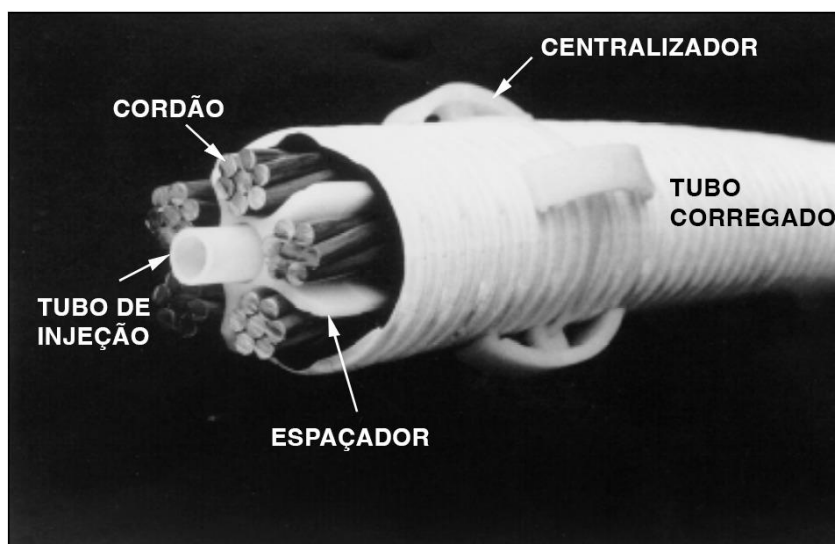


Fig. 2-Secção transversal de bolbo de selagem para ancoragens definitivas (Bodas Santa 2010).

2.2.3. COMPRIMENTO LIVRE

O comprimento livre da ancoragem representa a parte da ancoragem entre a cabeça e o início do comprimento de selagem. (Bowles, 1995) É, intencionalmente, isolado do solo e tem este nome porque é livre de se movimentar e deformar elasticamente durante a interação solo/ancoragem. Não se associa carga a este comprimento, servindo apenas para transferir para a zona de selagem a carga resultante da aplicação de tensão na cabeça da ancoragem e facilitar o tensionamento da ancoragem.

Quanto à proteção do comprimento livre e à corrosão do aço de pré-esforço, é aconselhado a implementação de uma bainha lisa ou corrugada. Tal como no comprimento de selagem, a ancoragem definitiva implica que o nível de proteção seja mais exigente, adicionando barreiras adicionais como bainhas individuais preenchidas com massa anticorrosiva.

O comprimento livre necessário pode variar com o tipo de ancoragens, com as propriedades do material da estrutura, com as condições ambientais, com as cargas aplicadas, entre outros. Geralmente, o seu dimensionamento é condicionado para atingir o estrato cortante.

Portanto, o comprimento livre de uma ancoragem é muito importante para garantir a flexibilidade da ancoragem e liberdade de se alongar sem impedimentos, contribuindo para a estabilidade e segurança da estrutura.

Na Figura 3 observa-se uma secção transversal do comprimento livre de uma ancoragem definitiva.

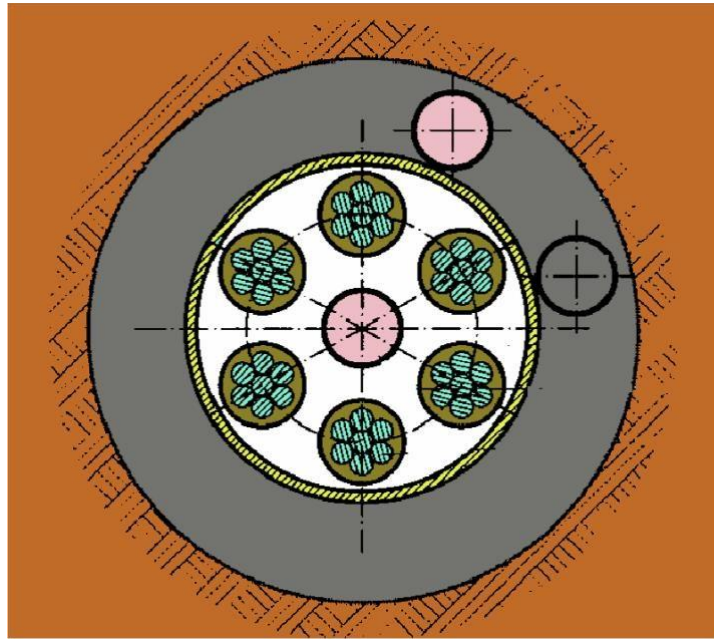


Fig. 3- Seção transversal do comprimento livre de uma ancoragem definitiva. (Rodrigues de Carvalho, 2009)

2.2.4. CABEÇA DA ANCORAGEM

A cabeça de ancoragem é responsável pela transmissão de carga de tração do tensionamento para a ancoragem. É a cabeça que prende a ancoragem a um suporte através de uma blocagem mecânica e é fundamental para a distribuição de tensões e para a garantia da estabilidade e segurança da ancoragem. Geralmente, em ancoragens pré-esforçadas, a assemblagem da cabeça da ancoragem inclui a aplicação de pré-esforço, colocação de cunhas e a colocação da chapa de distribuição.

A cabeça da ancoragem deve ainda permitir que a armadura seja tensionada, até à carga máxima, blocada e, caso seja requerido, descarregada total ou parcialmente e re-tensionada. Como tal, a estrutura da cabeça da ancoragem, deve apresentar características para se ajustar a deformações previstas em obra e durante a sua vida útil.

Os pormenores dos elementos da cabeça são dependentes do tipo de armadura usada na ancoragem e da tecnologia em utilização. Por norma, são produzidas em aço ou outros materiais resistentes, capazes de resistir à corrosão e ao desgaste ao longo do tempo.

A instalação segura passa por um processo de preparação, que garante que os furos para as cabeças de ancoragem sejam perfurados com precisão, pela colocação, posicionando a placa de ancoragem na localização específica, fixação da cunha, apertada com a tensão necessária e pela aplicação de tensão com apoio dos macacos hidráulicos e devida monitorização da tensão aplicada conforme o especificado em

projeto. Esta é essencial para garantir a estabilidade e segurança das estruturas, uma vez que, um comportamento irregular deste elemento pode comprometer toda a estrutura.

A Figura 4 ilustra duas imagens que identificam a cabeça da ancoragem, sendo em ancoragens provisórias ou ancoragens definitivas.

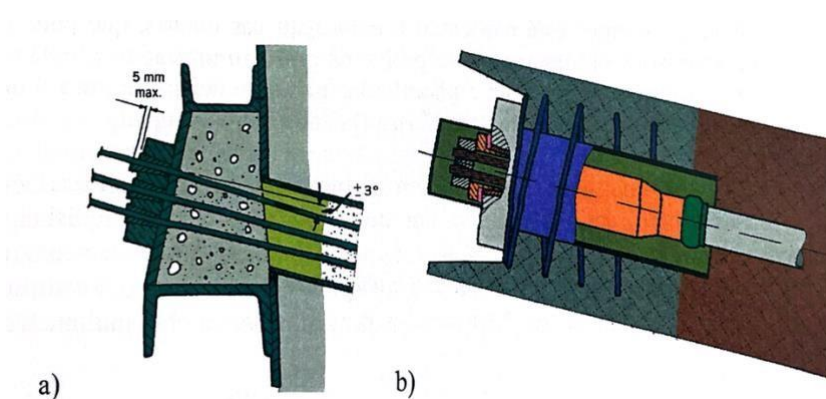


Fig. 4 - a) ancoragem provisória; b) ancoragem definitiva

2.3. CLASSIFICAÇÃO DAS ANCORAGENS

2.3.1. GENERALIDADES

É importante notar que as ancoragens se podem classificar de acordo com diferentes perspectivas. Desde logo, as ancoragens podem ser definidas de acordo com a natureza do maciço onde são inseridas, ancoragens em rocha ou em solo.

Adicionalmente, estas podem ser classificadas de acordo com os seguintes fatores:

- Forma de transferência de carga;
- Ancoragens passivas e ancoragens ativas;
- Natureza da ancoragem (provisória ou definitiva).

As características do terreno (fluência e a resistência ao corte), técnicas construtivas (método construtivo associado ao bolbo) e a qualidade da mão de obra envolvida são os fatores a ter em conta no que se refere ao comportamento e a capacidade de carga das ancoragens.

2.3.2. CLASSIFICAÇÃO DAS ANCORAGENS À SUA NATUREZA PROVISÓRIA OU DEFINITIVA

A distinção entre ancoragens provisórias e definitivas é obtida pela vida útil que cada uma destas apresenta.

Conceitualmente, as ancoragens são facilmente distinguidas pela sua durabilidade. Uma ancoragem provisória tem natureza temporária e tornam-se desnecessárias e inoperacionais após determinada fase de trabalho, independente do intervalo de tempo entre a sua construção e a fase de desativação. Por outro lado, uma ancoragem definitiva é projetada para ter uma longa durabilidade, sendo necessária e operacional durante toda a vida útil da estrutura que suporta. Essas ancoragens são concebidas para resistir às condições ambientais e às cargas aplicadas ao longo de décadas, garantindo a segurança e a estabilidade da construção de forma permanente.

Os diferentes tipos de ancoragens têm requisitos distintos. O planejamento envolve uma análise de projeto estrutural obrigatório, dimensionamento e teste de ancoragens e, por fim, tensionamento *in situ* para confirmar a capacidade de carga.

Nas normas e bibliografia de referência (EN1537:1999), está estabelecido um prazo de vida útil limite de ancoragens provisórias de 24 meses, ou seja, 2 anos, enquanto as ancoragens definitivas garantem um prazo de vida útil limite até 100 anos.

Podemos, ainda, distingui-las pelo tipo de construção a que estão associadas. São estas:

- Construções temporárias: as ancoragens provisórias estão aplicadas durante 6 meses, dispensando de qualquer tipo de monitorização e de proteção contra corrosão;
- Suportes semipermanentes: as ancoragens provisórias têm vida útil correspondente entre 6 e 24 meses, sendo aconselhada monitorização e podendo dispensar-se a proteção contra a corrosão;
- Suportes permanentes: as ancoragens definitivas funcionam mais de 24 meses, obrigando a monitorização e proteção contra a corrosão estabelecidas consoante a longevidade da ancoragem.

No Quadro 1, observa-se de uma forma mais esquemática a distinção entre ancoragens quanto à sua natureza, baseado no texto de Rodrigues de Carvalho (2011).

Quadro 1 - Distinções entre ancoragens quanto à sua natureza provisório ou definitiva.

Tipo de construção	Tipo de ancoragem	Vida útil	Proteção contra a corrosão	Monitorização e instrumentação
Temporária	Provisória	Até 6 meses	Desnecessária	Desnecessária
Semipermanente	Provisória	Entre 6 e 24 meses	Dispensável	Aconselhada

Permanente	Definitiva	Mais de 24 meses	Obrigatória	Obrigatória
------------	------------	------------------	-------------	-------------

Para o caso das ancoragens definitivas, não é suficiente focar apenas na sua duração ou comportamento. É necessário perceber as características e a carga corrosiva do terreno onde as ancoragens são construídas. Ainda, devem ser consideradas a estabilidade a longo prazo, as cargas de serviço possíveis e as características de fluência. Estas são considerações muito importantes em terrenos com predominância de siltes e/ou argilas.

As ancoragens, definitivas ou provisórias, construídas em terrenos considerados agressivos devem sempre ser protegidas contra a corrosão, de maneira a garantir a sua longevidade e comportamento.

2.3.3. ANCORAGENS PASSIVAS E ANCORAGENS ATIVAS

As ancoragens passivas e ativas distinguem-se pela força de tração externa aplicada. As ancoragens ativas, podem também ser nomeadas pré-esforçadas, aplicam força inicial à estrutura, independente da interação final entre o solo e a estrutura. A força é introduzida através de um sistema de pré-esforço e persistirá com o tempo, excluindo quando a estrutura sofre deslocamento em relação à própria ancoragem.

Nas ancoragens passivas, não se aplica pré-esforço. À medida que a escavação avança, é iniciada uma interação natural solo-estrutura, na qual a resistência das ancoragens será, então, mobilizada, proporcionalmente aos movimentos ocorridos.

É ainda comum a ocorrência de ancoragens do tipo intermédio, nas quais é aplicada uma percentagem da carga máxima de pré-esforço, variando, geralmente entre metade a um terço da carga máxima de projeto é aplicada (Xanthaxos, 1991).

Estes três tipos estão distinguidos no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação de ancoragem de acordo com a sua função e carga.

Tipo de ancoragem no terreno	Aço da armadura
Ativa	Com pré-esforço
Intermédia	Com pré-esforço parcial
Passiva	Sem pré-esforço

As ancoragens ativas são úteis quando é necessário consolidar taludes e fundações pré-esforçadas.

As ancoragens passivas são adequadas em casos por exemplo, de estabilização de taludes naturais, onde os deslocamentos mínimos são toleráveis e não comprometem a segurança geral da estrutura.

As ancoragens intermediárias são usadas, frequentemente, em casos onde grandes movimentos devem ser evitados como obras temporárias de contenção.

A Figura 5 distingue graficamente ancoragem passiva de ancoragem ativa.

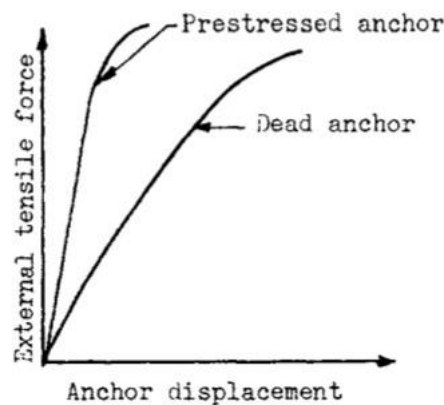


Fig. 5 - Comparação entre ancoragem passiva e ativa

2.3.4. TIPOS DE ANCORAGEM CONSIDERANDO A FORMA DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA

A maioria de instalações de ancoragens são completas com injeção de caldas de cimento. Neste caso, a sua capacidade resistente ao arrancamento depende muito da geometria da ancoragem, da configuração e da dimensão do bolbo de selagem. Assim, existem 4 tipos principais para os quais estão disponíveis métodos de construção e regras de projeto, caracterizados pelo mecanismo de transferência de carga do bolbo de selagem para o terreno envolvente.

É possível observar distintamente esses tipos na Figura 6.

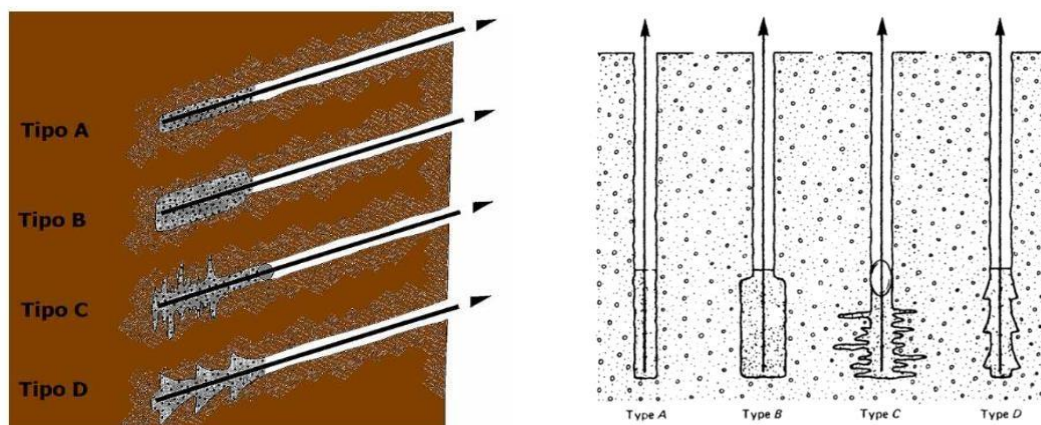


Fig. 6 - Classificação das ancoragens quanto ao mecanismo de transferência de carga

Tipo A – secção uniforme, injeção realizada por gravidade

É caracterizado por um furo cilíndrico de diâmetro uniforme, podendo ou não ser revestido de acordo com os requisitos de estabilidade do furo. Geralmente é realizado com broca de rotação ou com trado, preenchido com calda ao longo de um eixo reto por gravidade. Este tipo de injeção é adequado para rochas e em camadas coesivas duras a muito duras. A transferência de carga ocorre por resistência ao esforço de corte mobilizado ao longo da interface solo-calda.

Tipo B – secção cilíndrica alargada, injeções realizadas sob pressão

Neste tipo, a selagem da ancoragem é criada como um cilindro ampliado formado num furo sob baixa pressão de injeção, inferior a 1 MPa (segundo a norma britânica, BS8081) e, geralmente, inferiores à tensão total de confinamento do terreno.

Neste processo, o alargamento cilíndrico do furo é promovido pelas pressões aplicadas, escoando-se a calda sob o efeito de pressões de injeção através dos poros e fraturas naturais. Geralmente, o furo é protegido e realizado com trado rotativo. Este método aumenta o diâmetro efetivo do bolbo de selagem, perturbando de forma mínima os materiais do terreno envolvente.

É o tipo mais adequado em rochas brandas fissuradas e aluviões granulares, podendo ainda ser aplicado em solos granulares finos. No caso dos solos granulares finos, as partículas de cimento nem sempre ocupam a totalidade dos poros de menores dimensões do solo, mas sob a pressão da calda o solo irá consolidar localmente e, assim, aumentar o diâmetro efetivo de selagem, deslocando-se a superfície de resistência máxima para o maior diâmetro.

Inicialmente, a capacidade de carga obtém-se a partir da resistência de corte lateral, podendo ser a resistência mobilizada até à extremidade inferior do bolbo, contribuindo para a resistência última da ancoragem.

Tipo C – multi-injetadas

Neste caso, a calda é injetada a pressões elevadas (>2 MPa), forçando a partículas de cimento a penetrar nas irregularidades do solo e, assim, ampliar a secção do bolbo provocando rotura hidráulica (local) do terreno. Assim, para além do diâmetro central do furo, é produzida uma geometria de calda com aspeto de raiz.

Cada fase de injeção deve ser realizada com um ou dois dias de intervalo. Na ancoragem é instalado um tubo com válvulas na zona de selagem, que permitem injeções adicionais a pressões elevadas. Estas pressões faturam as caldas anteriores, saindo a calda injetada para o solo e alargando o bolbo.

Este tipo de injeção é adequado principalmente para solos arenosos, podendo, no entanto, ser utilizado em solos argilosos duros. Para efeitos de dimensionamento, considera-se a resistência de corte uniforme ao longo do diâmetro equivalente adequado na zona de selagem.

Tipo D – secções alargadas

Nestas ancoragens com bolbo de tipo D, o furo tem um tubo calha, como no tipo A, mas inclui uma série de alargamentos formados mecanicamente na zona do bolbo de selagem. Este tipo de ancoragem é comum em formações argilosas duras a muito duras, onde os alargamentos de secção podem ser quatro vezes a largura da secção do furo. Inicialmente, a resistência ao arranque é conferida pela resistência ao corte lateral, sendo numa fase mais avançada aumentada com a mobilização da resistência de ponta.

O método de selagem do tipo D pode, em casos pontuais, ser aplicado em solos arenosos quando aplicada uma estabilização na secção alargada.

2.4. DIMENSIONAMENTO DE ANCORAGENS

2.4.1. GENERALIDADES

O dimensionamento de uma ancoragem pré-esforçada integra duas fases distintas, mas complementares (Matos Fernandes, 1990):

- i) o estabelecimento dos aspetos relacionados com a geometria, nomeadamente a inclinação e o comprimento total;
- ii) a avaliação do comportamento mecânico, em particular das trações correspondentes aos estados limite últimos de resistência e utilização.

Deste modo, e de uma forma geral, o projeto individual de ancoragens deve atender, entre outros, aos seguintes tópicos, os quais serão detalhados posteriormente:

- 1- Calcular o comprimento livre;
- 2- Verificar a resistência externa da ancoragem (dimensionamento do bolbo de selagem)
- 3- Verificar a resistência interna da ancoragem (dimensionamento da armadura).

O dimensionamento das ancoragens envolve cálculos complexos que consideram as propriedades mecânicas dos materiais utilizados, as características do solo e as cargas aplicadas. O processo de dimensionamento (CFEM, 2006) deve garantir que as ancoragens possam suportar as cargas de serviço sem falhas excessivas. Isso inclui a análise da resistência à tração dos cabos de aço, a adesão entre os materiais de injeção e o solo, e a resistência ao esforço cortante.

2.4.2. DIMENSIONAMENTO SEGUNDO ESTADOS LIMITE

Em estruturas ancoradas, as ancoragens têm de fornecer forças que impeçam o estado limite de serviço, $F_{SERV;d}$ e o estado limite último, $F_{ULS;d}$. Considerando que o valor do pré-esforço da ancoragem por norma é superior ao necessário para evitar que se atinja o estado limite último da estrutura ancorada, deve ser estabelecido para controlar os movimentos associados à escavação. Assim sendo, a força de cálculo do ELU a ser resistida pela ancoragem é dada por:

$$E_{ULS;d} = \max(F_{ULS;d}; F_{SERV;d}) \quad (2.1)$$

onde

$$F_{SERV;d} = \gamma_{SERV} \times F_{SERV;k} \quad (2.2)$$

sendo que γ_{SERV} é igual a 1,35 para todas as estruturas ancoradas, como indica na norma EN1997-1:2004/A1.

Considerando $R_{ULS;d}$ como o valor de cálculo da capacidade resistente de uma ancoragem em conformidade com os estados limites últimos e $R_{t;d}$ como o valor de cálculo da capacidade resistente à tração de uma ancoragem, a verificação de segurança em relação ao ELU na ancoragem é estabelecida segundo as equações seguintes:

$$E_{ULS;d} \leq R_{t;d} \quad (2.3)$$

$$E_{ULS;d} \leq R_{ULS;d} \quad (2.4)$$

Para evitar o colapso de um sistema frágil, considera-se que estas resistências devem seguir a seguinte relação:

$$R_{ULS;d} < R_{t;d} \quad (2.5)$$

O enquadramento deste subcapítulo é essencial para compreender os valores da tensão útil, dimensionados para cada ensaio. A precisão no dimensionamento segundo os estados limites garante que as ancoragens desempenhem adequadamente o seu papel. O subcapítulo detalha os procedimentos normativos e os cálculos necessários, proporcionando uma base sólida para os ensaios mencionados ao longo do capítulo 3.

2.4.3. DIMENSIONAMENTO DO COMPRIMENTO LIVRE DE ANCORAGEM

A definição do comprimento livre da ancoragem está condicionada por questões de ordem geométrica, desde a distância da estrutura de suporte às superfícies potenciais de rotura, localização da superfície do terreno, existência de fundações vizinhas, entre outros.

Sabatini (1999) recomenda um comprimento livre mínimo de 4,5 m para armaduras de cordão e de 3,0 m para barras. Por outro lado, outros autores (COPAS 1989) sugerem um comprimento livre mínimo de 5,0 m. Estes valores mínimos estabelecidos procuram que ocorra uma degradação efetiva das tensões associadas à força dirigida para a

escavação aplicada na extremidade anterior do bolbo de selagem no interior do maciço, evitando a indução de pressões significativas adicionais sobre a cortina.

Não obstante, o comprimento livre poderá apresentar valores superiores de modo a satisfazer os seguintes requisitos:

- Acomodar movimentos a longo prazo;
- Localizar o comprimento de selagem a distâncias mínimas relativamente a superfícies de rotura;
- Localizar o bolbo de selagem em terreno com condições adequadas, fora de zonas de contacto geológico ou descontinuidades do terreno;
- Localizar a extremidade média da selagem, geralmente, a mais de 5m abaixo da superfície do terreno;
- Assegurar a estabilidade global do sistema ancorado;
- Atingir um extrato com características adequadas para selar a ancoragem.

Em geral, o comprimento livre é aplicado a uma distância mínima de $0,15H$, sendo H altura do suporte, ou 1,5 m da superfície de rotura potencial crítica, como indicado na Figura 7.

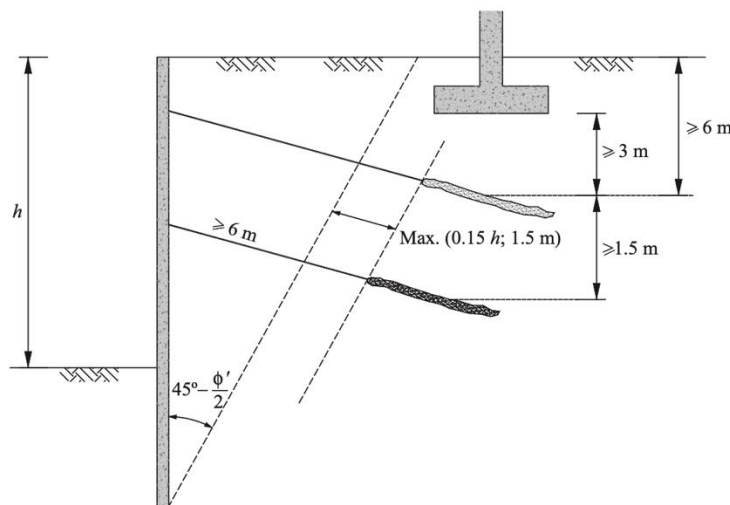


Fig. 7 - Exigências de profundidade para ancoragens em terreno. (Matos Fernandes, 2020)

O comprimento livre, L_{fr} , é, maioritariamente, dimensionado através da localização da formação geológica seleccionada para a zona de selagem, sendo vantajoso adotar um valor para o comprimento livre superior ao valor teórico.

2.4.4. DIMENSIONAMENTO DO COMPRIMENTO DE SELAGEM DA ANCORAGEM

O dimensionamento do comprimento de selagem é feito baseado nas características resistentes das formações envolventes do bolbo. As estimativas da capacidade de transferência de carga no comprimento de selagem são baseadas em experiências

anteriores de campo. Como tal, devem ser consideradas possíveis variações na capacidade devido a diferentes métodos de instalação e de injeção de calda.

Assim sendo, considera-se fundamental para a definição do comprimento de selagem (L_{tb}):

- Inexistência de risco de deslizamento entre os diferentes elementos que constituem a selagem e a calda que os sela ao terreno;
- Capacidade para transferir ao terreno as tensões provenientes das cargas introduzidas pela estrutura em serviço.

A capacidade resistente dependerá do método de furação, da qualidade da limpeza do furo, do período que o furo fica aberto, do diâmetro do furo, do método e da pressão utilizados no reajuntamento e do comprimento do furo. A seleção destes fatores, fica a critério da entidade especializada na construção das ancoragens, atendendo sempre a valores mínimos estabelecidos em normas.

O Post Tension Institute (PTI 1996), estabelece que os comprimentos de selagem devem ser superiores em solos argilosos em relação ao exigido em solos arenosos. Considera-se que o seu dimensionamento deve variar entre 4,5 m e 12 m para estes solos.

Posto isto, na realização de um projeto, o primeiro passo passa por assumir um comprimento máximo de ligação de ancoragem, considerando a estimativa da capacidade mínima permitida. As ancoragens fundadas no solo e em rocha devem ser projetadas assumindo que todo o assentamento se encontra no solo, ou seja, assumindo um comprimento de ligação igual a 12 m, valor máximo estabelecido na PTI (Post-Tensioning Institute 1996). Ao utilizar estes pressupostos para desenvolver uma estimativa preliminar do comprimento de aderência da ancoragem, deve ser verificado que para a altura de escavação necessária o comprimento mínimo livre pode ser desenvolvido.

Segundo o Post Tension Institute (PTI, 1996) é importante reconhecer que tensões elevadas não implicam necessariamente a uma elevada capacidade resistente. Assim, em ensaios de carga em que $FS \geq 2,0$, é possível organizar as ancoragens por diferentes tipos de solos argilosos ou arenosos.

Em solos argilosos,

Para o **tipo A**, ancoragens injetadas por gravidade, podemos estimar o comprimento de selagem por:

$$L_{tb} = \frac{P}{\pi \times d \times \tau_M} \quad (2.6)$$

sendo:

P- Carga de cálculo da ancoragem

d- Diâmetro do furo

τ_M - Resistência ao longo da interface do solo e calda.

Para o **tipo B**, ancoragens injetadas sob pressão, aplicam-se injeções com pressões superiores a 350 kPa. Os valores da capacidade resistente são superiores aos do tipo A.

Para o **tipo C**, ancoragens pré-injetadas, normalmente utilizadas em solo argilosos apenas, a capacidade resistente pode aumentar entre 20 até 50 % por cada fase de pós-injeção, estando estas limitadas a 3 fases.

Já em solos arenosos,

O **tipo A**, tem valores para a tensão efetiva média de confinamento entre 70 até 140 kPa, numa zona de confinamento a profundidades iguais ou maiores a 4,5 m na zona de selagem.

O **tipo B**, a capacidade resistente é bastante maior ao esperado. Como as injeções sob pressão podem ser realizadas a partir duma tubagem, é possível obter valores para inúmeros fatores no desenvolvimento como ângulo de atrito, tensão de confinamento, pressão da injeção, entre outros.

O **tipo C**, como referido anteriormente, é raramente utilizado para solos arenosos. Ainda assim, recorrendo a este método é possível obter valores crescentes para a capacidade resistente de selagem, como acontecia em solos argilosos.

É de referir que estes métodos são teóricos e devem ser limitados à fase anteprojetado. Para além de avaliar o melhor método a usar, a carga resistente deve ser verificada em ensaios de campo, a referir mais à frente.

2.4.5. DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA

O dimensionamento da armadura em ancoragens é um passo crítico para garantir a integridade estrutural e a durabilidade do sistema de ancoragem. A armadura é responsável por transmitir as forças de tração para o solo ou rocha, mantendo a estabilidade da estrutura ancorada.

O material mais utilizado para a armadura em ancoragens é o aço de alta resistência, que proporciona a capacidade necessária para suportar as cargas de tração impostas. A seleção do aço deve considerar propriedades como resistência à tração, ductilidade e resistência à corrosão. A EN1537:2016, refere que apenas se poderá usar outro material nas armaduras se a sua adequabilidade, como componentes de ancoragem, forem validadas.

A armadura deve ser distribuída uniformemente ao longo do comprimento da ancoragem, com especial atenção para a zona de selagem, onde as tensões são mais elevadas. O espaçamento entre os elementos da armadura deve permitir uma transferência eficiente das cargas para o solo ou rocha circundante, além de garantir que a injeção de calda de cimento seja contínua e uniforme.

Na prática, a distribuição uniforme é alcançada utilizando espaçadores e centralizadores, que garantem que a armadura permaneça na posição correta durante a instalação e a injeção de calda. Esses componentes são essenciais para evitar a excentricidade da armadura, que pode levar a concentrações de tensões indesejadas e potenciais falhas prematuras.

O dimensionamento da armadura deve ser verificado em relação aos estados limites últimos (ELU) e de serviço (ELS). Para o ELU, a armadura deve suportar a carga máxima sem falhar, enquanto para o ELS, a armadura deve garantir que os deslocamentos e deformações permaneçam dentro dos limites aceitáveis para a estrutura.

O dimensionamento da armadura deve estar em conformidade com as normas técnicas, como a EN 1537 e a ISO 22477-5. Essas normas fornecem informações específicas sobre os requisitos de projeto.

Para o caso de estudo apresentado no capítulo 4, o dimensionamento externo das ancoragens baseia-se na força que a ancoragem deve resistir, obtida pela equação 2.7.

$$F_a = \frac{\sigma_{h,total} \times e}{n \times \cos(\alpha)} \quad (2.7)$$

Onde $\sigma_{h,total}$ é a resultante horizontal dos impulsos do terreno; e o espaçamento médio em planta entre ancoragens; n o número de níveis de ancoragens; e α a inclinação mais desfavorável das ancoragens.

Para o dimensionamento interno das ancoragens é necessário avaliar o número de cordões a utilizar e os limites impostos pela EN1537 para os valores de tensão útil e de tensão de blocagem. Considerando a utilização de cordões de pré-esforço com 0,6" de diâmetro nominal e um coeficiente de segurança de 1,35 temos:

$$n \geq \frac{P \times 1,35}{N_{Rd,cordão}} \quad (2.8)$$

Sabendo que $N_{Rd,cordão}$ é obtido por:

$$N_{Rd,cordão} = \frac{f_{puk} \times A_{cordão}}{1,35} \quad (2.9)$$

Considerando, $N_{Rd,cordão}$ como o valor de cálculo da resistência à tração em estado limite último de um cordão, $f_{puk} = 1860$ MPa e $A_{cordão}$ como a área nominal de cada cordão.

Podemos, ainda, considerar que o valor da tensão de blocagem é 1,1 vezes o valor da tensão útil da ancoragem e que os limites de ambos são apresentados nas equações (4.4) e (4.5).

$$P \leq \frac{0,65 \times n \times A_{cordão} \times f_{puk}}{1,35} \quad (2.10)$$

$$P_0 \leq 0,60 \times n \times A_{\text{cordão}} \times f_{puk} \quad (2.11)$$

3

ENSAIOS DE CARGA EM ANCORAGENS

3.1. NOTA INTRODUTÓRIA

Após a descrição detalhada da constituição de uma ancoragem e do seu dimensionamento, este capítulo foca-se no desenvolvimento de uma ferramenta de tratamentos dos ensaios de carga, realizados em ancoragens. Estes são elementos essenciais para a validação dos pressupostos de dimensionamento das ancoragens, permitindo definir procedimentos construtivos ajustados ao cenário em análise, garantindo a segurança da estrutura e economia de custos.

Como exposto durante o capítulo 2, uma ancoragem é um elemento estrutural complexo, existindo a necessidade de informação geotécnica, procedimentos construtivos e outros para o seu dimensionamento. Assim sendo, e mesmo após a realização de um dimensionamento ponderado, é fundamental realizar ensaios de carga na ancoragem de modo que todos os pressupostos de projeto e método construtivo sejam devidamente validados.

Neste âmbito, o quadro regulamentar em vigor apresenta vários tipos de ensaio e de métodos, cada um com inúmeros critérios de aceitação, considerados em diferentes

parâmetros associados a ancoragens. Estes ensaios visam compreender como se desenvolverá o comportamento da ancoragem ao longo da sua vida útil.

Esses ensaios podem ser divididos em várias categorias, incluindo ensaios prévios, ensaios de adequabilidade e ensaios de receção. Cada tipo de ensaio tem um propósito específico e segue procedimentos normativos rigorosos. Ensaio prévios, por exemplo, são realizados antes da instalação das ancoragens definitivas para verificar as condições do solo e a eficácia dos métodos de instalação. Ensaio de adequabilidade avaliam a capacidade de carga das ancoragens em condições reais de serviço, enquanto os ensaios de receção garantem que as ancoragens instaladas atendam aos padrões de desempenho especificados.

3.2. GENERALIDADES DOS ENSAIOS DE CARGA EM ANCORAGENS

3.2.1 PROCEDIMENTOS NORMATIVOS

A Norma EN1997-1:2010, referente ao projeto geotécnico, indica que, na escolha da situação de projeto, devem ser considerados vários aspetos cruciais. Entre eles estão: todas as circunstâncias que possam ocorrer durante a construção da estrutura; todas as circunstâncias previstas durante a vida útil da ancoragem; o nível esperado da água do terreno e as pressões associadas; as consequências de uma possível falha na ancoragem; entre outros fatores importantes. Essas considerações são fundamentais para garantir a segurança e a durabilidade das ancoragens em diferentes condições de operação.

Por outro lado, a norma EN1537:2016, referente à execução de ancoragens no terreno, adiciona detalhes específicos para a elaboração dos desenhos de execução. Esta norma destaca a importância de representar claramente as dimensões do comprimento livre e do comprimento de selagem das ancoragens; o ângulo de inclinação dos furos; as tolerâncias das dimensões, das inclinações e da implantação das ancoragens; as dimensões da secção transversal e as características dos materiais dos elementos do sistema de ancoragem. Adicionalmente, enfatiza a necessidade de uma proteção adequada contra a corrosão.

Essas normas proporcionam um conjunto abrangente de diretrizes que são essenciais para garantir que as ancoragens sejam projetadas e executadas de maneira segura, eficiente e durável. Seguir essas normas ajuda a prevenir falhas estruturais e a assegurar que as ancoragens cumpram com os requisitos de desempenho ao longo de sua vida útil.

Os procedimentos normativos para a realização de ensaios de carga em ancoragens são fundamentais para garantir a uniformidade e a comparabilidade dos resultados. Esses procedimentos especificam as etapas a serem seguidas durante os ensaios, incluindo a preparação do local, a instalação dos equipamentos de medição e a aplicação das cargas. O cumprimento rigoroso dos procedimentos normativos minimiza as variabilidades nos resultados e aumenta a confiança na avaliação da capacidade das ancoragens. Além disso, as normas frequentemente são atualizadas para incorporar os avanços tecnológicos.

Em suma, as normas referem explicitamente cada procedimento a ter em conta antes da realização do ensaio. Contudo, é necessário realizar o ensaio para avaliar a validação do dimensionamento e da construção das ancoragens. A realização do ensaio de carga é crucial para confirmar a capacidade de carga e a integridade das ancoragens, assegurando que estas atendam aos requisitos de desempenho previstos e contribuam para a estabilidade e a durabilidade da estrutura.

3.2.2. PROCEDIMENTOS DE FURAÇÃO

Para a realização de ensaios de ancoragens são necessários alguns passos. (New Zealand Geotechnical Society, 2023). Para iniciar, é necessário a realização de um furo, que não deve influenciar a integridade das estruturas existentes nas redondezas, de modo a manter condições do terreno mais favoráveis para o desempenho da ancoragem. É, ainda, fundamental que não introduza perturbações adversas ao solo nas redondezas, de modo a minimizar a descompressão do terreno circundante, as variações dos níveis de água no terreno, o amolecimento das paredes do furo e, acima de tudo, prevenir o colapso da parede do furo durante a furação e durante a instalação da ancoragem. A inclinação das ancoragens deve ser controlada, fixando a direção e inclinação da torre do equipamento de furação de acordo com o projeto.

Antes da furação se iniciar, são necessários os seguintes procedimentos:

- Garantir que o material de furação não está dilatado, torcido ou amolgado;
- Criar condições para a livre circulação do ar e da água;
- Limpar e lubrificar todas as roscas de modo que a furação seja realizada facilmente, enroscando e desenroscando sem qualquer limitação;
- Verificar se os comprimentos e diâmetros de furação utilizados são corretos.

A norma EN1537:2016, reforça que o diâmetro do furo deve ser dimensionado de modo a permitir o recobrimento de calda definido para a armadura ao longo do comprimento de selagem.

Para a execução da furação, por norma, utiliza-se uma máquina Klemm KR-805 ou similar, como representado na Figura 8.



Fig. 8 - Máquina Klemm KR-805

Após a furação, é necessário:

1. Realizar a impermeabilização do furo, com pré-injeções de caldas;
2. Colocar armadura;
3. Realizar injeções de calda ao longo do bolbo de selagem;
4. Realizar o controlo das caldas;
5. Tensionar.

Este procedimento deve considerar o tipo de terreno, a acessibilidade, o tipo e a capacidade das ancoragens, entre outros fatores. Como tal, o método de furação deve ser ponderado de modo a maximizar a eficiência do processo, aumentando a produtividade e diminuindo os custos totais de obra.

3.2.3. MATERIAL UTILIZADO NA REALIZAÇÃO DE UM ENSAIO

Geralmente, cada ancoragem deve ser submetida a um ensaio de carga para verificar a sua capacidade. Os ensaios de carga são realizados na superfície de solo e consistem em tensionar o fio pré-esforçado seguido da medição da carga e do alongamento do cordão. Para realizar esses ensaios, é então necessário: uma bomba e um macaco hidráulico, devidamente calibrado; medidores de pressão e células de carga bem como um medidor de distância para verificar o alongamento da ancoragem.

O equipamento de pré-esforço consiste num macaco hidráulico e numa bomba elétrica que conduz o macaco. Estes são usados para aplicar carga aos cordões da ancoragem.

O macaco hidráulico deve ser capaz de aplicar uma carga concêntrica igual em todos os cordões. A carga deve ser transferida para todos os elementos de pré-esforço do cordão simultaneamente. O alongamento do cordão não deve ser menor que o alongamento teórico do cordão na carga máxima de teste. Segundo FHWA (1999), o macaco hidráulico deve ser capaz de aplicar carga incrementalmente, conforme exigido pelos procedimentos de teste, devendo aplicar carga a cada 60 segundos e aplicar a carga de ensaio não excedendo 75% da pressão do macaco e do sistema de bomba.

É importante referir que o funcionamento dos macacos hidráulicos exige espaço para o seu manuseamento. Assim, é possível compreender que a sua utilização pode ser desfavorável a uma dada frente de obra onde o espaço seja condicionante.

A Figura 9 ilustra a instalação de um macaco hidráulico numa ancoragem.



Fig. 9 – Exemplo de macaco hidráulico

Para auxiliar a leitura e a monitorização dos valores da carga, utilizamos um manómetro conectado à bomba do macaco hidráulico. Os valores lidos pelo manómetro são utilizados para determinar o valor absoluto da carga aplicada.

As células de carga, por norma utilizadas em ensaios de receção detalhados, permitem uma monitorização constante da carga aplicada enquanto a bomba é ajustada manualmente. A sua utilização é mais comum em ensaios com longos períodos, uma vez que o manómetro não é capaz de refletir com precisão algumas perdas de carga que possam surgir no macaco. A calibração do macaco hidráulico e das células de carga deve ser realizada a cada 12 meses antes da sua utilização.

Para além dos valores de carga, o ensaio baseia-se na leitura de valores de alongamento da ancoragem. Essa leitura é realizada com auxílio de um medidor, normalmente apoiado a um tripé para garantir a estabilização deste. O medidor deve ter precisão de 0,025mm. Recomenda-se que as medições recorrentes sejam realizadas tomando sempre o mesmo ponto de partida, de modo a evitar erros de medição.

Resumindo o procedimento de realização de ensaio (Geotech.hr, 2023), após a realização de uma furação, coloca-se a ancoragem e procede-se à injeção de calda. Coloca-se uma cunha e uma bolacha para apoiar o tensionamento e permitir que seja realizado em todos os cabos pré-esforçados (Figura 10). Caso se realize um ensaio de carga de receção detalhado, coloca-se também a célula de carga, como está indicado na Figura 11. Seguidamente é colocado o macaco hidráulico, com auxílio de equipamento de elevação (gruas, escavadoras, ...) e inicia-se o tensionamento. A aplicação da tensão é fundamental para avaliar e registar o comportamento do deslocamento da ancoragem segundo um método de ensaio e para tracionar a armadura e fixá-la na sua carga de blocagem.



Fig. 10 – Instalação de uma ancoragem.

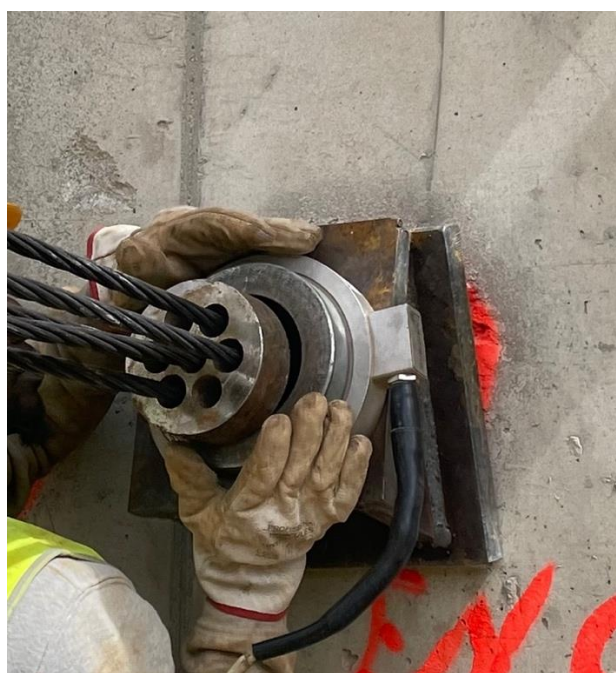


Fig. 11 - Instalação de uma ancoragem com célula de carga

3.3. TIPOS DE ENSAIOS DE CARGA

3.3.1. ENSAIOS PRÉVIOS

A norma europeia EN1537:2016 define o ensaio prévio como um teste de carga que tem o objetivo de determinar a resistência máxima de uma ancoragem na interface entre o terreno e a calda, bem como de avaliar o comportamento da ancoragem sob as cargas de serviço. Um ensaio prévio é um ensaio que envolve a carga e descarga incrementais de uma ancoragem.

Os ensaios prévios são realizados antes da instalação das ancoragens definitivas para verificar as condições do solo e a adequabilidade dos materiais (Bruce & Yeung 1984). Esses ensaios ajudam a identificar possíveis problemas e a ajustar os parâmetros de dimensionamento, caso necessário. A análise dos dados obtidos durante os ensaios prévios fornece informações valiosas para a otimização do projeto das ancoragens, garantindo que elas atendam aos requisitos de desempenho.

Realizando este ensaio, espera-se identificar a capacidade resistente ao arrancamento, identificar uma possível carga de ensaio a utilizar em ensaios de adequabilidade e de receção, avaliar resultados relativos ao comprimento livre aparente e identificar a carga crítica de fluência (Método 3). É utilizado, também, para estabelecer o comportamento carga-deformação, identificar as causas do movimento da ancoragem e ainda verificar se o dimensionamento do comprimento livre é igual ou superior ao assumido no projeto.

Os ensaios prévios devem ser realizados sempre que as ancoragens sejam construídas em zonas onde as condições de terreno não tenham sido sujeitas a ensaios prévios anteriormente, ou quando, nas mesmas condições de terreno, as cargas de serviço sejam significativamente superiores às adotadas. Por essa razão, são realizados nas primeiras duas ou três ancoragens de produção e, posteriormente, num mínimo de dois por cento das restantes ancoragens do projeto.

Durante a realização destes ensaios a carga deve ser controlada com rigor. Pode ser necessário aumentar a secção das armaduras para garantir que a ancoragem tenha o desempenho ideal. O diâmetro, as dimensões e os componentes da ancoragem neste ensaio devem ser iguais aos previstos para obra. A ancoragem é tensionada gradualmente por um ou mais ciclos de carga, aumentando desde a carga de referência, P_a , até à carga de ensaio, P_p . Em cada ciclo de carga, o deslocamento da extremidade do cabo deve ser medido durante um período fixo. Caso a ancoragem não seja validada neste ensaio, não deve ser utilizada.

A norma EN1537:2016 refere ainda que as ancoragens que sejam submetidas a este ensaio, não devem ser utilizadas em obras definitivas e que antes da realização do ensaio, deve ser assegurado que as forças externas não interferem no funcionamento normal do equipamento de medição.

De modo a satisfazer os limites impostos para o estado limite último, segundo EN1997:2016-1, podemos impor como limite mínimo para a carga de ensaio:

$$P_p \geq \xi_{ULS} \times \gamma_{a;SLS} \times E_{ULS;d} \quad (3.1)$$

sendo

ξ_{ULS} – coeficiente de correlação

$\gamma_{a;SLS}$ – coeficientes parciais

$E_{ULS;d}$ – valor de cálculo da força a ser suportada pela ancoragem no estado limite último.

Os ensaios prévios, à semelhança dos ensaios de adequabilidade e de receção, podem ser realizados recorrendo a três métodos de características diferentes.

3.3.1.1. Método 1

Um ensaio prévio de acordo com o Método 1, é um ensaio onde a carga é aplicada incrementalmente em ciclos a uma ancoragem até à carga de ensaio, P_p , que é concebida para atingir a rotura da interface solo-ancoragem. O ensaio deve ser baseado em seis ciclos. Na realização de cada ciclo, a carga máxima do patamar deve ser mantida constante durante um período específico. O teste envolve a medição do deslocamento da extremidade do cordão com auxílio de um medidor em cada patamar durante um determinado intervalo de tempo. Caso a ancoragem falhe antes da execução dos seis ciclos, o teste é concluído.

O carregamento deve ser realizado em 6 ciclos sendo o primeiro desde a carga mínima, P_a , até 40% da carga de ensaio, P_p ; o segundo desde 40% P_p até 55% P_p ; o terceiro desde 55% P_p até 70% P_p ; o quarto desde 70% P_p até 80% P_p ; o quinto desde 80% P_p até 90% P_p e o sexto e último desde 90% P_p até à carga de ensaio na totalidade. Este carregamento é claramente definido na Figura 12.

No momento que o ciclo atinge a carga máxima, deve-se manter esta carga por um período mínimo de 15 minutos, em ciclos que não atingem a carga máxima de ensaio, de modo a compreender os valores de fluência que se estabelecem. Para patamares em que a carga do ciclo atinge o nível máximo da carga de ensaio, a carga deve manter-se constante durante 60 minutos para solos arenosos e 180 minutos para solos argilosos.

Realizadas as leituras dos valores de alongamentos lidos em cada patamar, procede-se à análise, consoante os valores obtidos do coeficiente de fluência, k_s , e obtém-se o valor do comprimento livre aparente. Caso o valor obtido na análise dos ensaios esteja entre os limites estabelecidos, o ensaio é validado.

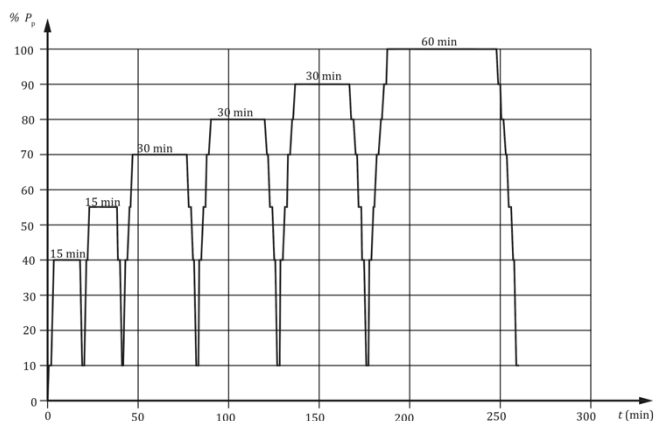


Fig. 12 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de Ensaio Prévio de acordo com o Método 1 (ISO 22477-5).

3.3.1.2. Método 2

No método 2, a realização de ensaios prévios deve ser realizada com um número mínimo de seis ciclos de carga. A carga será incrementada desde a carga inicial, P_a , até à carga de ensaio, P_p , ou até ocorrer rotura. Em cada ciclo, durante a aplicação da carga máxima, o deslocamento da extremidade do cabo é mantido constante e a perda de carga é medida durante um intervalo de tempo. Os ciclos de carga admitidos podem

ser observados na Figura 13. O carregamento deve ser realizado segundo o Quadro 3, retirado da norma ISO 22477-5:2018.

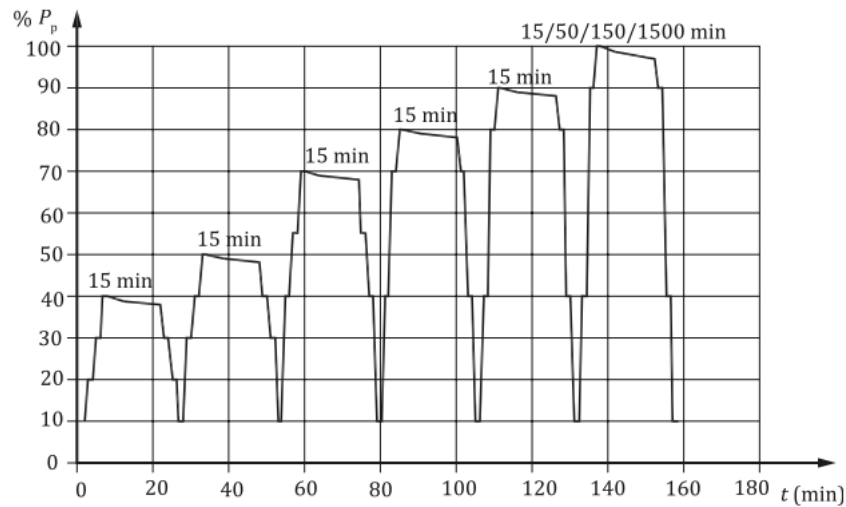


Fig. 13 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de Ensaio Prévio de acordo com o método 2. (ISO 22477-5).

Quadro 3 - Percentagem de carga a utilizar na realização do ensaio e respetivo tempo em cada patamar segundo o método 2, em Ensaio Prévio. (ISO 22477-5).

Níveis de carga (%P _p)						Período mínimo de observação (min)
Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	
10	10	10	10	10	10	1
20	30	40	40	40	40	1
30	40	55	70	80	90	1
40	50	70	80	90	100	15, 50, 150 or 1 500
30	40	55	70	80	90	1
20	30	40	40	40	40	1
10	10	10	10	10	10	1

Se a perda de carga acumulada no último ciclo, realizado com um intervalo de tempo mínimo de 50 minutos, não exceder os limites especificados, o ensaio é concluído.

Durante a fase de carregamento, no patamar onde será aplicada carga mais elevada de cada ciclo, deve ser registado o valor da perda de carga na cabeça de ancoragem e o deslocamento do cordão deve ser apontado ao longo do intervalo de tempo de cada ciclo (Mothersille, 2018). Deve, também, ser reforçada a estabilidade da instalação e a monitorização dos dispositivos de tensão e de reação.

Realizadas as leituras, deve-se analisar a relação carga x deslocamento; carga x deformação elástica; carga x deformação plástica. É ainda possível calcular o valor do comprimento livre aparente, descarregando a carga de ensaio, P_p, para a carga inicial, P_a.

3.3.1.3. Método 3

No método 3, a ancoragem é tensionada desde a carga inicial, P_a , até à carga de ensaio, P_p , sendo o carregamento realizado por, no mínimo, seis ciclos de carga, sendo o mais comum apresentar oito ciclos de carga. Tal como nos outros métodos, este método de realização de ensaio prevê que a carga de ensaio, P_p , seja concebida para atingir a falha da interface solo-ancoragem. Neste método, a carga é aplicada em ciclos e mantém-se constante durante 60 minutos para cada carga máxima do ciclo, podendo-se reduzir este valor para 30 minutos caso os valores de deslocamento do cordão sejam inferiores ou iguais a 0,3mm entre as medições de 15 e 30 minutos, que corresponde a um coeficiente de fluência inferior a 0,1mm.

O carregamento começa na carga inicial, P_a , que equivale a 10% da carga de ensaio, aumenta para 25% da carga de ensaio, seguida de novo aumento para 40% da carga de ensaio. Após atingir o ciclo de 40% da carga de ensaio, aumenta 10% em cada ciclo até atingir a carga total de ensaio, P_p . O descarregamento é realizado passo a passo, descarregando 25% da carga até atingir a carga inicial de ensaio. A Figura 14 define o ciclos de carga-descarga que a ancoragem irá proceder.

Após realizar a leitura, devem ser apresentadas graficamente soluções para deslocamento da ancoragem vs carga; deformação plástica e elástica vs carga e coeficiente de fluência vs carga.

Com este ensaio, é possível obter valores para a carga crítica de fluência P_c , resistência ao arrancamento da ancoragem e comprimento livre aparente da ancoragem.

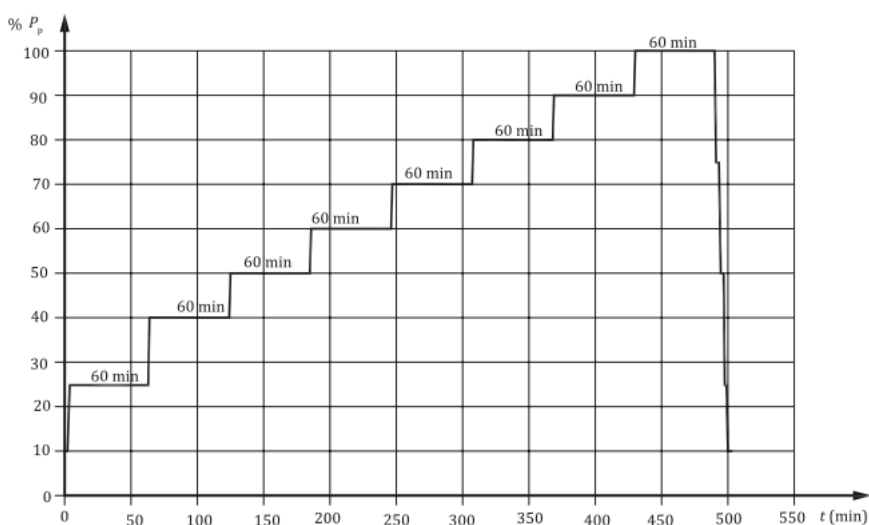


Fig. 14 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de Ensaio Prévio de acordo com o método 3 (ISO 22477-5).

3.3.2. ENSAIOS DE ADEQUABILIDADE, EA

Os ensaios de adequabilidade são ensaios que visam a confirmação de certos aspetos como a capacidade de suportar uma carga de ensaio máxima, P_p ; as características de fluência ou de perda de carga da ancoragem, durante a realização do ensaio e confirmam o comprimento livre aparente da armadura. A serem realizados, devem ser efetuados nos locais onde as ancoragens provisórias ou definitivas irão ser executadas.

Contrariamente aos ensaios prévios, uma ancoragem utilizada em ensaios de adequabilidade pode, posteriormente, ser utilizada com ancoragens de produção.

A norma EN 1997-1 2010, refere ainda que a realização de ensaios de adequabilidade deve ser especificada para ancoragens seladas por injeção de calda e ancoragens com âncora helicoidal. Devem ser realizados três ensaios para cada condição diferente do terreno e da estrutura, de modo a determinar o valor da capacidade resistente da ancoragem.

Os ensaios de adequabilidade devem ser realizados após os ensaios prévios, de modo a ter uma consideração anterior da experiência adquirida nesses ensaios.

Caso se obtenha dados de um ensaio prévio, o objetivo do ensaio de adequabilidade é avaliar se o valor de fluência é aceitável ou confirmar as características da perda de carga durante o ensaio. É ainda essencial para fornecer elementos para análise dos resultados dos ensaios futuros e para avaliar a carga crítica de fluência.

Caso não se obtenha dados de um ensaio prévio, o objetivo do ensaio de adequabilidade é avaliar as características referidas no primeiro parágrafo e, ainda, definir os critérios de aceitação da fluência e das perdas de carga, ou avaliar a carga crítica de fluência.

Para o cálculo da carga de ensaio mínima a utilizar na realização do ensaio, deve-se usar a mesma equação (3.1), comum para ensaios prévios.

3.3.2.1. Método 1

O método 1 estipula que um ensaio de adequabilidade deve ser realizado com aplicação de carga incrementalmente, distribuída em pelo menos cinco ciclos de carga. Este ensaio, tal como o ensaio prévio, envolve a medição do deslocamento do cordão em função da carga aplicada e a medição do deslocamento do cordão em função da carga máxima aplicada em cada ciclo. Como mostra a Figura 15, o carregamento começa na carga inicial, P_a , que equivale a 10% da carga de ensaio. O primeiro ciclo corresponde a uma carga máxima de 40% da carga de ensaio, procedendo a uma descarga até P_a . Para os ciclos seguintes, a carga máxima de cada um aumenta 15% consoante o ciclo anterior, até atingir a carga total de ensaio. As cargas incrementais devem ser mantidas durante, pelo menos, 1 minuto e as cargas máximas de cada ciclo seguem as regras do Quadro 4. A descarga final até à carga inicial é realizada usando os mesmos valores utilizados nos ciclos de carga, garantindo que se mantém constante em cada um destes durante 1 minuto.

Durante a carga máxima de cada ciclo, para além de se medir os valores para o alongamento do cordão, deve-se verificar também o valor do coeficiente de fluência em cada um dos patamares. Em patamares com grandes intervalos de tempo, se o

coeficiente de fluência não for estável, deve-se continuar a monitorização até este estabilizar.

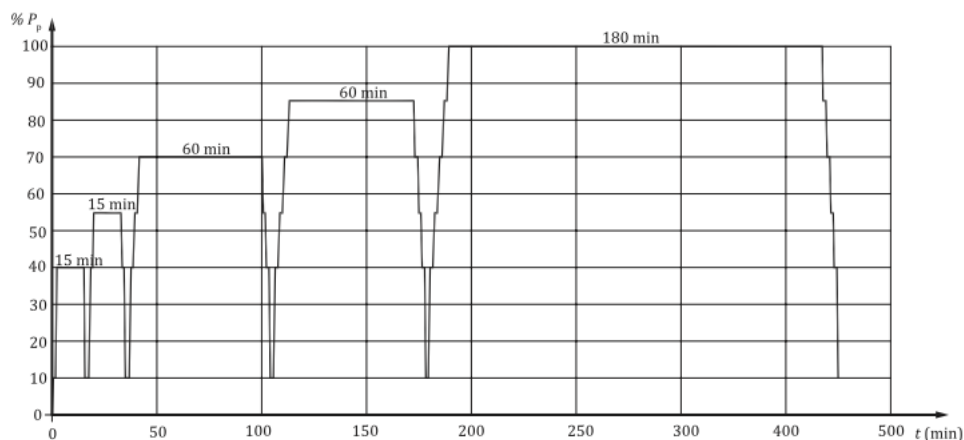


Fig. 15 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de Ensaio de Adequabilidade de acordo com o método 1 (ISO 22477-5).

Quadro 4 - Percentagem de carga a utilizar na realização do ensaio e respetivo tempo em cada patamar segundo o método 1, em Ensaio de Adequabilidade (ISO 22477-5).

Ciclo	Carga máxima	Período mínimo de observação para cada ciclo (min)			
		Ancoragens provisórias		Ancoragens definitivas	
		Solos com cascalho e rocha	Solos finos	Solos com cascalho e rocha	Solos finos
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

Este método permite determinar os valores do comprimento livre aparente, do coeficiente de fluência e avaliar a capacidade de resistência da ancoragem quando submetida à carga de ensaio projetada. As medições realizadas durante o ensaio devem apresentar os gráficos de deslocamento do cordão em função da carga e os gráficos de coeficiente de fluência em função da carga.

3.3.2.2. Método 2

Um ensaio de adequabilidade, de acordo com o Método 2, é um ensaio no qual uma carga axial é aplicada incrementalmente em, pelo menos, três ciclos até atingir a carga de ensaio P_p , para confirmar que a ancoragem é adequada em condições específicas do solo. Na carga de ensaio dos ciclos 2 e 3, o deslocamento da extremidade é constante. O teste mede a perda de carga, durante um intervalo de tempo especificado.

Cada patamar de carga do segundo e terceiro ciclos deve ser mantido durante 1 minuto e o deslocamento deve ser registado no início e no final de cada patamar. Nos patamares onde é aplicada a carga máxima, o intervalo de tempo vai até aos 15 minutos, com uma leitura intermédia aos 5 minutos. Neste intervalo de tempo, se a carga de ensaio for inferior aos limites especificados no anexo nacional da EN1997-1:2010, deve ser submetido a mais dois ciclos de carga e caso seja superior a esses mesmos limites, a carga de ensaio deve ser reduzida de modo que os valores cumpram os limites normativos.

O carregamento é igual para cada um dos ciclos, começando em 10%Pp, com patamares em 40%Pp e 80%Pp até atingir a carga total de ensaio. Procede-se à descarga com registo de deslocamentos em cada um desses mesmos patamares, assim como o valor da perda de carga, como mostra a Figura 16.

As medições efetuadas devem ser apresentadas em gráficos que relacionem perda de carga com tempo e carga com deslocamento. Este ensaio permite, também, a determinação do comprimento livre aparente do cordão, descarregando de Pp para Pa.

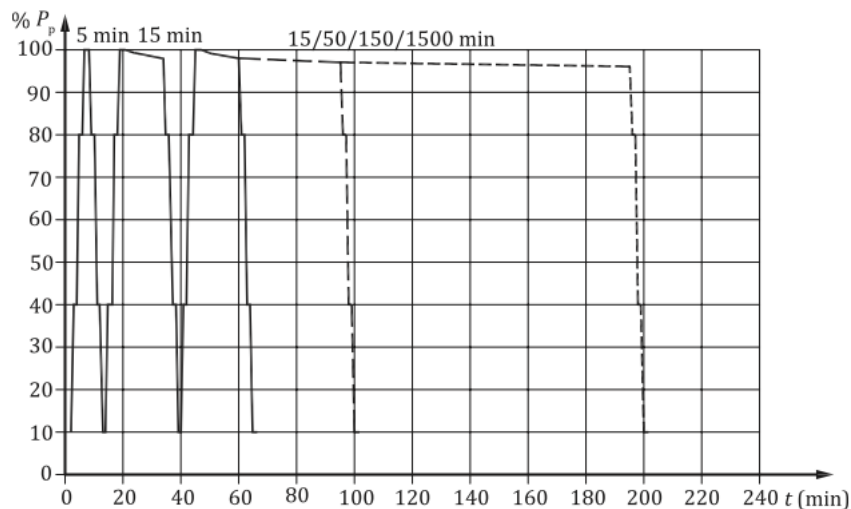


Fig. 16 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de Ensaio de Adequabilidade de acordo com método 2 (ISO 22477-5).

3.3.2.3. Método 3

Um ensaio de adequabilidade segundo o Método 3 é um ensaio onde se aplica a uma ancoragem uma carga axial, aplicada passo a passo até atingir a carga de ensaio Pp. O seu objetivo é confirmar que a ancoragem será adequada em condições específicas do solo. A ancoragem é submetida a, pelo menos, cinco ciclos de carga, sendo estipulado que seis ciclos de carga seja o mais adequado, segundo ISO 22477-5:2018. Em cada um desses ciclos a carga é mantida constante durante um intervalo de tempo de 60 minutos. O ensaio, como os anteriores, envolve a medição do deslocamento em função da carga aplicada e em função do tempo.

O carregamento, representado na Figura 17, é realizado começando na carga inicial, 10%Pp e aumentando 15% do valor da carga do ensaio em cada patamar. É adequado realizar o ensaio durante 60 minutos para cada patamar, podendo ser interrompida a

fase de carregamento aos 30 minutos, caso o valor de k_s seja inferior a 0,1mm. Durante a descarga, a carga deve ser mantida constante, pelo menos, nos patamares de 75% P_p , 50% P_p , 25% P_p e 10% P_p durante o tempo necessário para realizar todas as leituras em cada etapa, considerando no mínimo um intervalo de tempo de 5 minutos. Em cada patamar, deve-se considerar e registrar os valores de k_s .

As medições realizadas devem ser apresentadas graficamente em gráficos que relacionem o deslocamento do cordão com a carga aplicada e que relacionem o coeficiente de fluência com a carga aplicada. Com base nos dados recolhidos, é possível determinar o valor do coeficiente de fluência na carga de ensaio e o comprimento livre aparente do cordão.

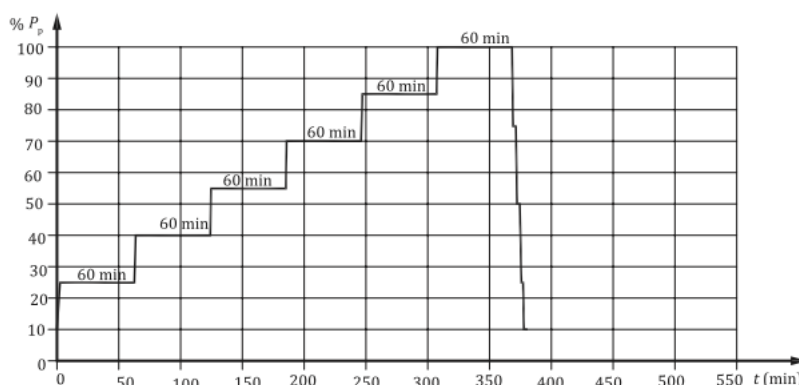


Fig. 17 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de Ensaio de Adequabilidade de acordo com método 3 (ISO 22477-5).

Quadro 5 - Percentagem de carga a utilizar na realização do ensaio e respetivo tempo em cada patamar segundo o método 3, em Ensaio de Adequabilidade (ISO 22477-5).

Procedimento de carga							
Patamar de carga	Inicial	1	2	3	4	5	6
Carga aplicada (% P_p)	P_a	25	40	55	70	85	100
Período de observação (min)	0	60	60	60	60	60	60

3.3.3. ENSAIOS DE RECEÇÃO, ER

Cada ancoragem selada por calda de injeção deve ser submetida a um ensaio de receção antes da blocagem, excetuando as que já tenham sido submetidas a um ensaio de carga. São ensaios realizados para garantir que as ancoragens instaladas atendem aos critérios de desempenho especificado em projeto. Existem dois tipos de ensaios de receção: detalhado e simplificado. Os ensaios de receção detalhados realizam uma análise completa e, como o nome indica, mais detalhada. Já os ensaios de receção simplificados são utilizados para avaliações rápidas e menos pormenorizadas.

Ambos os ensaios comprovam os requisitos de desempenho, sendo que o ensaio de receção simplificado verifica os requisitos básicos. O objetivo de um ensaio de receção é determinar o comprimento livre aparente da ancoragem e as características de fluência ou de perdas de carga, demonstrar que a carga de ensaio pode ser suportada

pela ancoragem e assegurar que a carga de blocagem aplicada é adequada para garantir a carga de projeto. O ensaio de receção detalhado, tal como os ensaios prévios e de adequabilidade, tem 3 métodos de realização de ensaio. Já o ensaio de receção simplificado envolve a aplicação de uma carga de ensaio que geralmente é uma fração da carga máxima prevista e inclui a monitorização do deslocamento da ancoragem para verificar a sua conformidade com os critérios de desempenho estabelecidos. Este ensaio é essencial para validar a instalação e garantir a segurança e eficácia da ancoragem antes da sua utilização em serviço.

Matos Fernandes (2020) reforça que um ensaio de receção só deve ser aceite caso satisfaça os limites do coeficiente de fluência e os limites para o comprimento livre do cordão.

A carga máxima de ensaio, pode ser estimada através da imposição do seguinte limite mínimo:

$$P_p \geq \gamma_{a;acc;ULS} \times E_{ULS;d} \quad (3.2)$$

ou

$$P_p \geq F_{serv;k} \quad (3.3)$$

sendo o valor de $\gamma_{a; acc;ULS}$ definido como 1,1.

3.3.3.1. Ensaio de receção detalhados, ERD

O ensaio de receção detalhado, como referi anteriormente, é um ensaio projetado para fornecer avaliações completas e rigorosas do desempenho das ancoragens. Incluem maior número de ciclos de carga e descarga do que os ensaios de receção simplificados, ERS e, normalmente, submetem ancoragens a cargas incrementais até 1,5 vezes a carga de projeto.

São ensaios, normalmente, associados a projetos onde a segurança e o desempenho das ancoragens são particularmente importantes, como obras de grande porte ou estruturas críticas. São ensaios recorrentemente utilizados quando necessária a aplicação de células de carga, o que envolve maior monitorização por serem ancoragens analisadas com maior detalhe.

3.3.3.1.1. Método 1

Segundo o método 1, o ensaio de receção detalhado é um ensaio onde uma carga axial é aplicada em pelo menos cinco ciclos de carga, que iniciam na carga inicial de ensaio P_a e finalizam na carga de ensaio P_p , verificado na Figura 18. É um ensaio realizado rapidamente, uma vez que nos ciclos de carregamento, nos patamares quando se atinge a carga máxima de ensaio desse ciclo, apenas é necessário manter constante durante um intervalo de tempo de 1 minuto. Assim que é atingida a carga máxima de ensaio, P_p , mantém-se constante esta carga durante 15 minutos para solos finos, ou 5 minutos para solos grossos, como indica o Quadro 6. Posteriormente, a ancoragem deve ser descarregada até à carga inicial P_a , utilizando os mesmos passos usados no carregamento (de 15% em 15%), durante um intervalo de tempo igual ou superior a 1

minuto. Realizada a descarga, caso necessário, procede-se ao tensionamento até a carga de bloqueio, P_o , e ancoragem deve ser bloqueada.

Assim como os ensaios apresentados anteriormente, envolve a medição do deslocamento da extremidade do cordão, ao longo da carga aplicada em cada ciclo. Essas medições possibilitam a criação de gráficos que relacionam o deslocamento do cordão com a carga e com o tempo e ainda permitem a determinação de valores como o comprimento livre aparente e o valor de k_s à carga de ensaio total, P_p .

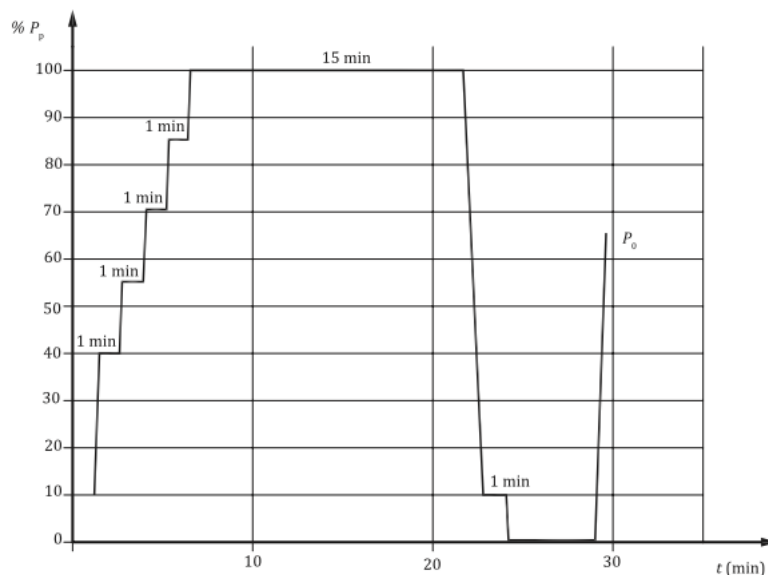


Fig. 18 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de Ensaio de Receção Detalhado de acordo com método 1 (ISO 22477-5).

Quadro 6 - Percentagem de carga a utilizar na realização do ensaio e respetivo tempo em cada patamar segundo o método 1, em Ensaio de Receção Detalhados (ISO 22477-5).

Patamar de carga	Carga máxima do patamar	Período mínimo de observação (min)	
		Solos com cascalho e rocha	Solos finos
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

3.3.3.1.2. Método 2

O método 2 do ensaio de receção detalhado, indica que o ensaio será carregado desde a carga inicial até à carga de ensaio cumprindo, na totalidade, dois ciclos de carga. Demonstrado na Figura 19, o carregamento do primeiro e do segundo ciclo é realizado de igual forma: iniciando em P_a , aumenta para $40\%P_p$, depois para $80\%P_p$ e é mantido constante durante 15 minutos, uma vez que atinge a carga total de ensaio, P_p . Entre o primeiro ciclo e o segundo, é procedida uma descarga realizando leituras no mesmo

patamares utilizados no carregamento, com intervalos mínimos de 1 minuto, como indica o Quadro 7. No final do segundo ciclo, ao realizar a descarga, descarrega-se até à carga de bloqueio P_0 e bloqueia-se a ancoragem. O momento após o bloqueio representa o tempo zero para monitorizar o comportamento perda de carga em relação ao tempo. Se a carga de ensaio for menor aos limites do anexo nacional da EN 1997-1:2004+A1:2013, procede-se a mais dois ciclos de carga, e caso exceda esses mesmos limites, a carga de ensaio deve ser reduzida, de modo a cumprir os limites estabelecidos.

Durante a realização do ensaio deve-se proceder à medição de valores da perda de carga no momento de bloqueio da ancoragem, após o segundo ciclo de carga, e considerar os valores do deslocamento do cordão em cada patamar. Essas medições possibilitarão relações entre o deslocamento e o tempo e permitem determinar o comprimento livre aparente.

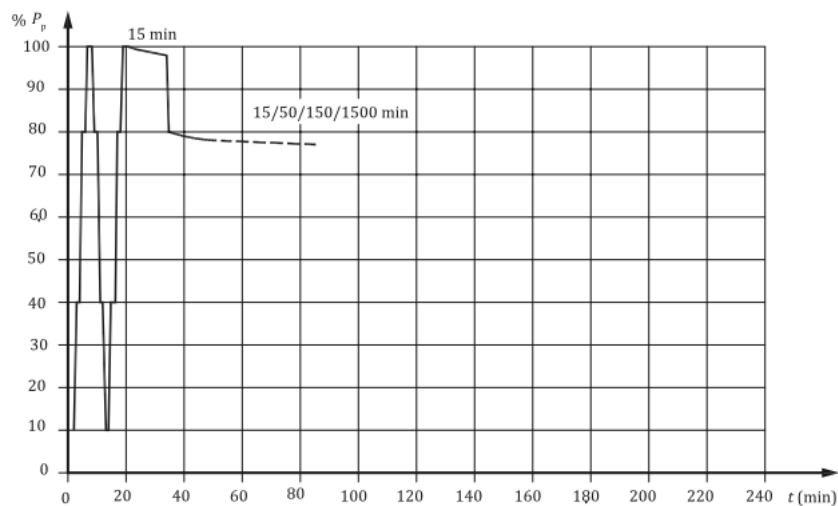


Fig. 19 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de Ensaio de Receção Detalhado de acordo com método 2 (ISO 22477-5).

Quadro 7 - Percentagem de carga a utilizar na realização do ensaio e respetivo tempo em cada patamar segundo o método 2, em Ensaio de Receção Detalhados (ISO 22477-5).

Níveis de carga (% P_p)		Período mínimo de observação (min)
Ciclo 1	Ciclo 2	
10	10	1
40	40	1
80	80	1
100	100	15
80	80	1
40	40	1
10	10	10

3.3.3.1.3. Método 3

O método 3 de realização de um ensaio de receção detalhado apresenta duas soluções, sendo a primeira realizar o ensaio sem ciclos de carga-descarga e a segunda realizando ciclos de carga-descarga. Em qualquer uma das soluções, na fase de carregamento, a carga é mantida constante em cada patamar durante o tempo necessário para realizar uma medição com rigor. Quando atinge a carga total de ensaio, P_p , a medição é realizada ao longo de um intervalo de tempo mínimo de 15 minutos e é neste momento que deve ser verificado o valor de k_s . Caso este coeficiente não cumpra os limites, deve-se manter a carga no ciclo final constante durante um intervalo de tempo de 60 minutos, com medições intermédias.

No final do carregamento, deve ser realizado o bloqueio, como ilustra a Figura 20. Para o ensaio de receção sem ciclo, o bloqueio é realizado a partir de P_p , descarregando ao fim de 5 patamares, de modo a construir corretamente a curva final do bloqueio. Para o ensaio de receção com ciclo, caso seja necessário proceder à descarga, para, por exemplo, instalar cunhas, a posterior recarga é realizada até à tensão de bloqueio com pelo menos 6 patamares. A partir desse momento procede-se ao bloqueio com 5 patamares.

Deve-se efetuar medições dos valores do deslocamento do cordão em cada patamar e deve-se verificar o valor de k_s . Essas medições permitiram obter gráficos de relação entre deslocamento e carga ou tempo. A análise das medições e dos gráficos determinará valores do comprimento livre aparente, coeficiente de fluência quando se atinge a carga de ensaio máxima, P_p e o deslocamento da extremidade do cordão à carga de ensaio.

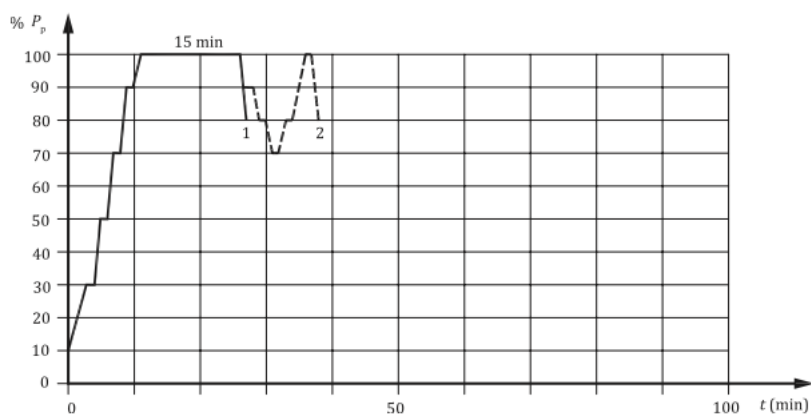


Fig. 20 - Gráfico de relação tempo vs percentagem de carga de Ensaio de Receção Detalhado de acordo com método 3 (ISO 22477-5).

3.3.3.2. Ensaio de receção simplificados

Como foi referido anteriormente, os ensaios de receção simplificados são ensaios utilizados para avaliações rápidas e menos detalhadas, sem nunca deixar de verificar os requisitos básicos de desempenho. Por estas razões, são, normalmente, associados a obras de menor escala ou onde o risco associado às ancoragens é menor. Proporcionam uma verificação rápida e económica da conformidade das ancoragens.

Estes ensaios descrevem-se como a realização de apenas um ciclo de carga, iniciando na carga inicial de ensaio, P_a , até à carga total de ensaio, P_p , com 2 patamares intermédios. Assim que se atinja a carga total de ensaio, esta é mantida constante por um intervalo de 15 minutos. A descarga é realizada de P_p para P_a e, uma vez que a ancoragem se encontre completamente descarregada, dá-se início ao bloqueio que é realizado até P_o com 2 patamares intermédios.

Estes ensaios são realizados com intuito de demonstrar que a carga de ensaio pode ser suportada pela ancoragem, determinar o comprimento livre aparente e avaliar as características de fluência ou de perdas de carga.

3.4. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARGA

Como foi referido anteriormente, a realização de ensaios de carga, sejam eles prévios, de adequabilidade ou de receção permitem a determinação de fatores que avaliam o comportamento da ancoragem e a sua adequabilidade.

O coeficiente de fluência, k_s , está relacionado com a deformação da ancoragem ao longo do tempo. É determinado a partir da divisão da variação do deslocamento da ancoragem por ciclo logarítmico do tempo, quando aplicada carga constante. É essencial para avaliar a estabilidade e o desempenho das ancoragens. Indicado na norma ISO22477-5, o valor de k_s pode ser calculado segundo a equação:

$$k_s = \frac{(s_b - s_a)}{\log(t_b / t_a)} \quad (3.4)$$

Considerando s_a o deslocamento do cordão associado ao intervalo de tempo inicial, t_a , e considerando s_b o deslocamento do cordão associado ao intervalo de tempo final, t_b , é possível calcular o coeficiente de fluência.

A norma EN1537:2016, estabelece valores máximos para o coeficiente de fluência distinto em cada ensaio e em cada método. Para o método 1, o ensaio prévio, k_s não deve exceder valores maiores que 2 mm. Já em ensaios de adequabilidade realizados com bases de ensaio prévio k_s será menor ou igual a 1 mm. Para ensaios de adequabilidade realizados sem bases de ensaio prévio, o valor de k_s será sempre menor ou igual a 0,8 mm.

Já no método 3, k_s no ensaio prévio não tem limite superior, uma vez que o ensaio é realizado até atingir a carga de ensaio, ou a rotura. Nos ensaios de adequabilidade, considera-se 1 mm e 0,8 mm como os limites superiores em ensaios de adequabilidade realizados com bases de ensaio prévio e sem estas bases, respetivamente. Para os ensaios de receção que sejam realizados posteriormente aos ensaios prévios o limite superior é estabelecido em 1,5 mm para ancoragens definitivas e 1,8 mm para ancoragens provisórias e os ensaios de receção realizados sem documentação de ensaios prévios k_s deve ser inferior ou igual a 1,2 mm.

Em adição, e como referido em 3.3.1.3, o método 3 do ensaio prévio tem a capacidade de determinar o valor da carga crítica de fluência P_c , isto é, é a carga correspondente ao final da primeira parte pseudo-linear da Figura 21 “ k_s versus carga da ancoragem”.

No entanto, calcular P_c com precisão pode não ser fácil. Surge então um método alternativo que determina a interseção do primeiro segmento pseudo-linear e uma segunda linha desenhada utilizando os últimos pontos da curva. Essa interseção resulta na determinação do valor da carga de ancoragem P'_c . Segundo esta alternativa, a carga crítica de fluência P_c pode ser calculada segundo a equação:

$$P_c = 0,9 P'_c \quad (3.5)$$

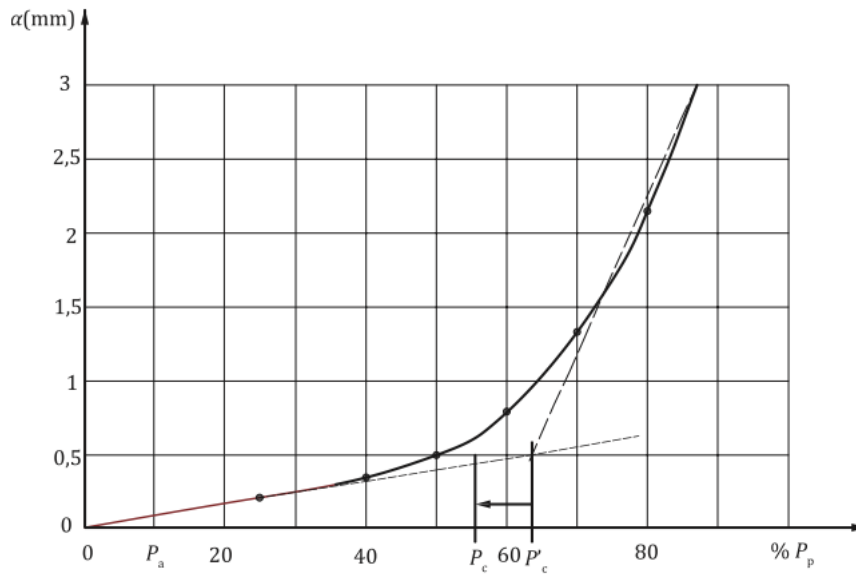


Fig. 21 - Determinação da carga crítica de fluência, P_c (ISO 22477-5).

Um outro parâmetro de controle a retirar dos ensaios de carga diz respeito ao comprimento livre aparente.

A EN1537:2016, define comprimento livre aparente da armadura como o comprimento da armadura que é previsto estar totalmente desligado da calda de selagem envolvente e que é calculado a partir dos dados de carga-deslocamento elástico obtidos no ensaio. Este fator é calculado a partir da área da secção do aço, A_t , do módulo de elasticidade, E_t , do deslocamento elástico da armadura, $\Delta\delta_{el}$, (a partir do ponto de fixação do macaco na armadura até o ponto que define o fim do comprimento livre e o início do comprimento selado) e, ainda, da variação de pressão ao longo da realização do ensaio, calculada nos mesmos momentos que a deformação elástica. Assim, o cálculo do comprimento livre aparente é traduzido pela seguinte expressão:

$$L_{app} = \frac{A_s \times E \times \Delta\delta_{el}}{P_p - P_a} \quad (3.6)$$

Considerando L_{lf} como comprimento livre da armadura de uma ancoragem, L_{tb} como o comprimento de selagem da armadura de uma ancoragem e L_e como o comprimento exterior da armadura medido entre o ponto de fixação na armadura na cabeça da

ancoragem e o ponto de fixação do macaco de tensionamento, as normas EN1537 e a ISO22477-5 definem os valores limites mínimos e máximos a ter em consideração no cálculo do comprimento livre aparente. São estes:

- Limite superior para ancoragens de ligação:

$$L_{app} \leq L_{tf} + L_e + 0,5 \times L_{tb} \quad (3.7)$$

- Limite superior para ancoragens de compressão:

$$L_{app} \leq 1,1 L_{tf} + L_e \quad (3.8)$$

- Limite inferior para ambos tipos de ancoragens:

$$L_{app} \geq 0,8 L_{tf} + L_e \quad (3.9)$$

ou

$$L_{app} \geq 0,9 L_{tf} \quad (3.10)$$

Caso a ancoragem apresente uma relação carga/deslocamento repetitiva e caso cumpra os critérios de projeto, a ancoragem pode ser aceite. Caso apresente uma relação carga/deslocamento não repetitiva deve ser avaliado o seu efeito no dimensionamento da estrutura.

Principalmente associado ao método 2, existe, ainda, o objetivo de determinar o cálculo da perda de carga KI. Nos ensaios prévios, caso a perda de carga após 7 intervalos de tempo, ou 3 dias, não exceda o permitido, o ensaio pode dar-se como terminado. Caso a perda de carga permitida seja excedida, o período de observação deve ser prolongado para mais períodos, até atingir a estabilidade. Nos ensaios de adequabilidade e nos ensaios de receção, a perda de carga após 6 intervalos de tempo, ou 1 dia, não deve exceder os limites indicados na EN1997:2016: 2% por ciclo logarítmico de tempo.

3.5. INTRODUÇÃO À FERRAMENTA DE TRATAMENTO DE DADOS

Como apresentado ao longo do capítulo 3, existem diversos métodos para realizar um ensaio de carga de ancoragens, cada um com funções específicas, mas com objetivos semelhantes. Esses ensaios são essenciais para uma finalidade principal: a validação da ancoragem.

Como tal, e de acordo com o desafio lançado pela empresa ACA-GEO, o desenvolvimento de uma ferramenta de tratamento de dados que permitisse um tratamento automático dos dados de ensaios de carga. Assim, foi criada uma ferramenta no software comercial Microsoft Excel, a qual contempla as especificidades de cada uma das tipologias de ensaio apresentados e os métodos de análise disponíveis.

O processo de desenvolvimento partiu de um modelo antigo existente na referida empresa, a qual apresentava limitações ao nível da automatização dos processos de tratamento de resultados e não abrangendo a totalidade dos tipos e métodos de ensaios existentes. Deste modo, a ferramenta desenvolvida apresenta-se como uma ferramenta de aplicação geral, otimizada para reduzir o tempo de tratamento de resultados e limita a ocorrência de erros comuns associados ao tratamento de um grande volume de informação.

Para cada tipologia de ensaio e método de análise, a ferramenta numérica é composta por três módulos distintos: i) introdução de dados; ii) tratamento; iii) sistematização dos resultados. A ferramenta conta igualmente com um menu inicial de seleção do tipo e método de análise, assim como uma lista de instruções genéricas de utilização e ainda um módulo específico das características do macaco hidráulico adotado. As especificidades associadas a cada um dos módulos serão apresentadas de seguida.

3.5.1. MENU INICIAL

Como podemos exposto na Figura 22, a página inicial do documento permite a seleção do tipo de ensaio a utilizar. Para além de uma lista instrutiva, existem 5 botões:

- O primeiro “Limpar” deve ser o primeiro a ser utilizado, de modo a limpar tudo que no documento possa estar escrito de outros ensaios e que pode induzir em erro na introdução de dados.
- O segundo “Calibração do macaco” leva automaticamente para a página “Macaco”, onde deve ser escolhido o macaco hidráulico utilizado durante a realização do ensaio. Esta página contempla uma lista de macacos comumente utilizados, com as propriedades necessárias associadas.
- O terceiro, quarto e quinto, são opções de escolha que, consoante o método utilizado no ensaio, levarão para o correspondente módulo de introdução de dados.

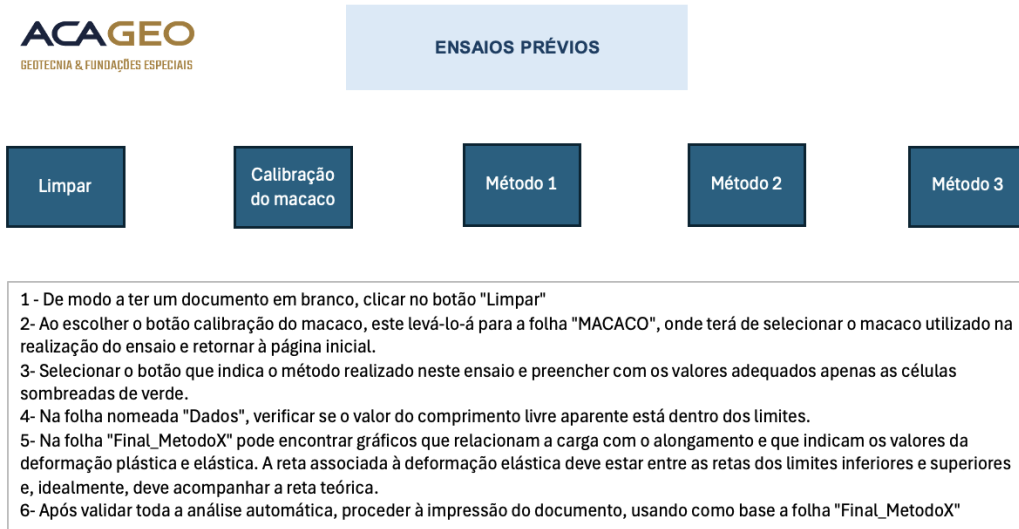


Fig. 22 - Menu inicial da ferramenta

3.5.2. MÓDULO MACACO HIDRÁULICO

No módulo apresentado na Figura 23, são apresentadas as características de 5 macacos hidráulicos, normalmente utilizados pela empresa e os respectivos valores dos coeficientes a_0 , a_1 , a_2 e a_3 . Para além disso, através de uma seleção automática do nome do macaco usado, irá guardar o valor dos coeficientes (TAP, 2024) na coluna de seleção atual, que será usada para o cálculo da variável F (Eq. 3.11).

A tabela inferior da Figura 23 fornece o valor da pressão no macaco, consoante a carga utilizada. A primeira coluna procura os valores de carga do ensaio e a segunda coluna, utilizando a equação 3.11., devolve o valor da pressão associada a essa carga. Como podemos observar, por exemplo, num ensaio onde se utiliza o macaco hidráulico MT2500 (macaco selecionado neste exemplo, como podemos ver na coluna da primeira tabela que indica a seleção atual), o valor de 60kN no macaco está associado a 22 bar.

$$F = a_0 + a_1 \times F + a_2 \times F^2 + a_3 \times F^3 \quad (3.11)$$

MACACO	1	2	3	4	5	6
	Seleção atual	MT 2500 T9/17 C187	MT 1600	MT 1800	TENSA M 1700	HOZ 1700
a0	2,65420E+00	2,65420E+00	2,84206E+00	5,68318E+00	-3,40370E-01	-4,38349E+00
a1	3,23148E-01	3,23148E-01	7,82750E-01	3,21850E-01	2,81270E+00	3,15841E-01
a2	5,04900E-06	5,04944E-06	-4,66467E-05	9,59349E-06	1,35040E-03	4,29140E-05
a3	-2,25500E-08	-2,25519E-09	2,42369E-08	-4,99534E-09	-1,99680E-06	-3,85800E-08

Voltar ao
início

$$Xi=a0+a1*F+a2*F^2+a3*F^3$$

kN	BAR
60	22
180	61
225	75
270	90
360	119
450	147
495	161
540	175
630	203
720	230
810	256
900	281

Fig. 23 - Página da ferramenta relacionada com informações de macaco hidráulico

3.5.3. MÓDULO DE INTRODUÇÃO DE DADOS

Para efeitos de exposição deste módulo, e evitando uma repetição de conceitos, utilizar-se-á o método 1 dos ensaios prévios como exemplo. Este módulo é constituído por um cabeçalho com as indicações genéricas do ensaio, desde o nome da empresa, ensaio realizado e data de edição do documento

Na Figura 24 está representado sob a forma de tabela, a realização do ensaio prévio segundo o método da norma ISO22477-5. Todas as células com sombreado verde são células de introdução de dados manual, sendo as restantes preenchidas de forma automática aquando da finalização da introdução de dados. Foi arbitrado um valor para a tensão útil de 600kN.

De uma forma mais detalhada, as diferentes células sombreadas a verde apresentam o seguinte significado:

- Nome da ancoragem e data da realização desta;
- o comprimento livre e o comprimento de selagem da ancoragem, em metros;
- as características da armadura, sendo a primeira célula destinada ao número de cabos e a segunda ao diâmetro de cada um destes;
- a tensão útil (P) e a tensão de blocagem (Po) dimensionada na fase de projeto;
- o módulo de elasticidade da armadura;
- os valores exatos de carga lidos no macaco;
- os valores do deslocamento da ancoragem, em milímetros;

- os valores do deslocamento do muro, em milímetros.

ACAGEO		BOLETIM DE REGISTO DE ENSAIO PRÉVIO				EP	
GEOTECNIA & FUNDAÇÕES ESPECIAIS						DATA EDIÇÃO	
						31/07/24	
ANCORAGEM Nº: _____		DATA: _____					
COMPRIMENTO TOTAL (lt): _____		0 m		TENSÃO 0 DE ENSAIO (Pa): _____		60 kN	
COMPRIMENTO LIVRE (ll): _____		m		TENSÃO ÚTIL (P): _____		600 kN	
COMPRIMENTO SELAGEM (ls): _____		m		TENSÃO DE ENSAIO (Pp): _____		800 kN	
ARMADURA _____ Ø _____		"		TENSÃO DE BLOCAGEM (Po): _____		kN	
SECÇÃO DE AÇO (AS) _____		0		MÓDULO ELASTICIDADE (E): _____		kN/mm ²	

Pátio	CARGA			TEMPO min	LEITURAS / VARIAÇÕES		DESLOCAMENTOS (mm)		
	Pp	KN	BAR		KN	BAR	Ancoragem	Muro	Total
0	Pa	60,0	22	0					0,00
1	0,25 x Pp	225,0	75	0					0,00
2	0,40 x Pp	360,0	119	1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				5					0,00
				10					0,00
				15					0,00
3	0,25 x Pp	225,0	75	0					0,00
4	Pa	60,0	22	0					0,00
5	0,40 x Pp	360,0	119	0					0,00
6	0,55 x Pp	495,0	161	1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				5					0,00
				10					0,00
				15					0,00
7	0,40 x Pp	360,0	119	0					0,00
8	Pa	60,0	22	0					0,00
9	0,55 x Pp	495,0	161	0					0,00
10	0,70 x Pp	630,0	203	1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				5					0,00
				10					0,00
				15					0,00
				20					0,00
				30					0,00

Fig. 24 - Módulo de introdução de dados, assumindo tensão útil = 600 kN

Em relação às diferentes colunas que constituem este módulo, é conveniente indicar que a primeira coluna indica o número do patamar onde começa o carregamento. A segunda, terceira e quarta coluna estão associadas à carga: a segunda coluna indica a percentagem de carga a utilizar naquele patamar; a terceira, como se pode reparar na Figura 24, com uma simples introdução de valor de tensão útil, respeita o indicado na coluna 2 e devolverá o valor da carga em kN; a quarta coluna assume o valor de F como o indicado na terceira coluna e, baseado na equação 3.11, devolve o valor da carga em bar. A quinta coluna é apenas informativa relativamente ao intervalo de tempo que cada patamar requer e é por esta que a se deve apoiar aquando da medição de valores do alongamento.

Os valores associados ao deslocamento do muro são, normalmente, influenciados pela envolvimento da ancoragem. Em casos correntes, não têm impacto, como em paredes moldadas por exemplo, e podem ser desprezados. Mas em casos onde, de facto, acontecem como, por exemplo, num ensaio prévio com maciço betonado, é possível que afete o valor do alongamento total. Nesses casos, apoia-se o defletómetro na zona exterior e de modo que meça apenas no maciço. Realça-se que o valor do deslocamento no muro é medido no sentido contrário aos valores de deslocamento normalmente lidos na ancoragem, logo assume-se que os valores lidos no muro são

negativos. O valor final do deslocamento é calculado automaticamente pela soma do valor do deslocamento da ancoragem com o valor do deslocamento do muro.

3.5.4. MÓDULO TRATAMENTO DE DADOS

O módulo relativo ao tratamento de dados não requer intervenção do utilizador, sendo todos os cálculos requeridos processados de forma automática. A Figura 25 apresenta o aspeto geral do módulo em análise.

Como exemplo, foram utilizados valores para o comprimento livre de 12 m, 6 m para o comprimento de selagem, e foi considerada uma armadura com 4 cabos de aço com diâmetro de 0,6" e o módulo de elasticidade como 200 kN/mm².

A Figura 25 demonstra a primeira análise a realizar consoante os dados introduzidos. Observam-se os mesmos patamares e os mesmo intervalos de tempo para cada um destes, consoante apresentado na norma ISO22477-5. Os valores, como já foi referido, serão todos de introdução automática. As primeiras 5 colunas, desde a coluna que indica o patamar até à coluna que indica o alongamento total são colunas que apresentam valores introduzidos no módulo de introdução de dados. Para apoiar o cálculo da deformação elástica, são utilizadas três colunas onde estará indicado o valor do limite inferior, teórico e superior, obtidos através da dedução da equação do comprimento livre aparente, e consequentes limites.

PATAMAR	MIN	CARGA	*CARGA CORRIGIDA	ALONGAMENTO	LIM INF	TEORICO	LIM SUP	DEF. PLÁSTICA	DEF. ELÁSTICA	FLUÊNCIA
0	0	60	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0	225	0	0,00	15,91	17,68	22,10			
	1	225	0	0,00	15,91	17,68	22,10			
2	0	360	0	0,00	28,93	32,14	40,18	0,00	0,00	0,00
	1	360	0	0,00	28,93	32,14	40,18			
	2	360	0	0,00	28,93	32,14	40,18			
	3	360	0	0,00	28,93	32,14	40,18			
	5	360	0	0,00	28,93	32,14	40,18			
	10	360	0	0,00	28,93	32,14	40,18			
3	0	225	0	0,00	15,91	17,68	22,10			
	1	225	0	0,00	15,91	17,68	22,10			
4	0	60	0	0,00	0,00	0,00	0,00			
	1	60	0	0,00	0,00	0,00	0,00			
5	0	360	0	0,00	28,93	32,14	40,18			
	1	360	0	0,00	28,93	32,14	40,18			
6	0	495	0	0,00	41,95	46,61	58,26	0,00	0,00	0,00
	1	495	0	0,00	41,95	46,61	58,26			
	2	495	0	0,00	41,95	46,61	58,26			
	3	495	0	0,00	41,95	46,61	58,26			
	5	495	0	0,00	41,95	46,61	58,26			
	10	495	0	0,00	41,95	46,61	58,26			
7	0	360	0	0,00	28,93	32,14	40,18			
	1	360	0	0,00	28,93	32,14	40,18			
8	0	60	0	0,00	0,00	0,00	0,00			
	1	60	0	0,00	0,00	0,00	0,00			
9	0	495	0	0,00	41,95	46,61	58,26			
	1	495	0	0,00	41,95	46,61	58,26			
10	0	630	0	0,00	54,96	61,07	76,34	0,00	0,00	0,00
	1	630	0	0,00	54,96	61,07	76,34			
	2	630	0	0,00	54,96	61,07	76,34			
	3	630	0	0,00	54,96	61,07	76,34			
	5	630	0	0,00	54,96	61,07	76,34			
	10	630	0	0,00	54,96	61,07	76,34			
	15	630	0	0,00	54,96	61,07	76,34			
	20	630	0	0,00	54,96	61,07	76,34			
	30	630	0	0,00	54,96	61,07	76,34			

Fig. 25 - Dados relativos ao módulo da primeira análise de dados.

O limite inferior é calculado através de:

$$\text{Lim}_{\text{inf}} = \frac{0,9 \times F \times 1000 \times L_{\text{tf}}}{A_s \times E} - \frac{0,9 \times F_i \times 1000 \times L_{\text{tf}}}{A_s \times E} \quad (3.12)$$

O diagrama teórico através de:

$$\text{Lim}_{\text{teórico}} = \frac{F \times 1000 \times L_{\text{tf}}}{A_s \times E} - \frac{F_i \times 1000 \times L_{\text{tf}}}{A_s \times E} \quad (3.13)$$

E o limite superior por meio de:

$$\text{Lim}_{\text{sup}} = \frac{F \times 1000 \times (L_{\text{tf}} + 0,5 \times L_{\text{tb}})}{A_s \times E} - \frac{F_i \times 1000 \times (L_{\text{tf}} + 0,5 \times L_{\text{tb}})}{A_s \times E} \quad (3.14)$$

considerando F a carga aplicada no patamar, F_i como a carga de inicial (equivalente a P_a), L_{tf} como o valor do comprimento livre e L_{tb} como o valor do comprimento de selagem; A_s é a área da secção da armadura e E o módulo de elasticidade da armadura.

Estes três limites servem para acompanhar a deformação elástica. Com a introdução de dados relativos ao alongamento, surgirão valores que criarão deformação elástica. Esta deve estar entre os limites inferiores e superiores e, idealmente, muito próxima da linha de diagrama teórico. Caso isto não se verifique, a ancoragem deve ser submetida a mais dois ciclos de carga-descarga e novamente comparada. Uma segunda não verificação deve levar à rejeição da ancoragem.

Para finalizar a análise da primeira tabela, é possível observar 3 colunas, associadas às deformações elástica, plástica e de fluência. A deformação elástica pode ser calculada através da diferença entre o último valor do alongamento do patamar com o valor do alongamento a verificar na descarga deste ciclo. A deformação plástica verifica a diferença entre o valor do alongamento na descarga após um ciclo com o valor do alongamento inicial. A fluência pode ser calculada pela equação (3.4), que relaciona a diferença do alongamento final no ciclo com o alongamento inicial neste mesmo ciclo e com o logaritmo do tempo entre cada intervalo.

Este módulo conta ainda com uma segunda tabela de tratamento de dados. Por observação da Figura 26, verificamos 6 colunas. Esta tabela tem em vista o cálculo do valor do coeficiente de fluência, consoante a correção de tensões. Esta correção nem sempre é realizada, uma vez que nem sempre se obtém o valor da carga corrigida, por ausência de medição de valores.

CORREÇÃO DE TENSÕES	ALONGAMENTO CORRIGIDO	TEMPO	LOGARITMO		DECLIVE
---------------------	-----------------------	-------	-----------	--	---------

25,71	25,71	0		0,00	0,00
25,71	25,71	1	0,000	0,00	
25,71	25,71	2	0,301	0,00	
25,71	25,71	3	0,477	0,00	
25,71	25,71	5	0,699	0,00	
25,71	25,71	10	1,000	0,00	
25,71	25,71	15	1,176	0,00	

Fig. 26 - Dados relativo ao módulo da segunda análise de dados.

A coluna de correção de tensões baseia-se na seguinte fórmula e oferece um valor a corrigir nos alongamentos:

$$\frac{(F - F_{\text{corrigido}}) \times L_{tf}}{0,00084 \times E \times 10^3} \quad (3.15)$$

sendo $F_{\text{corrigido}}$ a carga corrigida.

A coluna alongamento corrigido, assume a soma da coluna anterior com os valores de alongamento ao longo do ciclo. A quarta coluna resulta dos valores logarítmicos, associados ao tempo indicado. A quinta coluna calcula a diferença entre os alongamentos corrigidos em cada intervalo de tempo e o alongamento corrigido inicial.

Da quarta e quinta colunas resulta o cálculo do coeficiente de fluência.

Este é realizado através da criação de uma regressão linear com os valores da diferença de alongamento corrigido assumindo os valores de x e com os valores do cálculo logarítmico assumindo os valores de y. Realizando o declive da reta de regressão linear, podemos calcular o coeficiente de fluência.

No seguimento do processo de tratamento anterior, o presente módulo é finalizado com a avaliação dos parâmetros de controlo anteriormente expostos. O primeiro apresentado na Figura 27, o comprimento livre aparente, é calculado segundo a equação 3.6. O segundo diz respeito ao cálculo do coeficiente de fluência obtido a partir dos dados apresentados na Figura 26. De acordo com a carga aplicada no respetivo ciclo, é devolvido o valor do coeficiente para esse mesmo ciclo e compará-lo-á ao valor limite estabelecido.

COMPRIMENTO LIVRE MÍNIMO	COMPRIMENTO LIVRE APARENTE	COMPRIMENTO LIVRE MÁXIMO
10,8	0	15

CARGA	KSPp	LIMITE (mm)
360	0,00	2
495	0,00	2
630	0,00	2
720	0,00	2
810	0,00	2
900	0,00	2

Fig. 27 - Análise de fatores fundamentais.

Reforça-se que este módulo não requer qualquer intervenção manual. Todos os valores e fatores apresentados são avaliados de forma automática e de acordo com a introdução de dados realizada no módulo anterior.

3.5.5. MÓDULO SISTEMATIZAÇÃO DE RESULTADOS

Finalmente, este último módulo está associado à apresentação de resultados, onde se pode avaliar de uma forma gráfica os critérios de desempenho da ancoragem, levando a uma tomada de decisão imediata sobre se a mesma é válida ou se deve ser rejeitada. É um módulo desenvolvido em formato de impressão, permitindo uma sistematização da informação eficiente e pronta a entregar ao cliente. Tal como o módulo de tratamento de dados, não requer qualquer tipo de intervenção manual, uma vez que os valores utilizados já foram calculados previamente. Indicado no Anexo A, a impressão é apresentada em duas folhas distintas. A primeira, é uma cópia da folha de introdução de dados, que permite a análise do método utilizado segundo a norma ISO22477-5, e dos valores de alongamentos da ancoragem medidos em cada intervalo de tempo. A segunda folha permite a análise de 3 gráficos, apresentados nas Figuras 28, 29 e 30.

A Figura 28 apresenta a relação entre o alongamento medido, em milímetros, e a carga aplicada, em kN. Após a introdução de valores de alongamento, será possível compreender graficamente se o ciclo de carga-descarga foi executado corretamente, como será abordado posteriormente no Capítulo 4.

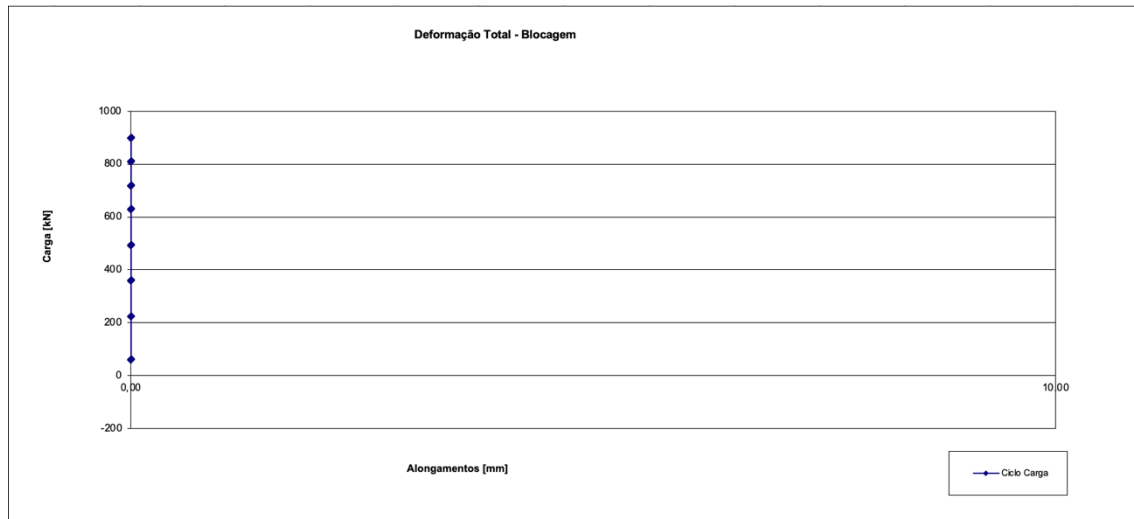


Fig. 28 - Relação gráfica entre alongamento e carga.

A Figura 29 apresenta, também, uma relação entre alongamento e carga, no entanto ao invés de assumir valores de alongamento associados à ancoragem, assume os valores do alongamento na deformação plástica, elástica e os respectivos valores limites. Como é possível observar na legenda e, com valores exemplares indicados previamente, é possível traçar os limites inferior e superior e o diagrama teórico. Assim, uma vez introduzidos os dados relativos ao alongamento da ancoragem, será possível avaliar graficamente se a deformação elástica cumpre os limites.

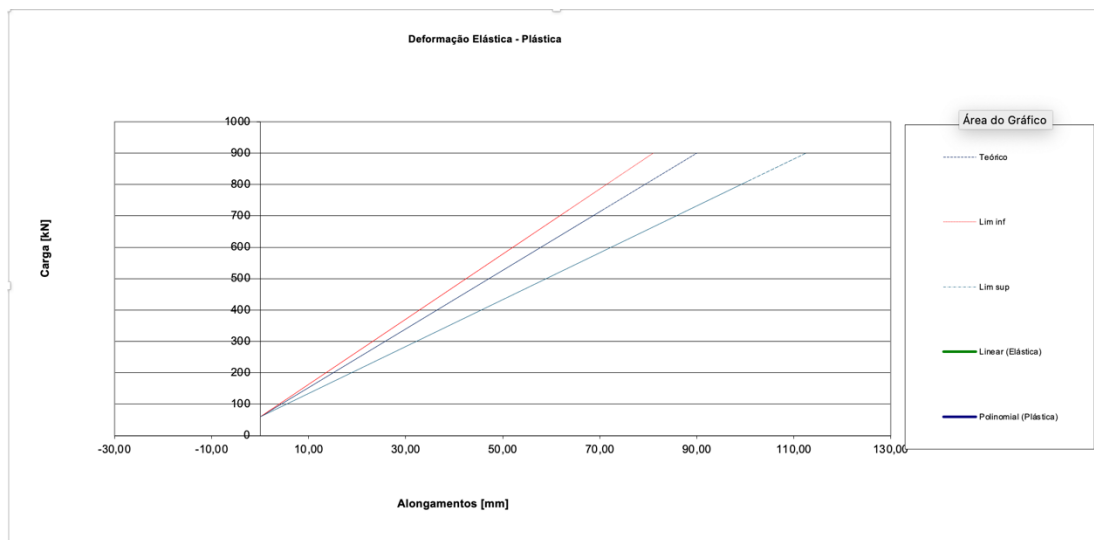


Fig. 29 - Relação gráfica entre alongamento e carga, com valores de deformação elástica e plástica.

A Figura 30 indica a relação gráfica consoante a carga, em kN, e o coeficiente de fluência, em milímetros. Por observação gráfica percebe-se que, após a introdução de dados, o ensaio apresentará valores de coeficiente de fluência superiores ao limite recomendado e, caso isso aconteça, classificar como não adequada a ancoragem.

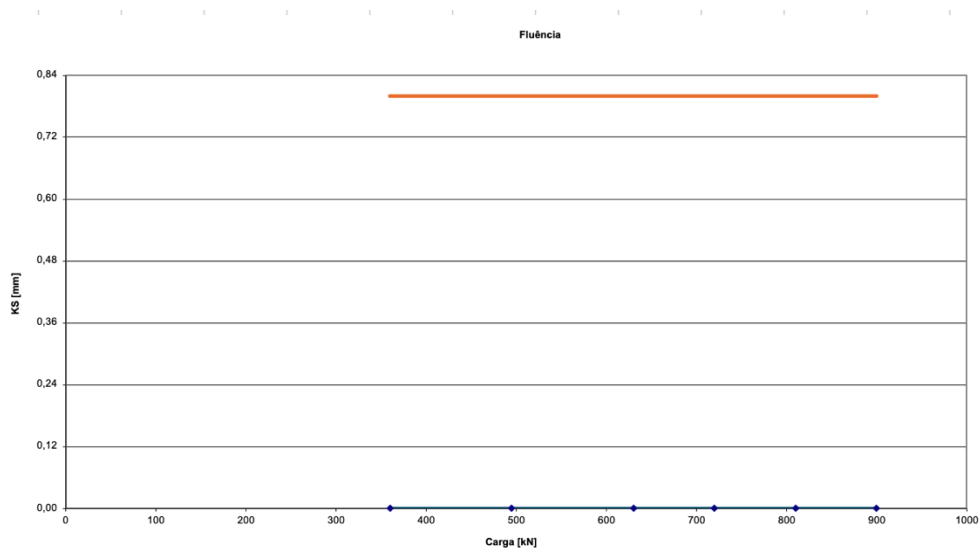


Fig. 30 - Relação gráfica entre carga e coeficiente de fluência.

3.6. CONCLUSÕES

Após a análise detalhada de ensaios de carga de ancoragens, percebe-se que estes desempenham um papel crucial na validação do dimensionamento e na verificação de segurança e desempenho das ancoragens, proporcionando uma visão detalhada sobre o seu comportamento quando sujeito a diferentes condições de carga.

Neste capítulo, foi realizada uma análise dos quatro tipos de ensaio de carga e de cada método utilizado em cada um deles. Compreende-se que os ensaios de carga permitem avaliar de forma precisa o desempenho das ancoragens ao longo da sua vida útil, identificando possíveis melhorias construtivas. A aplicação rigorosa de cada método normativo assegura que as ancoragens possam suportar as cargas projetadas, minimizando riscos e garantindo a segurança estrutural.

Para complementar a informação apresentada relativamente a ensaios de carga, é apresentada uma ferramenta de dados que é utilizada para a análise e a monitorização dos ensaios de carga. Esta desempenha um papel fundamental na precisão e confiabilidade dos resultados, considerando que envolve pouca introdução manual. É criada com o intuito de facilitar a identificação de padrões e irregularidades que possam surgir na ancoragem, melhorando significativamente a eficiência e qualidade na análise de resultados dos ensaios de carga.

A realização de ensaios de carga conforme especificado pelas normas europeias é indispensável para garantir que as ancoragens desempenhem adequadamente as suas funções estruturais. Estas conclusões reafirmam a importância dos ensaios de carga, destacando a necessidade de apoio normativo para assegurar a integridade e eficiência das ancoragens. A ferramenta apresentada complementa o processo de análise de dados, garantindo a precisão e eficácia das avaliações realizadas.

4

Caso de Estudo

4.1. GENERALIDADES

O presente capítulo é dedicado à aplicação da metodologia desenvolvida no Capítulo 3 a um caso de estudo. O objetivo é demonstrar a aplicabilidade e a viabilidade da ferramenta desenvolvida quando aplicada a um contexto prático e analisar os resultados obtidos.

O caso de estudo em questão diz respeito a uma estrutura de contenção de grande dimensão realizada no âmbito das operações de reabilitação do antigo Quartel de S. Brás, localizado na zona do Marquês, no Porto (Porto Canal, 2023). A reabilitação deste quartel tem o intuito de, mantendo a fachada, substituir uma zona abandonada e em decadência por um hotel de quatro estrelas e habitações com comércio. O Grupo ACA foi a empresa encarregue da realização desta obra ficando os trabalhos geotécnicos a cargo do departamento especializado, ACAGEO, departamento no qual o autor da presente dissertação realizou um estágio ao longo do seu desenvolvimento.

Na Figura 31 percebe-se a localização do terreno onde será realizado o caso de estudo. Os edifícios que confrontam com o lote a intervir encontram-se a uma distância tal da estrutura de contenção, que não será expectável que induzam algum tipo de sobrecarga relevante nos impulsos de terras a equilibrar (tanto em fase provisória como em fase definitiva da obra).



Fig. 31 - Vista satélite do antigo Quartel S. Brás.

4.2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

A caracterização do enquadramento geológico-geotécnico (ENGGE, 2020 e ENGGE, 2019) consistiu na execução de ensaios laboratoriais, ensaios de identificação de duas amostras do solo, ensaios SPT e na instalação de seis piezómetros. Esses permitiram compreender que o terreno em estudo se enquadra geologicamente numa zona caracterizada pela ocorrência de materiais graníticos, comumente designados como Granito do Porto, granito alcalino, de grão médio a grosseiro, leucocrata, de duas micas.

A análise dos resultados permitiu identificar cinco zonas geotécnicas distintas com base nos valores de NSPT, variando de aterros a granitos medianamente alterados.

Assim sendo, foi possível planificar a conceção da contenção periférica. A contenção será feita por um muro de Berlim em betão armado com uma espessura de 0,40 m, construído de modo descendente e apoiado provisoriamente em micro estacas e ancoragens. Em fase definitiva, a estabilidade será garantida por lajes, escoras, paredes e fundações. Em fase provisória a estrutura de contenção foi dimensionada para ser suportada por vários níveis de ancoragens, tendo sido adotado um afastamento em planta entre ancoragens igual a 2,70m, 3 m e 3,10 m para profundidades de escavação iguais a 20,4 m, 16 m e 5 m, respetivamente. Esta diferença justifica-se pelo

facto da profundidade de escavação alterar diretamente a magnitude dos impulsos de terras a equilibrar em fase provisória.

A caracterização geológica-geotécnica do local de estudo é um fator crucial que influencia diretamente o desempenho das ancoragens. No caso do Quartel de S. Brás, a caracterização detalhada do solo revelou a presença de camadas com diferentes propriedades mecânicas, exigindo uma abordagem cuidadosa para o dimensionamento das ancoragens. Foram realizados ensaios de sondagem e penetração para determinar a resistência e a deformabilidade do solo, informações essenciais para a definição dos parâmetros de projeto. Com base nesses dados, foi possível dimensionar as ancoragens de forma a garantir a estabilidade e a segurança da estrutura de contenção.

4.3. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DAS ANCORAGENS ENSAIADAS

Nas Figuras 32, 33 e 34 percebe-se a planta do projeto e as ancoragens a realizar em cada local (AdFGGeo, 2023). Graças à ACAGeo, foi possível a deslocação à obra na realização de ensaios de carga das ancoragens provisórias A5.4, realizado com ensaio prévio, A4.12, realizado com ensaio de receção simplificado e A4.14, realizado com ensaio de receção detalhado. A obra distingue-se na sua dimensão, uma vez que, envolve 6 níveis de ancoragens. Esses níveis são indicados no nome de cada uma, por exemplo, A4.12 é uma ancoragem no quarto nível de ancoragens, sendo que as ancoragens são realizadas de cima para baixo.

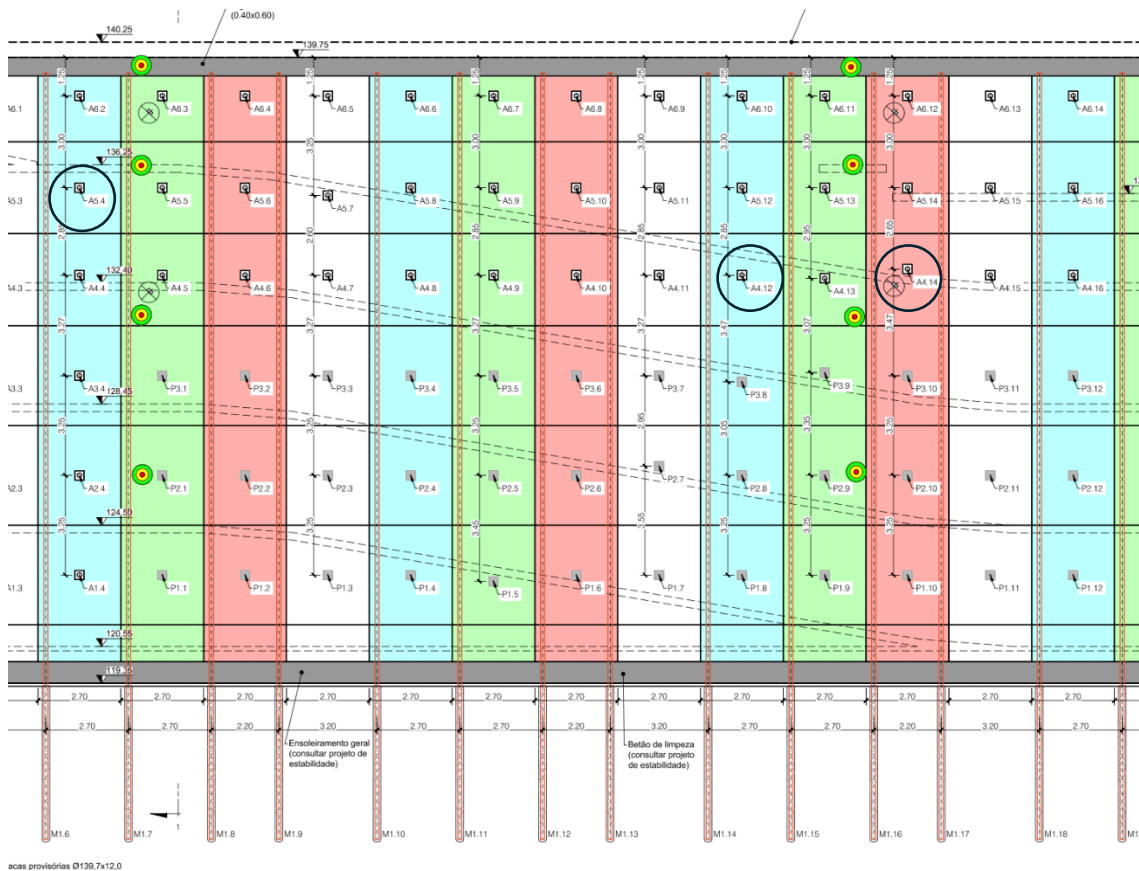


Fig. 32 - Localização em alçado das ancoragens A5.4, A4.12 e A4.14 (ENGCEO, Relatório Geológico-Geotécnico 2020)

A Figura 33 serve de legenda da simbologia utilizada na Figura 32. Compreende-se pela legenda, que ao longo da obra serão introduzidas 16 células de carga e que existem 51 alvos topográficos, 4 na fachada a manter e 47 na viga de coroamento e na contenção.

LEGENDA (INSTRUMENTAÇÃO):

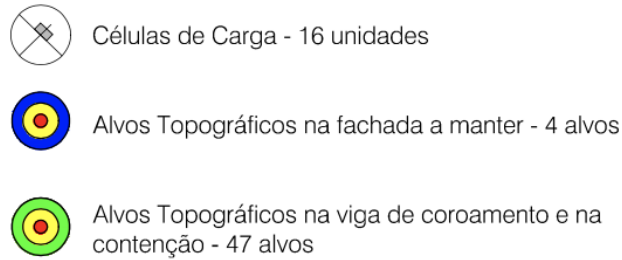


Fig. 33 - Legenda da simbologia nas figuras 32 e 34. (ENGCEO, Relatório Geológico-Geotécnico 2020)

A figura 34 demonstra a localização das ancoragens em planta, onde, comparando com a figura 32, não existe compreensão da localização exata.

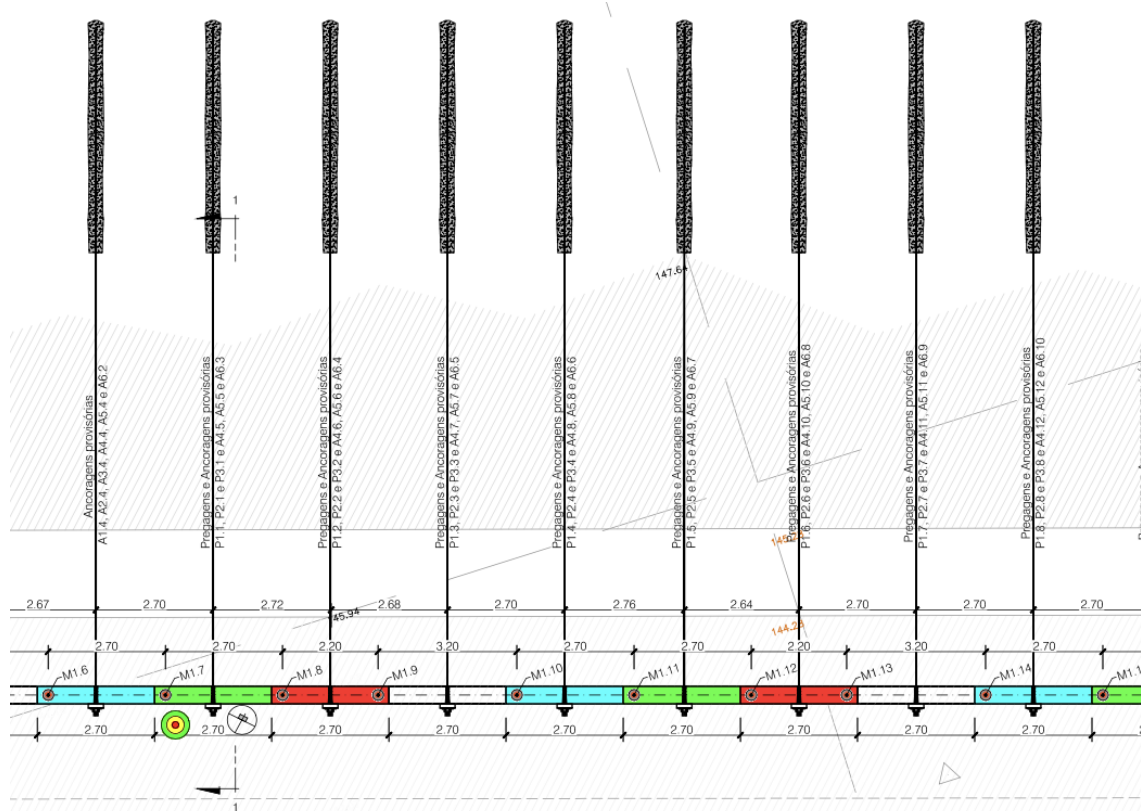


Fig. 34 – Planta parcial de ancoragens. (ENGCEO, Relatório Geológico-Geotécnico 2020)

4.4. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE TRATAMENTO DE DADOS

4.4.1. ENSAIO DE RECEÇÃO SIMPLIFICADO: ANCORAGEM A4.12

O primeiro caso de estudo consiste num ensaio de carga de receção simplificado, realizado na ancoragem A4.12. Como já foi referido anteriormente, é uma ancoragem localizada no quarto nível de ancoragens e o facto de se tratar de um ensaio de receção simplificado se deve à realização prévia de ensaios detalhados em condições de solo similares.

A tensão útil dimensionada apresenta um valor de 600 kN, logo a tensão inicial corresponderá a 10% desta (60 kN), a tensão de ensaio corresponderá a 750 kN (1,25 vezes a tensão útil) e a tensão de blocagem será 660 kN (1,1 vezes a tensão útil).

Como se pode observar na Figura 35, o ensaio contém onze patamares, sendo dez patamares de carga-descarga e patamar de blocagem. As colunas relativas a carga em kN e Bar, são preenchidas como referido em 3.5.2. Procede-se à introdução de dados, consoante o medido na obra e os dados reais estão, também, apresentados na figura 35.

ACAGEO GEOTECNIA & FUNDAÇÕES ESPECIAIS		BOLETIM DE REGISTO DE ENSAIO RECEÇÃO SIMPLIFICADO				ERS	
		Quartel de S. Brás				DATA EDIÇÃO 31/07/24	
ANCORAGEM N°: A4.12		DATA: 14/05/24					
COMPRIMENTO TOTAL (It):		18 m		TENSÃO 0 DE ENSAIO (Pa):		60 kN	
COMPRIMENTO LIVRE (II):		12 m		TENSÃO ÚTIL (P):		600 kN	
COMPRIMENTO SELAGEM (Is):		6 m		TENSÃO DE ENSAIO (Pp):		750 kN	
ARMADURA 4 Ø		0,6 "		TENSÃO DE BLOCAGEM (Po):		660 kN	
SECÇÃO DE AÇO (AS)		560 mm ²		MÓDULO ELASTICIDADE (E):		200 kN/mm	
PATAMARES	CARGA			TEMPO	DESLOCAMENTOS (mm)		
	Pp	KN	BAR	min	Ancoragem	Muro	Total
0	Pa	60	22	0	48,28		48,28
1	0,40 x Pp	300	100	0	68,00		68,00
				1	68,00		68,00
2	0,55 x Pp	412,5	137	0	79,47		79,47
				1	79,47		79,47
3	0,70 x Pp	525	173	0	90,53		90,53
				1	90,53		90,53
4	0,85 x Pp	637,5	210	0	102,10		102,10
				1	102,10		102,10
5	Pp	750	247	0	114,68		114,68
				1	114,68		114,68
				2	114,72		114,72
				3	114,75		114,75
				4	114,75		114,75
6	0,85 x Pp	637,5	210	5	114,78		114,78
				0	104,32		104,32
7	0,85 x Pp	637,5	210	1	104,33		104,33
				0	93,02		93,02
8	0,70 x Pp	525	173	1	93,02		93,02
				0	81,28		81,28
9	0,55 x Pp	412,5	137	1	81,28		81,28
				0	73,54		73,54
10	0,40 x Pp	300	100	1	73,54		73,54
				0	68,31		68,31
11	Pa	60	22	1	68,31		68,31
				0	106,77		106,77
11	P ₀	660	217	1	106,77		106,77
				0	106,77		106,77

Fig. 35 - Página inicial ensaio de receção simplificado da ancoragem A4.12.

Na Figura 36, observa-se a tabela associada ao tratamento de dados. Como foi referido previamente, esta tabela não requer qualquer tipo de intervenção manual, serve apenas para observação e compreensão rápida de valores.

PATAMAR	MIN	CARGA	ALONGAMENTO	LIM INF	TEORICO	LIM SUP	DEF. PLÁSTICA	DEF. ELÁSTICA	FLUÊNCIA
0	0	60	48,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0	300	68,00	23,14	25,71	32,14			
	1	300	68,00	23,14	25,71	32,14			
2	0	412,5	79,47	33,99	37,77	47,21			
	1	412,5	79,47	33,99	37,77	47,21			
3	0	525	90,53	44,84	49,82	62,28			
	1	525	90,53	44,84	49,82	62,28			
4	0	637,5	102,10	55,69	61,88	77,34			
	1	637,5	102,10	55,69	61,88	77,34			
5	0	750	114,68	66,54	73,93	92,41	-20,03	86,43	0,14
	1	750	114,68	66,54	73,93	92,41			
	2	750	114,72	66,54	73,93	92,41			
	3	750	114,75	66,54	73,93	92,41			
	4	750	114,75	66,54	73,93	92,41			
	5	750	114,78	66,54	73,93	92,41			
6	0	637,5	104,32	55,69	61,88	77,34			
	1	637,5	104,33	55,69	61,88	77,34			
7	0	525	93,02	44,84	49,82	62,28			
	1	525	93,02	44,84	49,82	62,28			
8	0	412,5	81,28	33,99	37,77	47,21			
	1	412,5	81,28	33,99	37,77	47,21			
9	0	300	73,54	23,14	25,71	32,14			
	1	300	73,54	23,14	25,71	32,14			
10	0	60	68,31	0,00	0,00	0,00			
	1	60	68,31	0,00	0,00	0,00			
11	0	660	106,77	57,86	64,29	80,36			
	1	660	106,77	57,86	64,29	80,36			

Fluência - Ensaio			Fluência - Blocação		
Carga (kN)	KSPp	Límite	Carga (kN)	KSPo	Límite
60	0,00	0,8	660	0,00	0,5
300	0,00	0,8			
412,5	0,00	0,8			
525,0	0,00	0,8			
637,5	0,00	0,8			
750,0	0,14	0,8			

Cálculo do Comprimento Livre Aparente		
10,8	< 14,03	< 15

Fig. 36 - Dados relativos ao ensaio de receção simplificado da ancoragem A4.12.

A análise da Figura 36 permite identificar rapidamente os principais parâmetros obtidos durante o ensaio de carga. A deformação elástica é um dos valores mais críticos a ser observado, pois indica a capacidade da ancoragem de retornar à sua forma original após a remoção da carga. Por observação da figura, realça-se que o valor da deformação elástica está muito próximo do seu limite superior permitido pelas normas. Esta proximidade sugere que, embora o comprimento livre aparente esteja dentro dos limites normativos, ele está muito próximo do incumprimento. Tal situação indica uma margem de segurança reduzida, o que pode ser preocupante em termos de desempenho estrutural.

Dada a importância destes parâmetros para a segurança e a funcionalidade da ancoragem, é crucial prosseguir com a avaliação do coeficiente de fluência. Esta avaliação consiste em determinar a deformação residual da ancoragem após a aplicação e a manutenção de uma carga constante por um período específico.

Também por observação da figura, compreende-se que, assim que a ancoragem atinge a carga de ensaio, ocorre uma deformação de aproximadamente 0,15 mm ao longo de um período de 5 minutos. Essa deformação é desprezada porque contribui para a formação de um coeficiente de fluência muito baixo. No caso analisado, o coeficiente de fluência resultante é de 0,14 mm, um valor que não excede consideravelmente o

limite normativo de 0,8 mm. O cumprimento deste limite indica que a ancoragem apresenta uma deformação desprezável sob carga constante, o que não compromete a sua capacidade de desempenho a longo prazo. Posto isto, a ancoragem deve ser aprovada, pois cumpre os requisitos de segurança estabelecidos pelas normas.

Na Figura 37, observa-se um dos gráficos de resultados pretendidos quando se realiza um ensaio de carga. Este gráfico apresenta o comportamento da ancoragem durante o ciclo de carga-descarga (linha azul) e durante a blocagem (linha vermelha). O eixo x representa os valores do alongamento da ancoragem, enquanto o eixo y indica os valores de carga aplicados durante o ensaio.

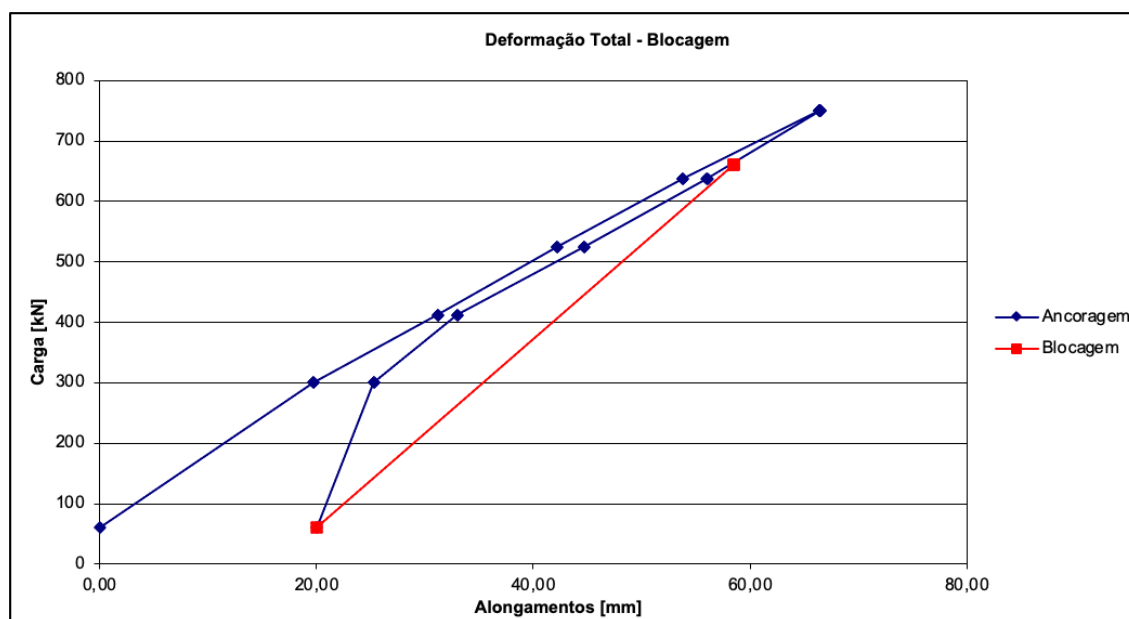


Fig. 37 - Gráfico Deformação Total e Blocagem de ensaios de receção de ancoragem A4.12.

Por observação gráfica, nota-se que o ensaio não apresenta qualquer anomalia quanto à sua deformação. A relação entre carga e alongamento segue um padrão esperado: à medida que a carga aumenta, o alongamento da ancoragem também aumenta. Este comportamento linear e previsível indica que a ancoragem apresenta um comportamento adequado às cargas aplicadas.

Durante o ciclo de carga-descarga, representado pela linha azul, o alongamento da ancoragem aumenta progressivamente com o aumento da carga. Quando a carga é reduzida, observa-se que o alongamento diminui, mas não volta ao valor inicial, o que indica presença de deformação plástica residual. Este fenómeno é normal e esperado, pois a maioria dos materiais estruturais apresenta algum grau de deformação permanente durante a descarga.

Durante a fase de blocagem, representada pela linha vermelha, a ancoragem é mantida sob uma carga constante. A análise gráfica mostra que o alongamento durante esta fase é significativamente menor do que durante a fase de carregamento. Este comportamento é esperado, pois a carga constante aplicada na blocagem permite que a ancoragem se estabilize, resultando em menores deformações adicionais.

Na Figura 38, observa-se um gráfico que, relaciona alongamento, em milímetros, com a carga em kN. No entanto, este gráfico baseia-se apenas em valores de deformação. Podemos observar cinco retas, a azul, a reta associada à deformação plástica e a verde a reta que está relacionada à deformação elástica. As restantes retas, são associadas ao diagrama teórico e aos limites impostos em ISO22477-5, que limitam superiormente e inferiormente os valores associados à deformação elástica e, conseqüentemente, os valores relativos ao comprimento livre aparente.

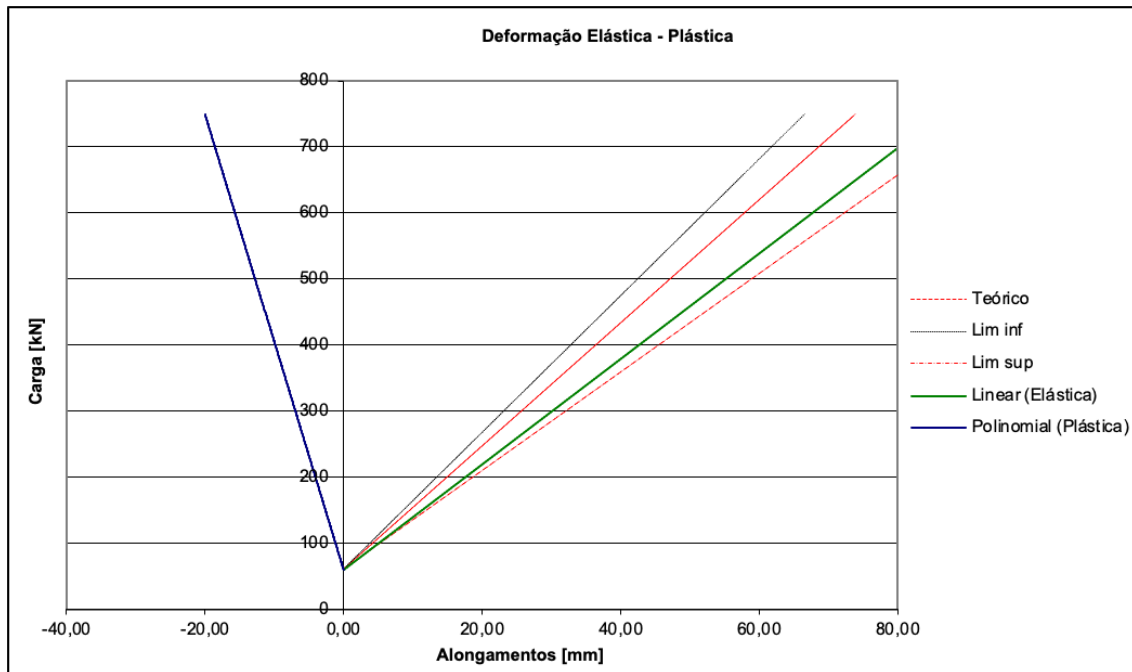


Fig. 38 - Gráfico de deformação elástica e deformação plástica do ensaio de receção da ancoragem A4.12

Neste caso, ainda que a reta da deformação elástica esteja muito próxima da reta do limite superior, não ultrapassa o limite, pelo que pela observação do gráfico é possível validar a ancoragem. Como mencionado anteriormente, o valor do comprimento livre aparente depende diretamente da deformação elástica. Se a deformação elástica está dentro dos limites normativos, então o comprimento livre aparente também estará. Este parâmetro é crucial porque garante que a ancoragem tem uma resposta previsível e segura sob cargas operacionais.

Esta análise gráfica facilita significativamente a avaliação de valores fundamentais para a validação da ancoragem. Em vez de realizar uma análise mais extensiva e detalhada, como na Figura 37, a introdução de valores no gráfico da Figura 38 permite uma compreensão rápida e visual de conformidade com os limites normativos. Isso simplifica o processo de validação, permitindo identificar rapidamente se a ancoragem cumpre os requisitos de segurança e desempenho.

Em resumo, a utilização de gráficos como o apresentado na Figura 38 proporciona uma ferramenta eficaz para a avaliação rápida e precisa das deformações e do comprimento livre aparente da ancoragem. A observação visual dos limites normativos permite uma validação mais intuitiva, garantindo que a ancoragem está dentro dos parâmetros

aceitáveis, sem a necessidade de análises detalhadas e extensivas para cada caso específico.

Por fim, a Figura 39 está associada às deformações por fluência. A linha horizontal no gráfico representa o limite máximo aceitável para o coeficiente de fluência, conforme estabelecido pelas normas técnicas. Ao observar o comportamento da ancoragem no gráfico, fica evidente que a deformação por fluência permanece bem abaixo deste limite. Isso indica que a ancoragem mantém a integridade estrutural mesmo após um período prolongado sob carga constante.

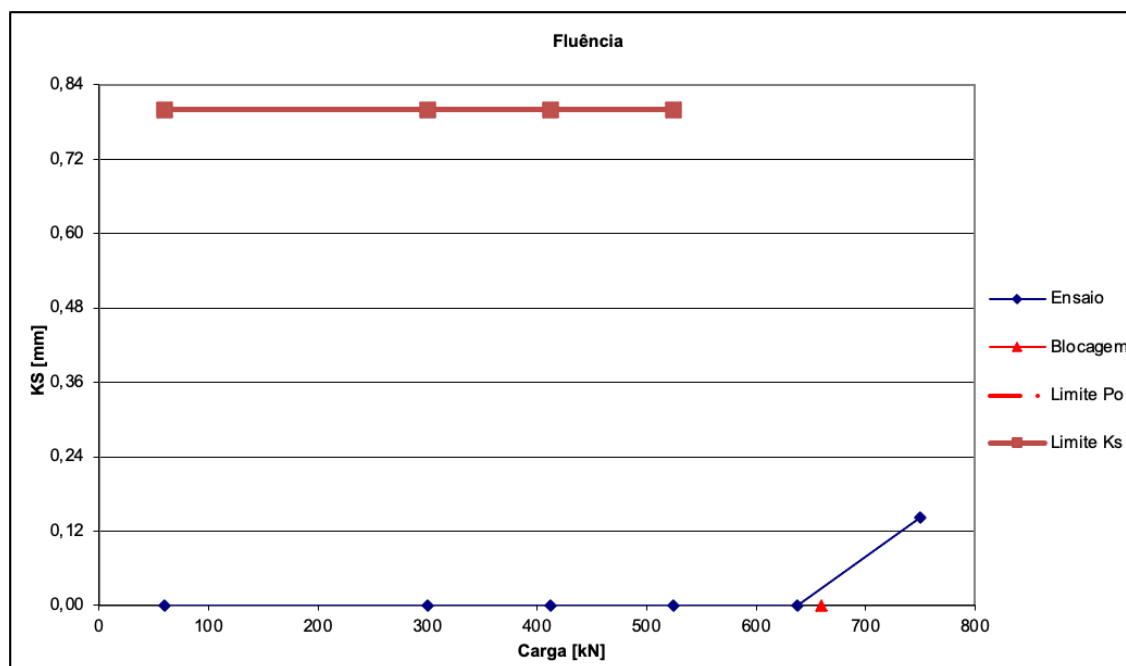


Fig. 39 - Gráfico associado às deformações de fluência do ensaio de receção da ancoragem A4.12.

O coeficiente de fluência é desprezável neste caso, pois, para um curto intervalo de tempo, a ancoragem quase não sofreu deformações. Este resultado é extremamente positivo, indicando que a ancoragem tem uma alta resistência à fluência e, portanto, uma durabilidade melhorada sob condições de carga prolongada.

Dado que a ancoragem apresenta um coeficiente de fluência muito abaixo do limite permitido, podemos validar a ancoragem com confiança. A baixa deformação por fluência significa que a ancoragem manterá a sua eficácia e segurança ao longo do tempo, cumprindo os requisitos normativos.

Em suma, a realização de um ensaio de receção simplificado é relativamente simples. Por ser menos detalhado, envolve menos precisão entre patamares distribuindo-se, como mencionado previamente, em apenas cinco patamares para o ciclo carga-descarga e apenas quatro patamares para o ciclo de blocagem. Esta simplificação permite que o ensaio seja realizado num intervalo de tempo inferior a 30 minutos.

Durante este ensaio, existe a necessidade de introdução de um volume de dados mais reduzido. Como foi referido ao longo deste subcapítulo, não é necessária a avaliação detalhada da folha de dados associada ao tratamento de dados. Em vez disso, os

fatores críticos são avaliados através de uma análise gráfica, que é mais prática e compreensiva.

A utilização de gráficos, como os apresentados nas Figuras 38 e 39, permite uma rápida visualização e compreensão dos principais parâmetros de desempenho da ancoragem. Esta abordagem não só facilita o processo de validação, como também assegura que os critérios normativos são cumpridos de forma eficiente e precisa.

4.3.2. ENSAIO PRÉVIO: ANCORAGEM A5.4

Após a apresentação dos resultados de um ensaio de receção simplificado, são agora apresentados os principais dados de um ensaio prévio realizado na ancoragem identificada como A5.4. Como o nome indica, este ensaio localiza-se no quinto nível de ancoragens (considerando o sentido descendente). Este ensaio é realizado numa zona onde as condições do terreno não foram sujeitas a ensaios prévios anteriormente, necessitando, portanto, de uma avaliação específica.

Semelhante à ancoragem utilizada no ensaio de receção simplificado, foram dimensionados valores de 12 metros para o comprimento livre e 6 metros para o comprimento de selagem. A armadura da ancoragem também é idêntica, resultando numa secção de aço de 560 mm², composta por quatro cabos de aço com diâmetro de 0,6”.

Uma distinção significativa entre o ensaio prévio e o ensaio de receção simplificado reside no valor da carga útil, P . No ensaio prévio, a carga útil foi estabelecida em 500 kN, diferente dos 600 kN utilizados no ensaio de receção simplificado. Consequentemente, a carga inicial de ensaio (P_a) será de 50 kN, correspondente a 10% da carga útil. A carga de blocagem, por sua vez, será de 550 kN, correspondendo a 1,1 vezes a carga útil e a ancoragem será bloqueada após a análise do ensaio e validação dos pressupostos. Nos ensaios prévios, a carga de ensaio é definida como 1,5 vezes a carga útil, ao contrário dos 1,25 vezes utilizados nos ensaios de receção simplificada, correspondendo a uma carga de ensaio de 750 kN.

Após a realização dos procedimentos prévios à execução do ensaio, conforme indicado na seção 3.2, inicia-se a análise de tratamento de dados, utilizando a ferramenta desenvolvida especificamente para esta finalidade. Esta ferramenta é crucial para garantir a precisão e a eficiência na avaliação dos resultados.

Como referido anteriormente, ao abrir a ferramenta, deve-se proceder à limpeza de valores, antigos, seguido da seleção do macaco utilizado no ensaio e da seleção do método com que se realiza o ensaio prévio. Em detalhe, o macaco utilizado foi MT2500 T9/17 C187 e foi seguido o Método 1 definido na norma ISO22477-5.

Relembrando o Método 1 da ISO 22477-5, este é caracterizado por seis ciclos de carga-descarga, com 22 patamares associados a esses ciclos, além de 6 patamares para realizar a descarga final. A maior carga aplicada em cada ciclo é progressivamente aumentada, sendo: 40% P_P , 55% P_P , 70% P_P , 80% P_P , 90% P_P , e, por fim, 100% P_P . Entre a descarga cíclica e o patamar de maior carga de cada ciclo, existem dois patamares intermédios, com menos 15% P_P que a carga máxima do ciclo.

A realização de ensaios prévios, como o realizado na ancoragem A5.4, é fundamental para assegurar que a ancoragem pode suportar as cargas previstas em condições específicas de terreno que não foram previamente testadas.

Em suma, o ensaio prévio A5.4 fornece dados valiosos sobre o comportamento da ancoragem em condições específicas de terreno, permitindo ajustes e validações necessárias antes da construção. A metodologia rigorosa e os equipamentos utilizados asseguram a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos, contribuindo para a segurança das estruturas ancoradas.

Na Figura 40, está identificada a ancoragem, assim como as suas características de dimensionamento e as cargas a utilizar no ensaio. Neste excerto do ensaio, podemos observar os três ciclos iniciais de carga-descarga. O tensionamento começa sempre com carga inicial P_a , para este caso, 10% da carga útil. Ao longo do primeiro ciclo, a carga é aumentada gradualmente em incrementos de 15% até atingir 40% da carga útil. O ciclo de descarga passa pelos mesmos patamares de carga. Entre cada ciclo de carga-descarga, os patamares intermédios são definidos com base na carga máxima do ciclo anterior. Isso garante uma transição suave e controlada entre os diferentes níveis de carga.

ACAGEO GEOTECNIA & FUNDAÇÕES ESPECIAIS	BOLETIM DE REGISTO DE ENSAIO PRÉVIO		EP
	Quartel S. Brás		DATA EDIÇÃO 31/07/24

ANCORAGEM Nº:	A5.4	DATA:	15/05/24
---------------	------	-------	----------

COMPRIMENTO TOTAL (lt):	18 m	TENSÃO 0 DE ENSAIO (Pa):	50 kN
COMPRIMENTO LIVRE (li):	12 m	TENSÃO ÚTIL (P):	500 kN
COMPRIMENTO SELAGEM (ls):	6 m	TENSÃO DE ENSAIO (Pp):	750 kN
ARMADURA	4 Ø 0,6"	TENSÃO DE BLOCAGEM (Po):	550 kN
SECÇÃO DE AÇO (AS)	560	MÓDULO ELASTICIDADE (E):	200 kN/mm ²

FATIGA	CARGA			TEMPO min	LEITURAS / VARIAÇÕES		DESLOCAMENTOS (mm)		
	Pp	KN	BAR		KN	BAR	Ancoragem	Muro	Total
0	Pa	50,0	19	0			44,57		44,57
1	0,25 x Pp	187,5	63	0			61,24		61,24
				1			61,24		61,24
2	0,40 x Pp	300,0	99	0			76,59		76,59
				1			76,69		76,69
				2			76,76		76,76
				3			76,84		76,84
				5			76,90		76,90
				10			77,12		77,12
				15			77,32		77,32
3	0,25 x Pp	187,5	63	0			65,78		65,78
				1			65,78		65,78
4	Pa	50,0	19	0			51,69		51,69
				1			51,69		51,69
5	0,40 x Pp	300,0	99	0			77,48		77,48
				0			77,48		77,48
6	0,55 x Pp	412,5	135	0			93,70		93,70
				1			93,70		93,70
				2			93,71		93,71
				3			93,71		93,71
				5			93,71		93,71
				10			93,75		93,75
				15			93,75		93,75
7	0,40 x Pp	300,0	99	0			82,89		82,89
				1			82,89		82,89
8	Pa	50,0	19	0			51,87		51,87
				1			51,87		51,87
9	0,55 x Pp	412,5	135	0			95,32		95,32
				1			95,32		95,32
10	0,70 x Pp	525,0	170	0			110,68		110,68
				1			110,78		110,78
				2			110,86		110,86
				3			111,02		111,02
				5			111,23		111,23
				10			111,49		111,49
				15			111,61		111,61
				20			111,69		111,69
				30			111,73		111,73
11	0,55 x Pp	412,5	135	0			102,84		102,84
				1			102,84		102,84
12	Pa	50,0	19	0			53,65		53,65
				1			53,67		53,67

Fig. 40 - Folha de introdução de dados para método 1 do ensaio prévio da ancoragem A5.4.

É crucial observar os intervalos de tempo durante os quais cada carga de ensaio máxima deve ser mantida constante. Nos primeiros dois ciclos, cada patamar de carga é mantido por 15 minutos. Nos três ciclos seguintes, o intervalo de tempo aumenta para 30 minutos e, finalmente, no último ciclo, onde é aplicada a carga total de ensaio, o intervalo de tempo é de 60 minutos.

Durante este ensaio específico, não foram medidos valores secundários das leituras de carga no macaco, nem foram observados deslocamentos significativos do muro. Isso sugere que a ancoragem e a estrutura circundante permaneceram estáveis sob as condições de carga aplicadas.

Os ciclos de carga-descarga são fundamentais para avaliar a resposta da ancoragem às cargas aplicadas de forma progressiva e cíclica. Este processo ajuda a identificar qualquer comportamento irregular, como deformações excessivas ou falhas prematuras, que poderiam comprometer a segurança e a eficácia da ancoragem. Os patamares de carga são mantidos constantes por períodos específicos para permitir avaliar a resistência da ancoragem à fluência e à deformação ao longo do tempo.

A análise dos três ciclos iniciais de carga-descarga apresentada na Figura 40 proporciona uma visão detalhada do comportamento da ancoragem sob condições controladas. A ausência de medições secundárias e deslocamentos significativos do muro indica que a ancoragem está a comportar-se conforme o esperado. Estes resultados são essenciais para validar a ancoragem e garantir que ela pode suportar as cargas previstas de maneira segura e eficiente.

A Figura 41 serve exclusivamente para destacar os valores dos patamares associados à fase de descarga final do ensaio de ancoragem. Este gráfico é fundamental para entender a sequência e os níveis de carga durante a redução da tensão na ancoragem.

22	1 x Pp	750,0	238	0		148,17		148,17
				1		148,20		148,20
				2		148,42		148,42
				3		148,56		148,56
				5		148,73		148,73
				10		148,84		148,84
				15		149,11		149,11
				20		149,19		149,19
				30		149,20		149,20
				45		149,20		149,20
				60		149,21		149,21
				0		138,34		138,34
				1		138,34		138,34
23	0,90 x Pp	675,0	216	0		128,24		128,24
24	0,80 x Pp	600,0	193	0		128,24		128,24
25	0,70 x Pp	525,0	170	0		116,82		116,82
				1		116,82		116,82
26	0,55 x Pp	412,5	135	0		107,46		107,46
				1		107,46		107,46
27	0,40 x Pp	300,0	99	0		84,90		84,90
				1		84,90		84,90
28	Pa	50,0	19	0		56,66		56,66

Fig. 41 – Continuação da folha de introdução de dados para método 1 do ensaio prévio da ancoragem A5.4.

Após a finalização do tensionamento, a descarga deve ser realizada em patamares cuidadosamente definidos. Cada patamar de descarga é estabelecido com base na carga máxima aplicada durante o ciclo de carregamento correspondente, garantindo uma redução controlada e segura da tensão na ancoragem.

A fase de descarga controlada é uma parte crítica do ensaio de ancoragem, pois permite avaliar a recuperação elástica da ancoragem e detetar qualquer deformação plástica permanente. Manter a carga constante por períodos definidos em cada patamar de descarga ajuda a identificar o comportamento da ancoragem sob redução de carga, garantindo que ela pode retornar de forma segura e previsível ao estado inicial sem apresentar falhas ou deformações inaceitáveis.

Em resumo, a figura 41 não só serve para ilustrar os valores dos patamares de descarga, mas também enfatiza a importância de um procedimento de descarga meticuloso e bem controlado. Este aspeto do ensaio é crucial para garantir que a ancoragem pode suportar as condições operacionais previstas e manter sua integridade estrutural ao longo do tempo.

A Figura 42, pertence ao módulo de tratamento de dados e demonstra os valores a considerar na validação. Como mencionado anteriormente, esta folha não requer qualquer intervenção manual, oferecendo uma visão clara e automatizada dos parâmetros críticos do ensaio.

COMPRIMENTO LIVRE MÍNIMO	COMPRIMENTO LIVRE APARENTE	COMPRIMENTO LIVRE MÁXIMO
10,8	14,808	15

CARGA	KSPp	LIMITE (mm)
300	0,52	2
412,5	0,05	2
525	0,73	2
600	0,08	2
675	0,00	2
750	0,61	2

Fig. 42 - Fatores a ter em conta na folha de tratamento de dados do ensaio prévio da ancoragem A5.4.

Na Figura 42, é possível observar os valores calculados automaticamente para o comprimento livre aparente (medido em metros) e para o coeficiente de fluência ao longo do ensaio prévio (medido em mm). Esses valores são essenciais para determinar a validade da ancoragem sob as condições de teste estabelecidas.

O comprimento livre aparente é fundamental para avaliar a flexibilidade e a elasticidade da ancoragem. A folha de tratamento de dados calcula automaticamente este valor com base nos dados de deformação recolhidos durante o ensaio. Observando os valores apresentados na Figura 42, compreende-se que o comprimento livre aparente está dentro dos limites normativos, indicando que a ancoragem possui a elasticidade necessária para suportar as cargas aplicadas.

O coeficiente de fluência mede a deformação ao longo do tempo sob uma carga constante. A observação dos valores na Figura 42 mostra que o coeficiente de fluência calculado também está dentro dos limites normativos. Isso significa que a ancoragem não apresenta deformações excessivas sob condições de carga prolongada, garantindo a sua estabilidade e segurança.

A partir da observação das tabelas apresentadas na Figura 42, repara-se que o ensaio é válido, pois tanto o comprimento livre aparente quanto o coeficiente de fluência não ultrapassam os limites estabelecidos pelas normas. Este resultado é crucial para a validação da ancoragem, garantindo que ela está apta a desempenhar suas funções de maneira segura e eficaz.

É importante reparar que, durante este ensaio, não foi realizada a bloqueio da ancoragem. A bloqueio é um processo que pode influenciar os resultados finais, mas a sua ausência neste ensaio não compromete a validade dos dados apresentados, uma vez que os fatores críticos analisados estão dentro dos limites aceitáveis.

Após confirmar que os valores numéricos estão dentro dos padrões normativos, procede-se à análise gráfica dos fatores relevantes para validar a ancoragem. A representação gráfica dos dados permite uma compreensão visual imediata do comportamento da ancoragem sob as condições de ensaio, facilitando a identificação de qualquer anomalia ou tendência que possa comprometer a sua segurança.

Na Figura 43, é apresentado o gráfico relativo à deformação total da ancoragem durante o ensaio. Este gráfico é construído a partir da relação entre o alongamento da ancoragem, medido em milímetros (mm), e a carga aplicada, medida em kN. O gráfico fornece uma visão clara dos seis ciclos realizados durante o ensaio. Cada ciclo consiste numa fase de carregamento e descarregamento, permitindo observar como a ancoragem responde a diferentes níveis de carga. Esses ciclos são essenciais para avaliar o comportamento da ancoragem sob condições de carga cíclica, simulando situações reais de uso.

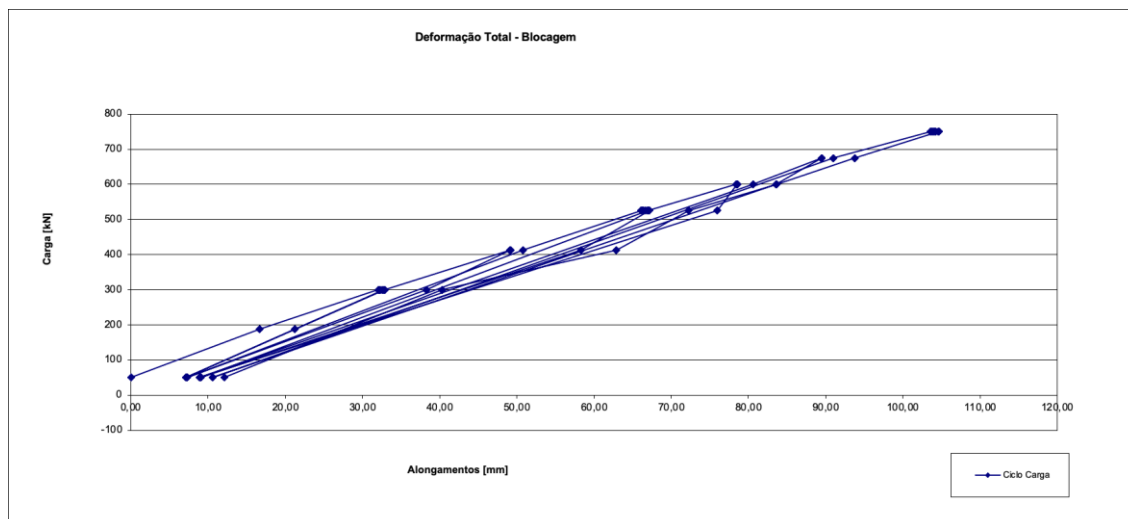


Fig. 43 - Gráfico de deformação total do ensaio prévio da ancoragem A5.4.

Como esperado, o gráfico mostra que, à medida que a carga aumenta, o alongamento da ancoragem também aumenta, indicando a deformação total. Essa relação direta entre carga e alongamento é fundamental para entender a capacidade de deformação e a resistência da ancoragem sob cargas progressivas.

O comportamento cíclico observado no gráfico evidencia a capacidade da ancoragem de suportar cargas repetidas, o que é fundamental para garantir a segurança das estruturas em que são utilizadas. A análise desses ciclos permite identificar possíveis pontos de falha e a resistência máxima da ancoragem antes de ocorrer qualquer deformação permanente.

A Figura 44 apresenta o comportamento da deformação elástica e da deformação plástica ao longo do ensaio prévio. Este gráfico é essencial para entender como a ancoragem responde às cargas aplicadas em termos de recuperação elástica e deformação permanente.

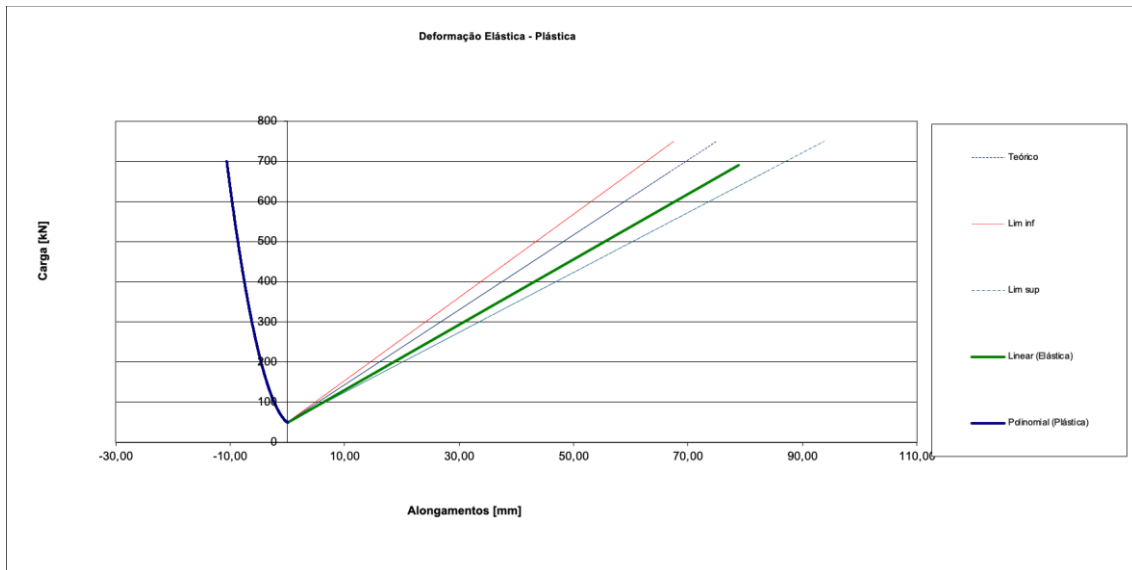


Fig. 44 - Gráfico de deformação elástica e deformação plástica do ensaio prévio da ancoragem A5.4.

Por observação direta do gráfico, compreende-se que a deformação elástica cumpre os limites normativos, ainda que esteja um pouco distante do valor teórico esperado. Este desvio pode ser atribuído a variações nos materiais, métodos de instalação ou condições do solo. Apesar desse desvio, a deformação elástica ainda está dentro dos parâmetros aceitáveis, garantindo a conformidade com os requisitos de segurança.

O comprimento livre aparente da ancoragem é diretamente proporcional à deformação elástica. Como a deformação elástica cumpre os limites normativos, podemos concluir que o comprimento livre aparente também está dentro dos limites aceitáveis. Esta relação é fundamental no processo de validação total da ancoragem, pois assegura que a ancoragem terá um desempenho previsível e confiável sob condições de carga reais.

A deformação plástica, por outro lado, representa a deformação permanente que ocorre após a remoção da carga. A observação do comportamento da deformação plástica no gráfico é crucial para avaliar a durabilidade e a resistência a longo prazo da ancoragem. O gráfico ilustra claramente a distinção entre as zonas de deformação elástica e plástica, proporcionando uma compreensão abrangente do comportamento mecânico da ancoragem durante o ensaio.

Para finalizar o ensaio e concluir sobre a validade da ancoragem, é essencial confirmar os valores do coeficiente de fluência. O coeficiente de fluência é uma medida crítica que indica o comportamento da ancoragem sob cargas constantes ao longo do tempo. Conforme apresentado no gráfico da Figura 45, os valores do coeficiente de fluência obtidos durante os ensaios estão bem distantes do valor limite de 2 mm, conforme estabelecido pelas normas para ensaios prévios. Esta margem de segurança é um indicativo positivo da robustez e da confiabilidade das ancoragens testadas. A manutenção dos valores de fluência dentro dos limites aceitáveis demonstra que as ancoragens têm um desempenho consistente e seguro, mesmo sob condições de carga prolongadas.

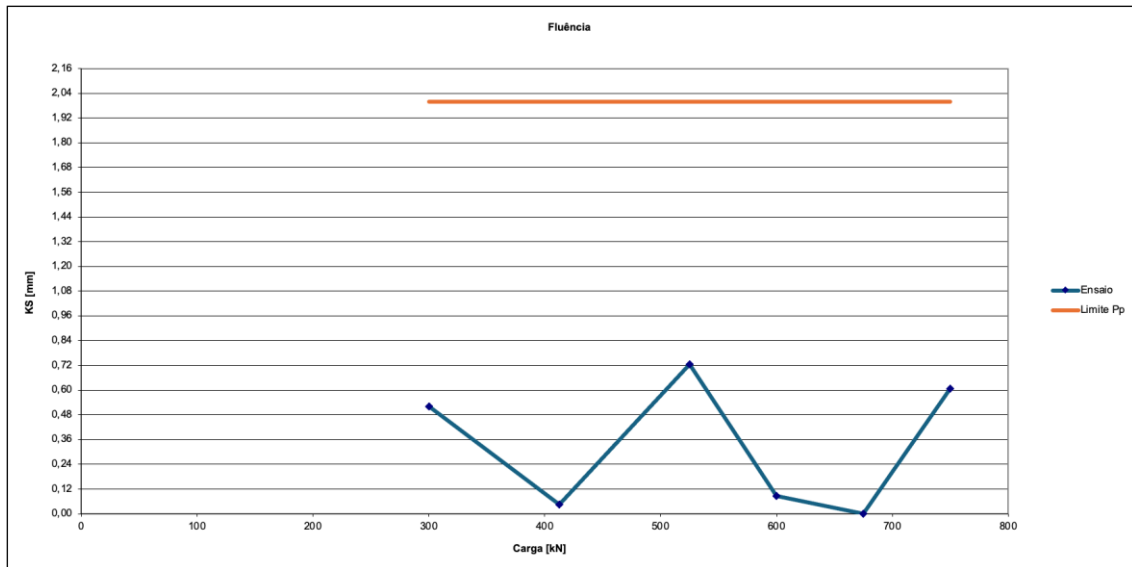


Fig. 45 - Gráfico associado às deformações de fluência obtido no ensaio prévio da ancoragem A5.4.

É importante notar que o gráfico associado ao coeficiente de fluência do ensaio apresenta variabilidade. Esta variabilidade é normal e esperada, pois o comportamento da ancoragem pode diferir em cada patamar de carga. A fluência é influenciada por diversos fatores, incluindo a qualidade do material, as condições de instalação e as características do solo. Portanto, uma certa variação nos resultados não apenas é aceitável, mas também fornece informações valiosas sobre como a ancoragem responde a diferentes condições de carga.

Durante os ensaios, observamos que em cada patamar de carga, a ancoragem pode exibir comportamentos ligeiramente distintos. Isso pode incluir variações na taxa de deformação ou mudanças no modo de falha. A análise detalhada dessas variações é crucial para compreender completamente o desempenho da ancoragem e garantir que esta atende aos requisitos de segurança e durabilidade.

Com base nos resultados obtidos e na análise detalhada do coeficiente de fluência, podemos validar o ensaio prévio. A ferramenta desenvolvida para a análise dos dados mostrou-se eficaz ao fornecer resultados precisos e confiáveis, apenas com a introdução manual dos dados. Este aspecto é particularmente relevante, pois demonstra que a ferramenta pode ser utilizada em campo de forma prática e eficiente, sem a necessidade de equipamentos sofisticados ou processos complexos de recolha de dados.

4.3.3. ENSAIO DE RECEÇÃO DETALHADO: ANCORAGEM A4.14

Dando continuidade às análises precedentes, procede-se agora à descrição e análise do ensaio de receção detalhado realizado na ancoragem A4.14. Este ensaio destaca-se pelo uso de células de carga, que permitem uma medição mais precisa e detalhada

das forças aplicadas e das deformações resultantes durante a sua vida útil. A ancoragem A4.14, situada no quarto nível de ancoragens, segue o mesmo dimensionamento das ancoragens anteriores, com um comprimento livre de 12 metros e um comprimento de selagem de 6 metros, totalizando um comprimento de 18 metros e com uma área de secção de aço de 560 mm^2 , composta por quatro cordões de aço com diâmetro nominal de 0,6".

O uso de células de carga no ensaio de receção detalhado oferece uma série de vantagens em termos de precisão e detalhe das informações obtidas. As células de carga são dispositivos altamente sensíveis que medem a força aplicada na ancoragem, a partir da conversão de sinais elétricos que podem ser analisados com grande exatidão. Esta metodologia permite um acompanhamento rigoroso do comportamento da ancoragem sob diferentes níveis de carga, facilitando a identificação de qualquer anomalia ou desvio em relação aos parâmetros esperados, ao longo da vida útil da ancoragem.

Durante o ensaio, a carga útil foi estabelecida em 600 kN, com a carga inicial de ensaio fixada em 60 kN e a carga de bloqueio em 660 kN. A carga de ensaio, que corresponde a 1,25 vezes a carga útil, foi definida em 750 kN. Este procedimento segue os critérios normativos para garantir na estrutura fiabilidade nos resultados finais. As medições obtidas através das células de carga permitem verificar com precisão se a ancoragem cumpre os requisitos de desempenho esperados, tanto em termos de resistência quanto de deformabilidade.

A aplicação de células de carga também possibilita uma análise detalhada dos ciclos de carga e descarga, fundamentais para avaliar a capacidade da ancoragem de suportar cargas repetidas ao longo do tempo. Este tipo de análise é crucial para garantir que a ancoragem mantenha um desempenho consistente e seguro durante a sua vida útil. Através dos dados obtidos, é possível observar como a ancoragem responde a diferentes níveis de carga, identificando a transição entre a deformação elástica e a deformação plástica, o que é fundamental para compreender o comportamento a longo prazo da ancoragem.

Os ensaios de receção detalhados com células de carga são, portanto, uma ferramenta indispensável para a validação das ancoragens. Estes não só asseguram que os parâmetros normativos de segurança são cumpridos, mas também fornecem uma visão aprofundada do comportamento mecânico da ancoragem sob condições reais de carga. Esta abordagem detalhada garante que as ancoragens instaladas proporcionem um desempenho previsível e confiável, contribuindo significativamente para a segurança e a durabilidade das estruturas em que são utilizadas.

O ensaio foi realizado segundo o Método 1 da norma ISO 22477-5, conforme apresentado na Figura 46. Este método normativo estabelece os procedimentos para ensaios de carga em ancoragens, garantindo a comparabilidade dos resultados.

É importante reparar que, durante este ensaio, não foi realizada a bloqueio da ancoragem. A sua ausência neste ensaio não compromete a validade dos dados apresentados, uma vez que os fatores críticos analisados estão dentro dos limites aceitáveis.

ACAGEO GEOTECNIA & FUNDAÇÕES ESPECIAIS	BOLETIM DE REGISTO DE ENSAIO DE RECEÇÃO DETALHADO					ERD	
	Quartel S. Brás					DATA EDIÇÃO 31/07/24	

ANCORAGEM Nº:		A4.14		DATA:		15/05/24	
---------------	--	-------	--	-------	--	----------	--

COMPRIMENTO TOTAL (lt):		18 m		TENSÃO 0 DE ENSAIO (Pa):		60 kN	
COMPRIMENTO LIVRE (ll):		12 m		TENSÃO ÚTIL (P):		600 kN	
COMPRIMENTO SELAGEM (ls):		6 m		TENSÃO DE ENSAIO (Pp):		750 kN	
ARMADURA		4 Ø 0,6"		TENSÃO DE BLOCAGEM (Po):		660 kN	
SECÇÃO DE AÇO (AS)		560		MÓDULO ELASTICIDADE (E):		200 kN/mm²	

P/ANEXO	CARGA			TEMPO	LEITURAS / VARIAÇÕES		DESLOCAMENTOS (mm)		
	Pp	KN	BAR	min	KN	BAR	Ancoragem	Muro	Total
0	Pa	50	17	0			42,64		42,64
1	0,25 x Pp	187,5	62	0			58,58		58,58
				1			58,58		58,58
2	0,40 x Pp	300	99	0			73,40		73,40
				1			73,43		73,43
3	0,25 x Pp	187,5	62	0			62,92		62,92
				1			62,92		62,92
4	Pa	50	17	0			49,45		49,45
				1			49,45		49,45
5	0,40 x Pp	300	99	0			74,11		74,11
				1			74,11		74,11
6	0,55 x Pp	412,5	136	0			89,65		89,65
				1			89,67		89,67
7	0,40 x Pp	300	99	0			79,29		79,29
				1			79,29		79,29
8	Pa	50	17	0			49,61		49,61
				1			49,61		49,61
9	0,55 x Pp	412,5	136	0			91,18		91,18
				1			91,18		91,18
10	0,70 x Pp	525	173	0			105,80		105,80
				1			105,92		105,92
				2			105,96		105,96
				3			105,98		105,98
				5			106,04		106,04

Fig. 46 - Folha de introdução de dados para método 1 de um ensaio de receção detalhado da ancoragem A4.14.

A Figura 46 ilustra o procedimento do ensaio de receção detalhado de ancoragens segundo o método 1 da norma ISO 22477-5, o qual inclui uma sequência de cinco ciclos de carga-descarga, estando representados apenas os primeiros três. Este procedimento é crucial para avaliar o desempenho das ancoragens em termos de sua capacidade de suportar e recuperar-se de cargas aplicadas repetidamente.

Nos dois ciclos iniciais, a carga é aplicada e removida rapidamente, com tempos de monitorização de apenas 1 minuto. Isso permite uma avaliação inicial da rigidez e elasticidade do sistema de ancoragem sob cargas imediatas. No terceiro e quarto ciclos, o intervalo de tempo de monitorização é aumentado para 5 minutos. Durante estes ciclos, observa-se a resposta da ancoragem a uma carga mais prolongada, o que ajuda a identificar quaisquer mudanças no comportamento elástico ou início de deformações plásticas. O último ciclo é o mais longo, com um período de monitorização de 30 minutos. Este período prolongado permite a observação detalhada da resposta da ancoragem sob uma carga sustentada, avaliando a recuperação elástica completa e qualquer deformação permanente que possa ocorrer.

A capacidade da ancoragem de retornar à sua forma original após a remoção da carga é um indicativo de sua qualidade e eficiência. Os primeiros dois ciclos, com tempo de monitorização curto, focam-se nesta recuperação rápida. À medida que o ensaio progride, passando para ciclos com intervalos de tempo de monitorização mais longos, é possível identificar se ocorre alguma deformação plástica. Isto é crucial para garantir que a ancoragem não sofrerá falhas sob condições de carga repetida.

A execução metódica deste ensaio e a análise detalhada dos resultados fornecem uma validação robusta da ancoragem. Garante-se assim que, sob condições

operacionais reais, a ancoragem manterá sua integridade estrutural e funcionalidade ao longo do tempo, cumprindo os requisitos de segurança e eficiência.

Após a introdução de valores na folha inicial, procede-se à análise detalhada da folha de tratamento de dados. Esta etapa do processo é totalmente automatizada, não necessitando de qualquer intervenção manual. Conforme observado na Figura 47, nos mesmos ciclos apresentados na Figura 46, surgem valores para a deformação plástica, deformação elástica e valores do coeficiente de fluência.

PATAMAR	MIN	CARGA	CARGA CORRIGIDA	ALONGAMENTO	LIM INF	TEORICO	LIM SUP	DEF. PLÁSTICA	DEF. ELÁSTICA	FLUÊNCIA
0	0	50	0	42,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0	187,5	0	58,58	13,26	14,73	18,42			
	1	187,5	0	58,58	13,26	14,73	18,42			
2	0	300	0	73,40	24,11	26,79	33,48	-6,81	23,98	0,72
	1	300	0	73,43	24,11	26,79	33,48			
3	0	187,5	0	62,92	13,26	14,73	18,42			
	1	187,5	0	62,92	13,26	14,73	18,42			
4	0	50	0	49,45	0,00	0,00	0,00			
	1	50	0	49,45	0,00	0,00	0,00			
5	0	300	0	74,11	24,11	26,79	33,48			
	1	300	0	74,11	24,11	26,79	33,48			
6	0	412,5	0	89,65	34,96	38,84	48,55	-6,97	40,06	0,48
	1	412,5	0	89,67	34,96	38,84	48,55			
7	0	300	0	79,29	24,11	26,79	33,48			
	1	300	0	79,29	24,11	26,79	33,48			
8	0	50	0	49,61	0,00	0,00	0,00			
	1	50	0	49,61	0,00	0,00	0,00			
9	0	412,5	0	91,18	34,96	38,84	48,55			
	1	412,5	0	91,18	34,96	38,84	48,55			
10	0	525	0	105,80	45,80	50,89	63,62	-8,68	54,72	0,34
	1	525	0	105,92	45,80	50,89	63,62			
	2	525	0	105,96	45,80	50,89	63,62			
	3	525	0	105,98	45,80	50,89	63,62			
	5	525	0	106,04	45,80	50,89	63,62			

Fig. 47 - Análise de valores da folha de tratamento de dados de um ensaio de receção detalhado da ancoragem A4.14.

A análise destes parâmetros é crucial para avaliar o comportamento das ancoragens. A ferramenta de tratamento de dados desenvolvida permite a visualização e interpretação precisa destes valores, proporcionando uma compreensão detalhada do comportamento das ancoragens sob carga.

A deformação elástica é calculada considerando a relação entre a carga aplicada e a recuperação do comprimento original após a descarga. Já a deformação plástica é obtida pela diferença entre a deformação total e a deformação elástica. O coeficiente de fluência é determinado pela taxa de deformação ao longo do tempo, oferecendo uma medida da estabilidade a longo prazo das ancoragens.

A ferramenta não só elimina a necessidade de intervenção manual, como também reduz o risco de erros humanos, aumentando a confiabilidade dos resultados.

Ainda no módulo de tratamento de dados, é possível encontrar duas tabelas fundamentais na validação da ancoragem, focadas em fatores como o comprimento livre aparente e o coeficiente de fluência.

O comprimento livre aparente depende dos valores da deformação elástica, que, como se observa na Figura 47, cumpre os valores dos limites normativos. Conforme se observa na Figura 48, os valores calculados automaticamente para o comprimento livre aparente estão dentro dos limites especificados pelas normas EN1537 e ISO22477-5,

o que confirma a flexibilidade e a elasticidade necessárias da ancoragem para suportar as cargas aplicadas.

COMPRIMENTO LIVRE MÍNIMO	COMPRIMENTO LIVRE APARENTE	COMPRIMENTO LIVRE MÁXIMO
10,8	14,41553623	15

CARGA	KSPp	LIMITE (mm)
300	0,72	0,8
412,5	0,48	0,8
525	0,34	0,8
600	0,44	0,8
750	0,22	0,8

Fig. 48 - Fatores a ter em conta no módulo de tratamento de dados de um ensaio de receção detalhado da ancoragem A4.14.

Além disso, a análise da segunda tabela referente ao coeficiente de fluência revela que os valores obtidos nos ensaios de receção estão abaixo do limite de 0,8 mm estabelecido nas normas. A observação dos dados na Figura 48 demonstra que o coeficiente de fluência permanece dentro dos parâmetros aceitáveis, assegurando que a ancoragem não sofre deformações excessivas sob condições de carga prolongada. Este aspeto é crucial para garantir a estabilidade e a segurança da ancoragem ao longo do tempo.

Portanto, com base nos valores apresentados e analisados na Figura 48, é possível validar a ancoragem tanto pelo comprimento livre aparente quanto pelo coeficiente de fluência. Estes resultados positivos confirmam que a ancoragem está apta a desempenhar suas funções de maneira segura e eficaz, conforme exigido pelos critérios normativos.

Por fim, procede-se à análise gráfica dos resultados. Este procedimento é de extrema importância, pois permite uma interpretação mais rápida e eficaz dos dados obtidos. A representação gráfica facilita a identificação do comportamento específico da ancoragem sob diferentes condições de carga. Com a análise gráfica, podemos visualizar de maneira clara e imediata a relação entre as variáveis medidas, como a deformação e a carga aplicada, garantindo uma compreensão abrangente do desempenho da ancoragem. Este método não só agiliza o processo de validação, mas também fornece uma ferramenta visual poderosa para a tomada de decisões e para a comunicação dos resultados de maneira precisa e acessível.

A Figura 49, ilustra o gráfico de deformação total da ancoragem durante um ensaio. Este gráfico é essencial para entender o comportamento da ancoragem sob diferentes condições de carga. É construído relacionando o alongamento da ancoragem, medido em milímetros (mm), com a carga aplicada, medida em kN. O gráfico mostra os cinco ciclos de carregamento e descarregamento, permitindo observar a deformação da ancoragem em resposta a variações na carga.

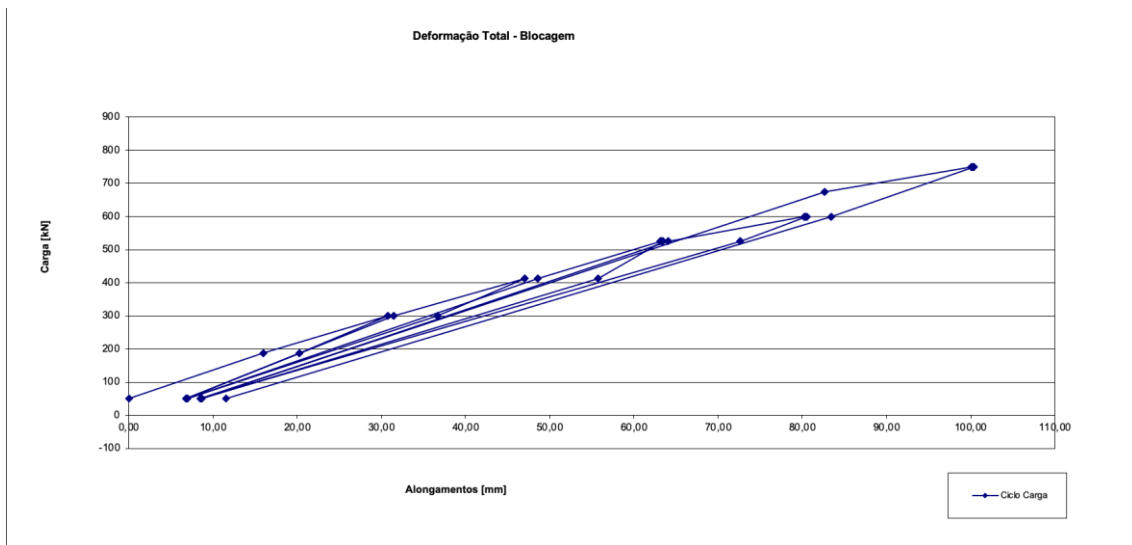


Fig. 49 - Gráfico de deformação total de um ensaio de receção detalhado da ancoragem A4.14.

À medida que a carga aumenta, o gráfico mostra um aumento linear do alongamento, indicando a deformação total. Este comportamento cíclico é fundamental para avaliar a capacidade da ancoragem de suportar cargas repetitivas, essencial para a durabilidade e segurança das estruturas.

Na Figura 50, estão representadas cinco retas associadas às deformações da ancoragem. A reta azul ilustra a deformação plástica, enquanto a reta verde representa a deformação elástica. As outras três retas, traçadas a tracejado, correspondem ao diagrama teórico e aos limites impostos pelas normas.

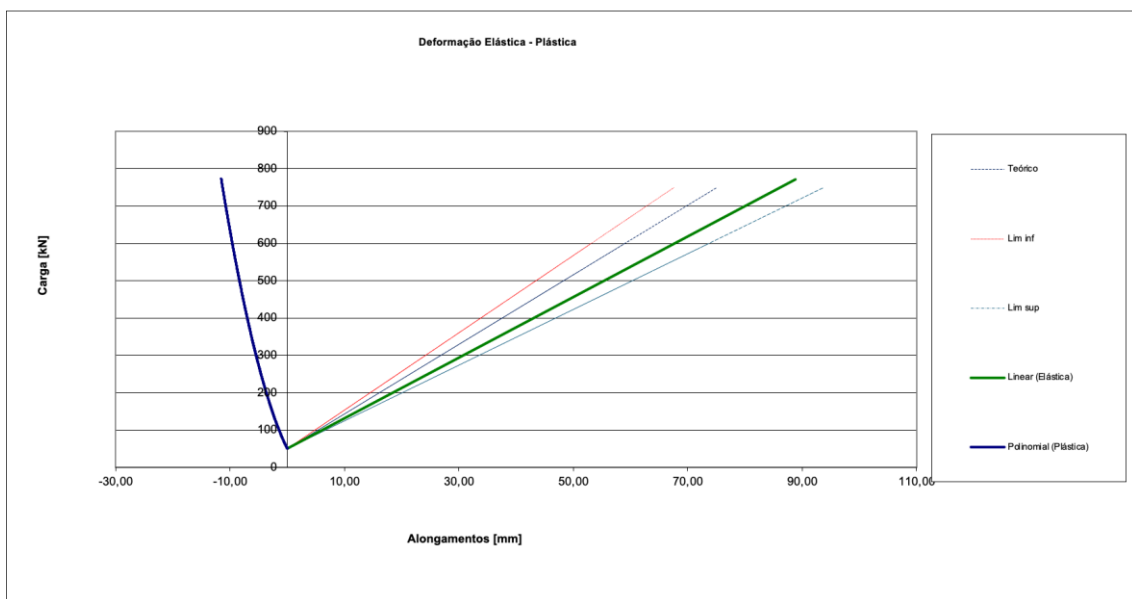


Fig. 50 - Gráfico de deformação elástica e deformação plástica de um ensaio de receção detalhado da ancoragem A4.14.

A observação do gráfico permite uma análise instantânea e eficaz do cumprimento dos limites da deformação elástica. Este gráfico é crucial, pois possibilita verificar se a deformação elástica está dentro dos limites normativos, o que é um indicativo direto de que o comprimento livre aparente também estará conforme as normas. A distinção clara entre as deformações elástica e plástica, bem como a comparação com os limites normativos traçados, proporciona uma compreensão aprofundada do comportamento mecânico da ancoragem. Desta forma, é possível validar com segurança que o comprimento livre aparente e a deformação elástica estão dentro dos parâmetros aceitáveis, garantindo a conformidade com os requisitos de segurança e eficácia operacional.

Finalmente, resta apenas avaliar os valores do coeficiente de fluência para concluir se a ancoragem é válida. Como apresentado na Figura 51, os valores do coeficiente de fluência são oscilantes, mas nunca ultrapassam a linha horizontal que define o limite normativo para um coeficiente de fluência em ensaios de receção. Como foi apresentado previamente, a fluência é uma medida da deformação ao longo do tempo sob uma carga constante, e a sua avaliação é fundamental para garantir que a ancoragem mantenha sua integridade estrutural durante toda a vida útil prevista e para a validação da ancoragem.

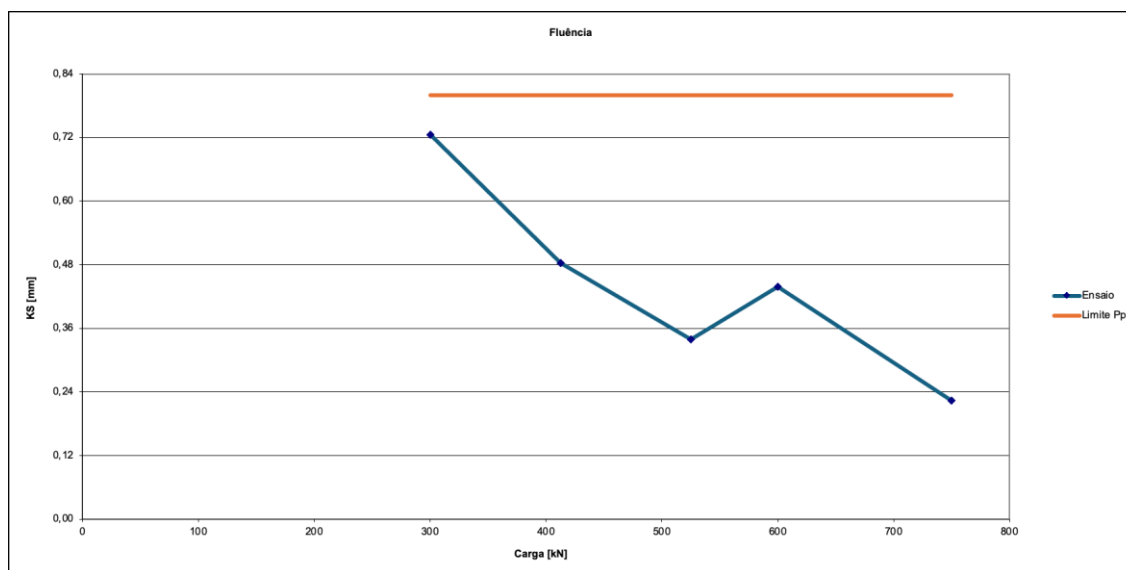


Fig. 51 - Gráfico associado às deformações de fluência.

O gráfico mostra que, apesar das oscilações naturais nos valores de fluência em cada patamar de carga máxima, estes mantêm-se abaixo do limite normativo. Assim, demonstra que a ancoragem tem um desempenho confiável e seguro, essencial para a segurança e a durabilidade das estruturas onde são aplicadas.

A análise gráfica dos valores de fluência é particularmente útil, pois oferece uma visão clara e imediata do comportamento da ancoragem ao longo do tempo. Esta abordagem permite identificar rapidamente qualquer anomalia e atuar instantaneamente, de modo a efetuar a validação da ancoragem.

Em conclusão, a análise detalhada das deformações elásticas, plásticas e do coeficiente de fluência apresentada nas Figuras 50 e 51 fornecem os gráficos essenciais para validar a ancoragem. Esses gráficos permitem uma avaliação rápida e precisa do comprimento dos limites normativos, assegurando que as ancoragens testadas apresentam um desempenho consistente e seguro.

Essas avaliações gráficas, além de facilitarem a interpretação dos resultados, proporcionam uma ferramenta valiosa para a tomada de decisões informadas sobre a aplicação e a manutenção das ancoragens.

Portanto, com base nos resultados obtidos e na análise gráfica apresentada, conclui-se que as ancoragens testadas cumprem os requisitos normativos e são adequadas para uso nas condições específicas avaliadas.

4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Capítulo 4 desta dissertação focou-se na aplicação da ferramenta de tratamento de dados de ensaios de carga em ancoragens a um caso de estudo, onde se objetivava a validação de três ancoragens, através de três tipos de ensaios distintos.

Ao longo do capítulo, diversos parâmetros de desempenho das ancoragens foram cautelosamente analisados, incluindo deformações elásticas e plásticas, coeficiente de fluência e comprimento livre aparente. A avaliação cuidadosa desses parâmetros garantiu que as ancoragens fossem testadas sob condições rigorosas, fornecendo dados precisos sobre sua capacidade de suportar cargas e manter a integridade estrutural.

Um aspecto significativo deste capítulo foi a validação de uma ferramenta que apresenta três módulos principais para a análise dos dados. Esta ferramenta é altamente eficiente, pois simplifica o processo de entrada de dados e minimiza o risco de erros. O módulo de introdução de dados oferece simplicidade na entrada de valores, facilitando o uso da ferramenta e permitindo que os utilizadores introduzam informações de forma rápida e precisa. Os outros dois módulos são configurados para processar automaticamente os dados inseridos no módulo de introdução e gerar gráficos e tabelas de análise, apresentadas ao longo do capítulo. Essa automatização reduz a necessidade de intervenção manual, garantindo que os cálculos e análises sejam realizados de maneira consistente e precisa. Além disso, a divisão entre a introdução de dados e a análise facilita a verificação e a validação dos resultados, assegurando a integridade do processo.

Uma das principais vantagens da ferramenta foi a introdução da análise gráfica, que se provou extremamente eficaz para a visualização e interpretação dos resultados. Os gráficos permitiram uma compreensão imediata e clara do comportamento das ancoragens sob diferentes condições de carga, facilitando a identificação de conformidades e possíveis áreas de melhoria. A capacidade de comparar visualmente os dados medidos com os limites normativos foi crucial para validar a segurança e a funcionalidade das ancoragens.

Cada análise realizada ao longo do capítulo contribui para a compreensão detalhada do desempenho das ancoragens, permitindo a validação das três ancoragens de acordo com três abordagens distintas.

As considerações finais deste caso de estudo destacam a importância da integração de tecnologias avançadas e práticas normativas na execução de ensaios de carga em ancoragens. A aplicação da ferramenta de tratamento de dados desenvolvida proporcionou uma análise mais detalhada e precisa dos resultados, permitindo a identificação de melhorias no processo de instalação das ancoragens. Além disso, o estudo reforça a necessidade de uma abordagem integral que considere tanto os aspectos técnicos quanto os geológicos e geotécnicos. As lições aprendidas neste estudo servirão de base para futuras pesquisas e desenvolvimentos na área de ancoragens.

Em suma, o Capítulo 4 forneceu uma análise detalhada e rigorosa das ancoragens, apoiada numa ferramenta de tratamento de dados que, não só facilitou a validação dos parâmetros, como simplificou o processo de introdução e análise de dados.

Com base nas análises e conclusões apresentadas, pode-se afirmar que as ancoragens avaliadas no Capítulo 4 contribuem para a segurança e para a durabilidade das estruturas onde serão utilizadas.

5

Conclusões

5.1. CONCLUSÕES FINAIS

Esta dissertação abordou como o uso de ferramentas de tratamento de dados automáticas auxilia o processo de validação de um ensaio de carga em ancoragens, tendo como cenário de aplicação uma estrutura de contenção realizada nas obras de requalificação do antigo Quartel de S. Brás, no Porto.

Os principais objetivos desta dissertação foram o desenvolvimento e aplicação de uma ferramenta de tratamento de dados. Para atingir esses objetivos, foi realizada uma análise detalhada da constituição da ancoragem, dos procedimentos de ensaio e da aplicação de um caso de estudo, que se apoiou no uso de ferramentas de tratamento de dados para facilitar a interpretação dos resultados e assegurar a precisão das análises.

Uma das principais vantagens desta dissertação foi a criação de uma ferramenta de análise desenvolvida. É constituída por três módulos principais, estando a interação manual limitada a apenas um deles e correspondente à introdução dos dados de ensaio. A ferramenta é bastante detalhada, sendo distinta para cada tipo de ensaio e cada método utilizado na realização deste. Foi desenvolvida segundo os valores normativos, o que permite a segurança no tratamento de resultados do ensaio e está preparada de modo a facilitar o seu uso e diminuir a intervenção manual, evitando possíveis erros. Esta abordagem simplificou o processo de entrada de dados, minimizou erros e melhorou a eficiência das análises, proporcionando uma visualização clara e imediata dos resultados.

A ferramenta de análise desenvolvida neste estudo comprova que, através da introdução manual dos dados, é possível obter resultados precisos para avaliar a ancoragem. Esta ferramenta oferece uma série de benefícios, incluindo:

- **Facilidade de Uso:** a simplicidade da ferramenta permite que engenheiros e técnicos possam utilizá-la com mínima necessidade de treino especializado, tornando-a acessível para variados de utilizadores.
- **Precisão e Confiabilidade:** a ferramenta foi testada e validada com base nos ensaios realizados, garantindo que os resultados obtidos são precisos e refletem o desempenho real das ancoragens.
- **Rapidez na Análise:** a capacidade de obter resultados em tempo real facilita a tomada de decisões rápidas no campo, permitindo ajustes imediatos, se necessário.
- **Aplicabilidade em Diversos Cenários:** a ferramenta pode ser aplicada em diferentes tipos de projetos e condições de solo, proporcionando uma solução versátil para a avaliação de ancoragens.

Em resumo, a combinação de ensaios de carga e ferramentas de análise eficientes assegura que as ancoragens atendam aos padrões de desempenho exigidos, proporcionando confiança e segurança nas obras de engenharia civil. Este estudo reforça a importância de procedimentos de ensaio bem estruturados e ferramentas analíticas robustas para a validação de ancoragens e outras componentes estruturais críticas.

A eficácia da análise gráfica foi uma vantagem significativa, permitindo uma avaliação rápida e precisa dos dados. Esta ferramenta facilitou a validação dos parâmetros de desempenho e aprimorou a comunicação dos resultados, tornando o processo mais compreensível.

A ferramenta de análise gráfica, com a sua capacidade de simplificar a entrada de dados e automatizar a geração de resultados, mostrou-se fundamental para o sucesso deste estudo. A sua aplicação em projetos futuros de validação de ensaios de carga em ancoragens pode continuar a proporcionar ganhos em eficiência e precisão.

Em conclusão, esta dissertação destacou a importância de ferramentas analíticas avançadas para o desenvolvimento e implementação de soluções eficazes e confiáveis em engenharia civil, nomeadamente nos trabalhos correntes da empresa ACAGeo. O trabalho aqui apresentado pavimenta o caminho para novas pesquisas e inovações, garantindo que as ancoragens continuem a evoluir e a oferecer suporte robusto e seguro para as estruturas modernas.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Ao realizar esta dissertação, foram surgindo possibilidades de melhoramento da ferramenta apresentada. A dissertação demonstra a eficácia das ferramentas de análise gráfica, que simplificam a entrada de dados e automatizam a geração de resultados.

Dado que esta ferramenta é baseada em documentos normativos, que podem ser atualizados no futuro, é importante destacar que a sua estruturação permite a fácil implementação de eventuais alterações caso os pressupostos normativos sejam modificados. A flexibilidade do design da ferramenta garante que esta permaneça atualizada e em conformidade com as normas mais recentes sem grandes dificuldades.

Além disso, propõe-se a investigação da integração automática entre a folha de introdução de dados e os registos dos ensaios. Para atingir esse objetivo, a recolha de dados durante os ensaios deve ser realizada de forma digital. Essa abordagem não só aumentará a precisão e a eficiência na recolha de dados, como também permitirá a análise em tempo real e a criação automática de relatórios.

Bibliografia

- Bodas Santa, V. (2010). *Controlo de Qualidade de Ancoragens Passivas e Activas*. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico. Lisboa, Portugal.
- Bowles, J. (1995). *Foundation Analysis and Design (5th ed.)*. McGraw-Hill, New York, EUA.
- Briaud, J-L. (1998). *Should Grouted Anchors Have Short Tendon Bond Length?* Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 124(2).
- Bruce, D.A., & Yeung, C.C. (1984). *Field Testing of Rock Anchors*. Rock Mechanics and Rock Engineering,
- BS8081 (2015). *Code of Practice for Grouted Anchors*. British Standards Institution, London, UK.
- CFEM (2006). *Canadian Foundation Engineering Manual*, 4th Edition. Canadian Geotechnical Society, Richmond, BC, Canada.
- COPAS (1989). *Code of Practice: Lateral Support in Surface Excavations*. South African Institution of Civil Engineers, Geotechnical Division, South Africa.
- EN1537 (2016). *Execution of Special Geotechnical Works - Ground Anchors*. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- ENGGEIO (2020). *Relatório Geológico-Geotécnico*. Quartel de S. Brás. Imperialwhite - Sociedade de Promoção e Construção Imobiliária, Lda, Porto, Portugal.
- ENGGEIO (2019). *Relatório Geológico-Geotécnico*. Quartel de S. Brás. Imperialwhite - Sociedade de Promoção e Construção Imobiliária, Lda, Porto, Portugal.
- EC7 (2010). *Eurocode 7 - Geotechnical Design, Part 1*. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Ferreira da Cruz, M.R. (2017). *Soluções de Escavação e Contenção Periférica para Ampliação do Hospital da CUF Descobertas, em Lisboa*. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico. Lisboa, Portugal.
- Finno, R. J. (1998). *Design and Construction of Anchored Earth Retaining Systems*. U.S. Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- ISO 22477-5 (2018). *Geotechnical Investigation and Testing - Testing of Geotechnical Structures*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Matos Fernandes, M. (2020). *Analysis and Design of Geotechnical Structures*. CRC Press.
- AdFGeo (2023) -*Memória Descritiva e Justificativa. Instrumentação e Monitorização do Projeto Quartel S. Brás Complex*.
- Mothersille, D. K.V. (2018). *The New Grouted Anchor Testing Standard EN ISO 22477-5:2018*.
- PTI - Post-Tensioning Institute. (1996). *Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors*. Post-Tensioning Institute, Farmington Hills, MI, EUA.

Porto Canal., (2023). *Quartel de S. Brás no Porto Dá Lugar a Hotel de Quatro Estrelas*. Disponível em WWW: <URL: <https://portocanal.sapo.pt/noticia/340722>>.

Rodrigues de Carvalho, M. A. (2009). *Análise de Desempenho de Ancoragens Definitivas*. Dissertação de Mestrado. FEUP. Porto, Portugal.

Rodrigues de Carvalho, M. A. (2011). *Dimensionamento de Ancoragens*. LNEC, Lisboa, Portugal.

Sabatini, P.J., Pass, D.G., & Bachus, R.C. (1999). *Geotechnical Engineering Circular No. 4: Ground Anchors and Anchored Systems*. Federal Highway Administration, Washington, D.C.

New Zealand Geotechnical Society, (2023). *Ground Anchors: Design and Construction Guideline*.

TAP (2024). *Certificado de Calibração do macaco hidráulico*. TAP Maintenance & Engineering.

Geotech.hr, (2023) *Testing of Ground Anchors*. Disponível em WWW: <URL: <https://www.geotech.hr/en/testing-of-ground-anchors>>.

Xanthakos, P. P. (1991). *Ground Anchors and Anchored Structures*. Wiley-Interscience, New York, NY.

ANEXO A

ENSAIO PRÉVIO – MÉTODO 1

ACAGEO GEOTECNIA & FUNDAÇÕES ESPECIAIS	BOLETIM DE REGISTO DE ENSAIO PRÉVIO						EP	
							DATA EDIÇÃO 31/07/24	

ANCORAGEM Nº: DATA:

COMPRIMENTO TOTAL (lt): 0 m
 COMPRIMENTO LIVRE (ll): m
 COMPRIMENTO SELAGEM (ls): m
 ARMADURA: Ø mm
 SECÇÃO DE AÇO (AS): mm²

TENSÃO 0 DE ENSAIO (Pa): 0 kN
 TENSÃO ÚTIL (P): kN
 TENSÃO DE ENSAIO (Pp): 0 kN
 TENSÃO DE BLOCAGEM (Po): kN
 MÓDULO ELASTICIDADE (E): kN/mm²

Nº	CARGA			TEMPO min	LEITURAS / VARIAÇÕES		DESLOCAMENTOS (mm)		
	Pp	KN	BAR		KN	BAR	Ancoragem	Muro	Total
0	Pa	0,0	3	0					0,00
1	0,25 x Pp	0,0	3	0					0,00
2	0,40 x Pp	0,0	3	1					0,00
				0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				5					0,00
3	0,25 x Pp	0,0	3	10					0,00
				15					0,00
				0					0,00
				1					0,00
4	Pa	0,0	3	0					0,00
5	0,40 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
6	0,55 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				5					0,00
				10					0,00
7	0,40 x Pp	0,0	3	15					0,00
				0					0,00
				1					0,00
				0					0,00
8	Pa	0,0	3	0					0,00
9	0,55 x Pp	0,0	3	1					0,00
				0					0,00
10	0,70 x Pp	0,0	3	1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				5					0,00
				10					0,00
				15					0,00
				20					0,00
				30					0,00
11	0,55 x Pp	0,0	3	0					0,00
12	Pa	0,0	3	1					0,00
				0					0,00
13	0,70 x Pp	0,0	3	1					0,00
				0					0,00
14	0,80 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				5					0,00
				10					0,00
				15					0,00
				20					0,00
				30					0,00
									0,00

ACAGEO GEOTECNIA & FUNDAÇÕES ESPECIAIS	BOLETIM DE REGISTO DE ENSAIO PRÉVIO	EP
	0	DATA EDIÇÃO 31/07/24

ANCORAGEM Nº: 0

DATA: 00/01/00

Ponto de aplicação da carga	CARGA			TEMPO min	LEITURAS / VARIAÇÕES		DESLOCAMENTOS (mm)		
	Pp	KN	BAR		KN	BAR	Ancoragem	Muro	Total
15	0,70 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
16	Pa	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
17	0,80 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
18	0,90 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				5					0,00
				10					0,00
				15					0,00
				20					0,00
				30					0,00
				0					0,00
19	0,80 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
20	Pa	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
21	0,90 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
22	1 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				5					0,00
				10					0,00
				15					0,00
				20					0,00
				30					0,00
				45					0,00
23	0,90 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
24	0,80 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
25	0,70 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
26	0,55 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
27	0,40 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
28	Pa	0,0	3	0					0,00

EQUIPAMENTO: _____

OBSERVAÇÕES: _____

ACA, S.A.	FISCALIZAÇÃO	CLIENTE
-----------	--------------	---------

ENSAIO PRÉVIO – MÉTODO 2

ACAGEO		BOLETIM DE REGISTO DE ENSAIO PRÉVIO						EP	
GEOTECNIA & FUNDAÇÕES ESPECIAIS								DATA EDIÇÃO	
								31/07/24	
ANCORAGEM Nº:		DATA:							
COMPRIMENTO TOTAL (lt):		TENSÃO 0 DE ENSAIO (Pa):						0 kN	
COMPRIMENTO LIVRE (li):		TENSÃO ÚTIL (P):						0 kN	
COMPRIMENTO SELAGEM (ls):		TENSÃO DE ENSAIO (Pp):						0 kN	
ARMADURA		TENSÃO DE BLOCAGEM (Po):						0 kN	
SECÇÃO DE AÇO (AS)		MÓDULO ELASTICIDADE (E):						kN/mm ²	

PZ (mm)	CARGA			TEMPO min	LEITURAS / VARIAÇÕES		DESLOCAMENTOS (mm)		
	Pp	KN	BAR		KN	BAR	Ancoragem	Muro	Total
0	Pa	0,0	3	0					0,00
1	0,20 x Pp	0,0	3	0					0,00
2	0,30 x Pp	0,0	3	0					0,00
3	0,40 x Pp	0,0	3	0					0,00
4	0,30 x Pp	0,0	3	0					0,00
5	0,20 x Pp	0,0	3	0					0,00
6	Pa	0,0	3	0					0,00
7	0,30 x Pp	0,0	3	0					0,00
8	0,40 x Pp	0,0	3	0					0,00
9	0,50 x Pp	0,0	3	0					0,00
10	0,40 x Pp	0,0	3	0					0,00
11	0,30 x Pp	0,0	3	0					0,00
12	Pa	0,0	3	0					0,00
13	0,40 x Pp	0,0	3	0					0,00
14	0,55 x Pp	0,0	3	0					0,00
15	0,70 x Pp	0,0	3	0					0,00
16	0,55 x Pp	0,0	3	0					0,00
17	0,40 x Pp	0,0	3	0					0,00
18	Pa	0,0	3	0					0,00
19	0,40 x Pp	0,0	3	0					0,00
20	0,70 x Pp	0,0	3	0					0,00
21	0,80 x Pp	0,0	3	0					0,00
22	0,70 x Pp	0,0	3	0					0,00
23	0,40 x Pp	0,0	3	0					0,00
24	Pa	0,0	3	0					0,00

ACAGEO GEOTECNIA & FUNDAÇÕES ESPECIAIS	BOLETIM DE REGISTO DE ENSAIO PRÉVIO	EP
	0	DATA EDIÇÃO 26/06/24

ANCORAGEM Nº: 0

DATA: 00/01/00

Nº Pórtico	CARGA			TEMPO	LEITURAS / VARIAÇÕES		DESLOCAMENTOS (mm)		Total
	Pp	KN	BAR	min	KN	BAR	Ancoragem	Muro	
25	0,40 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
26	0,80 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
27	0,90 x Pp	0,0	3	0					0,00
				5					0,00
				15					0,00
28	0,80 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
29	0,40 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
30	Pa	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
31	0,40 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
32	0,90 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
33	1,00 x Pp	0,0	3	0					0,00
				5					0,00
				15					0,00
34	0,90 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
35	0,40 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
36	Pa	0,0	3	0					0,00

EQUIPAMENTO: _____

OBSERVAÇÕES: _____

ACA, S.A.	FISCALIZAÇÃO	CLIENTE
-----------	--------------	---------

ENSAIO PRÉVIO – MÉTODO 3

ACAGEO
GEOTECNIA & FUNDAÇÕES ESPECIAIS

BOLETIM DE REGISTO DE ENSAIO PRÉVIO

EP

DATA EDIÇÃO
31/07/24

ANCORAGEM Nº:

DATA:

COMPRIMENTO TOTAL (lt): 0 m

COMPRIMENTO LIVRE (ll): m

COMPRIMENTO SELAGEM (ls): m

ARMADURA Ø

SECÇÃO DE AÇO (AS) 0

TENSÃO 0 DE ENSAIO (Pa): 0 kN

TENSÃO ÚTIL (P): kN

TENSÃO DE ENSAIO (Pp): 0 kN

TENSÃO DE BLOCAGEM (Po): kN

MÓDULO ELASTICIDADE (E): kN/mm²

6	0,80 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				4					0,00
				5					0,00
				7					0,00
				10					0,00
				15					0,00
				20					0,00
				30					0,00
				45					0,00
				60					0,00
				0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
7	0,90 x Pp	0,0	3	3					0,00
				4					0,00
				5					0,00
				7					0,00
				10					0,00
				15					0,00
				20					0,00
				30					0,00
				45					0,00
				60					0,00
				0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				4					0,00
				5					0,00
8	1,00 x Pp	0,0	3	7					0,00
				10					0,00
				15					0,00
				20					0,00
				30					0,00
				45					0,00
				60					0,00
				0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				4					0,00
				5					0,00
				7					0,00
				10					0,00
				15					0,00
9	0,75 x Pp	0,0	3	20					0,00
				30					0,00
10	0,50 x Pp	0,0	3	45					0,00
				60					0,00
11	0,25 x Pp	0,0	3	0					0,00
				1					0,00
12	Pa	0,0	3	0					0,00
				1					0,00

EQUIPAMENTO: _____

OBSERVAÇÕES: _____

ACA, S.A.	FISCALIZAÇÃO	CLIENTE
-----------	--------------	---------

ENSAIO DE ADEQUABILIDADE – MÉTODO 1

ACAGEO

GEOTECNIA & FUNDAÇÕES ESPECIAIS

BOLETIM DE REGISTO DE ENSAIO DE ADEQUABILIDADE

EA

DATA EDIÇÃO

31/07/24

ANCORAGEM Nº:

DATA:

COMPRIMENTO TOTAL (lt):

0 m

TENSÃO 0 DE ENSAIO (Pa):

0 kN

COMPRIMENTO LIVRE (lf):

m

TENSÃO ÚTIL (P):

kN

COMPRIMENTO SELAGEM (ls):

m

TENSÃO DE ENSAIO (Pp):

0 kN

ARMADURA

Ø

TENSÃO DE BLOCAGEM (Pb):

kN

SECÇÃO DE AÇO (AS)

0

MÓDULO ELASTICIDADE (E):

kN/mm²

Nº	CARGA			TEMPO min	LEITURAS / VARIAÇÕES		DESLOCAMENTOS (mm)		
	Pp	KN	BAR		KN	BAR	Ancoragem	Muro	Total
0	Pa	0,0	#N/D	0					0,00
1	0,25 x Pp	0	#N/D	0					0,00
2	0,4 x Pp	0	#N/D	1					0,00
				0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				5					0,00
3	0,25 x Pp	0	#N/D	10					0,00
				15					0,00
				0					0,00
				1					0,00
4	Pa	0	#N/D	0					0,00
5	0,40 x Pp	0	#N/D	0					0,00
6	0,55 x Pp	0	#N/D	0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				5					0,00
				10					0,00
7	0,40 x Pp	0	#N/D	15					0,00
				0					0,00
				1					0,00
				0					0,00
8	Pa	0	#N/D	0					0,00
9	0,55 x Pp	0	#N/D	1					0,00
10	0,70 x Pp	0	#N/D	0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				5					0,00
				10					0,00
11	0,55 x Pp	0	#N/D	15					0,00
				30					0,00
				0					0,00
				1					0,00
12	Pa	0	#N/D	0					0,00
13	0,70 x Pp	0	#N/D	1					0,00
14	0,85 x Pp	0	#N/D	0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				5					0,00
				10					0,00
15	0,70 x Pp	0	#N/D	15					0,00
				30					0,00
				0					0,00
				1					0,00
16	Pa	0	#N/D	0					0,00
17	0,85 x Pp	0	#N/D	1					0,00
18	1,00 x Pp	0	#N/D	0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				5					0,00
				10					0,00
19	0,85 x Pp	0	#N/D	15					0,00
				20					0,00
				30					0,00
				45					0,00
20	0,70 x Pp	0	#N/D	60					0,00
21	0,55 x Pp	0	#N/D	0					0,00
22	0,40 x Pp	0	#N/D	1					0,00
23	Pa	0	#N/D	0					0,00

EQUIPAMENTO:

OBSERVAÇÕES:

ACAGEO

FISCALIZAÇÃO

CLIENTE

ENSAIO DE ADEQUABILIDADE – MÉTODO 2

ACAGEO GEOTECNIA & FUNDAÇÕES ESPECIAIS	BOLETIM DE REGISTO DE ENSAIO DE ADEQUABILIDADE	EA
		DATA EDIÇÃO 31/07/24

ANCORAGEM Nº: _____

DATA: _____

COMPRIMENTO TOTAL (lt): _____ 0 m
 COMPRIMENTO LIVRE (ll): _____ m
 COMPRIMENTO SELAGEM (ls): _____ m
 ARMADURA _____ Ø _____
 SECÇÃO DE AÇO (AS) _____

TENSÃO 0 DE ENSAIO (Pa): _____ 0 kN
 TENSÃO ÚTIL (P): _____ kN
 TENSÃO DE ENSAIO (Pp): _____ 0 kN
 TENSÃO DE BLOCAGEM (Po): _____ kN
 MÓDULO ELASTICIDADE (E): _____ kN/mm²

Nº	CARGA			TEMPO min	LEITURAS / VARIAÇÕES		DESLOCAMENTOS (mm)		Total
	Pp Pa	KN	BAR		KN	BAR	Ancoragem	Muro	
0		0,0	#N/D	0					0,00
1	0,40 x Pp	0	#N/D	0					0,00
2	0,8 x Pp	0	#N/D	0					0,00
3	1,00 x Pp	0	#N/D	0					0,00
4	0,8 x Pp	0	#N/D	0					0,00
5	0,40 x Pp	0	#N/D	0					0,00
6	Pa	0	#N/D	0					0,00
7	0,40 x Pp	0	#N/D	0					0,00
8	0,80 x Pp	0	#N/D	0					0,00
9	1,00 x Pp	0	#N/D	0					0,00
10	0,80 x Pp	0	#N/D	0					0,00
11	0,40 x Pp	0	#N/D	0					0,00
12	Pa	0	#N/D	0					0,00
13	0,40 x Pp	0	#N/D	0					0,00
14	0,80 x Pp	0	#N/D	0					0,00
15	1,00 x Pp	0	#N/D	0					0,00
16	0,80 x Pp	0	#N/D	0					0,00
17	0,40 x Pp	0	#N/D	0					0,00
18	Pa	60	22	0					0,00

EQUIPAMENTO: _____

OBSERVAÇÕES: _____

ACAGEO	FISCALIZAÇÃO	CLIENTE
--------	--------------	---------

ENSAIO DE ADEQUABILIDADE – MÉTODO 3

ACAGEO		BOLETIM DE REGISTO DE ENSAIO ADEQUABILIDADE				EA	
GEOTECNIA & FUNDAÇÕES ESPECIAIS						DATA EMISSÃO	
						31/07/24	
ANCORAGEM Nº: _____		DATA: _____					
COMPRIMENTO TOTAL (lt): _____ m		TENSÃO 0 DE ENSAIO (Pa): _____ kN					
COMPRIMENTO LIVRE (lt): _____ m		TENSÃO ÚTIL (P): _____ kN					
COMPRIMENTO SELAGEM (ls): _____ m		TENSÃO DE ENSAIO (Pa): _____ kN					
ARMADURA Ø _____		TENSÃO DE BLOCAGEM (Pa): _____ kN					
SEÇÃO DE AÇO (AS) _____		MÓDULO ELASTICIDADE (E): _____ kN/mm ²					

Nº	CARGA			TEMPO min	LEITURAS / VARIAÇÕES		DESLOCAMENTOS (mm)		
	Pp	KN	BAR		KN	BAR	Ancoragem	Muro	Total
0	Pa	0,0	#N/D	0					0,00
1	0,25 x Pp	0,0	#N/D	0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				4					0,00
				5					0,00
				7					0,00
				10					0,00
				15					0,00
				20					0,00
				30					0,00
2	0,4 x Pp	0,0	#N/D	45					0,00
				60					0,00
				0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				4					0,00
				5					0,00
				7					0,00
				10					0,00
				15					0,00
3	0,55 x Pp	0,0	#N/D	20					0,00
				30					0,00
				45					0,00
				60					0,00
				0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				4					0,00
				5					0,00
				7					0,00
4	0,7 x Pp	0,0	#N/D	10					0,00
				15					0,00
				20					0,00
				30					0,00
				45					0,00
				60					0,00
				0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				4					0,00
5	0,85 x Pp	0,0	#N/D	5					0,00
				7					0,00
				10					0,00
				15					0,00
				20					0,00
				30					0,00
				45					0,00
				60					0,00
				0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
6	1,00 x Pp	0,0	#N/D	3					0,00
				4					0,00
				5					0,00
				7					0,00
				10					0,00
				15					0,00
				20					0,00
				30					0,00
				45					0,00
				60					0,00
				0					0,00
7	0,75 x Pp	0	#N/D	0					0,00
				1					0,00
8	0,50 x Pp	0	#N/D	0					0,00
				1					0,00
9	0,25 x Pp	0	#N/D	0					0,00
				1					0,00
10	Pa	0	#N/D	0					0,00
				1					0,00

EQUIPAMENTO: _____

OBSERVAÇÕES: _____

ACAGEO FISCALIZAÇÃO CLIENTE

ENSAIOS DE RECEÇÃO – MÉTODO 1

ACAGEO GEOTECNIA & FUNDAÇÕES ESPECIAIS	BOLETIM DE REGISTO DE ENSAIO RECEPÇÃO DETALHADO	ERD
		DATA EDIÇÃO 31/07/24

ANCORAGEM Nº: _____

DATA: _____

COMPRIMENTO TOTAL (lt): _____ 0 m
 COMPRIMENTO LIVRE (ll): _____ m
 COMPRIMENTO SELAGEM (ls): _____ m
 ARMADURA _____ Ø _____ "
 SECÇÃO DE AÇO (AS) _____ 0

TENSÃO 0 DE ENSAIO (Pa): _____ 0 kN
 TENSÃO ÚTIL (P): _____ kN
 TENSÃO DE ENSAIO (Pp): _____ 0 kN
 TENSÃO DE BLOCAGEM (Po): _____ kN
 MÓDULO ELASTICIDADE (E): _____ kN/mm²

PARAMETROS	CARGA			TEMPO	LEITURAS / VARIAÇÕES		DESLOCAMENTOS (mm)		
	Pp	KN	BAR	min	KN	BAR	Ancoragem	Muro	Total
0	Pa	0,0	-4	0					0,00
1	0,25 x Pp	0,0	-4	0					0,00
				1					0,00
2	0,40 x Pp	0,0	-4	0					0,00
				1					0,00
3	0,55 x Pp	0,0	-4	0					0,00
				1					0,00
4	0,70 x Pp	0,0	-4	0					0,00
				1					0,00
5	0,85 x Pp	0,0	-4	0					0,00
				1					0,00
6	1 x Pp	0,0	-4	0					0,00
				1					0,00
				2					0,00
				3					0,00
				5					0,00
				10					0,00
				15					0,00
7	0,85 x Pp	0,0	-4	0					0,00
				1					0,00
8	0,70 x Pp	0,0	-4	0					0,00
				1					0,00
9	0,55 x Pp	0,0	-4	0					0,00
				1					0,00
10	0,40 x Pp	0,0	-4	0					0,00
				1					0,00
11	0,25 x Pp	0,0	-4	0					0,00
				1					0,00
12	Pa	0,0	-4	0					0,00
				1					0,00
13	0 x Pp	0,0	-4	0					0,00
				1					0,00
14	Po	0,0	-4	0					0,00
				1					0,00

EQUIPAMENTO: _____

OBSERVAÇÕES: _____

ACAGEO	FISCALIZAÇÃO	CLIENTE
--------	--------------	---------

ENSAIOS DE RECEÇÃO – MÉTODO 2

ACAGEO		BOLETIM DE REGISTO DE ENSAIO RECEÇÃO DETALHADO				ERD	
GEOTECNIA & FUNDAÇÕES ESPECIAIS						DATA EDIÇÃO 28/05/24	

ANCORAGEM Nº: _____ DATA: _____

COMPIMENTO TOTAL (lt): _____ 0 m
COMPIMENTO LIVRE (lt): _____ m
COMPIMENTO SELAGEM (ls): _____ m
ARMADURA _____ Ø _____ m
SECÇÃO DE AÇO (AS) _____ 0

TENSÃO 0 DE ENSAIO (Pa): _____ 0 kN
TENSÃO ÚTIL (P): _____ kN
TENSÃO DE ENSAIO (Pp): _____ 0 kN
TENSÃO DE BLOCAGEM (Po): _____ kN
MÓDULO ELASTICIDADE (E): _____ kN/mm²

PAC/MS	CARGA			TEMPO min	LEITURAS / VARIAÇÕES		DESLOCAMENTOS (mm)		
	Pp	KN	BAR		KN	BAR	Ancoragem	Muro	Total
0	Pa	0	-4	0					0,00
				1					0,00
1	0,4 x Pp	0	-4	0					0,00
				1					0,00
2	0,8 x Pp	0	-4	0					0,00
				1					0,00
3	1 x Pp	0	-4	0					0,00
				5					0,00
				15					0,00
				0					0,00
4	0,8 x Pp	0	-4	1					0,00
				0					0,00
5	0,4 x Pp	0	-4	1					0,00
				0					0,00
6	Pa	0	-4	1					0,00
				0					0,00
7	Pa	0	-4	1					0,00
				0					0,00
8	0,4 x Pp	0	-4	0					0,00
				1					0,00
9	0,8 x Pp	0	-4	0					0,00
				1					0,00
10	1 x Pp	0	-4	0					0,00
				5					0,00
				15					0,00
				0					0,00
11	0,8 x Pp	0	-4	0					0,00
				1					0,00
12	0,4 x Pp	0	-4	0					0,00
				1					0,00
13	Pa	0	-4	0					0,00
				1					0,00

EQUIPAMENTO: _____

OBSERVAÇÕES: _____

ACAGEO	FISCALIZAÇÃO	CLIENTE
--------	--------------	---------

ENSAIOS DE RECEÇÃO – MÉTODO 3

ACAGEO		BOLETIM DE REGISTO DE ENSAIO RECEÇÃO DETALHADO						ERD	
GEOTECNIA & FUNDAÇÕES ESPECIAIS								DATA EDIÇÃO	
								31/07/24	
ANCORAGEM Nº: _____		DATA: _____							
COMPRIMENTO TOTAL (lt): _____ m		TENSÃO 0 DE ENSAIO (Pa): _____ kN							
COMPRIMENTO LIVRE (lt): _____ m		TENSÃO ÚTIL (Pu): _____ kN							
COMPRIMENTO SELAGEM (ls): _____ m		TENSÃO DE ENSAIO (Pp): _____ kN							
ARMADURA Ø _____		TENSÃO DE BLOCAGEM (Po): _____ kN							
SECÇÃO DE AÇO (AS) _____		MÓDULO ELASTICIDADE (E): _____ kN/mm ²							

FOLHA	Pp	CARGA			TEMPO min	LEITURAS / VARIAÇÕES		DESLOCAMENTOS (mm)		
		KN	BAR			KN	BAR	Ancoragem	Muro	Total
0	Pp	0	-4	0	0					0
1	0,3 x Pp	0	-4	0						0
				1						0
				2						0
				3						0
				4						0
				5						0
2	0,5 x Pp	0	-4	0						0
				1						0
				2						0
				3						0
				4						0
				5						0
3	0,7 x Pp	0	-4	0						0
				1						0
				2						0
				3						0
				4						0
				5						0
4	0,9 x Pp	0	-4	0						0
				1						0
				2						0
				3						0
				4						0
				5						0
5	1,0 x Pp	0	-4	0						0
				1						0
				2						0
				3						0
				4						0
				5						0
6	0,9 x Pp	0	-4	0						0
				1						0
				2						0
				3						0
				4						0
				5						0
7	0,8 x Pp	0	-4	0						0
				1						0
				2						0
				3						0
				4						0
				5						0
8	0,7 x Pp	0	-4	0						0
				1						0
				2						0
				3						0
				4						0
				5						0
9	0,8 x Pp	0	-4	0						0
				1						0
				2						0
				3						0
				4						0
				5						0
10	0,9 x Pp	0	-4	0						0
				1						0
				2						0
				3						0
				4						0
				5						0
11	1 x Pp	0	-4	0						0
				1						0
				2						0
				3						0
				4						0
				5						0

EQUIPAMENTO: _____

OBSERVAÇÕES: _____

ACAGEO	FISCALIZAÇÃO	CLIENTE
--------	--------------	---------

