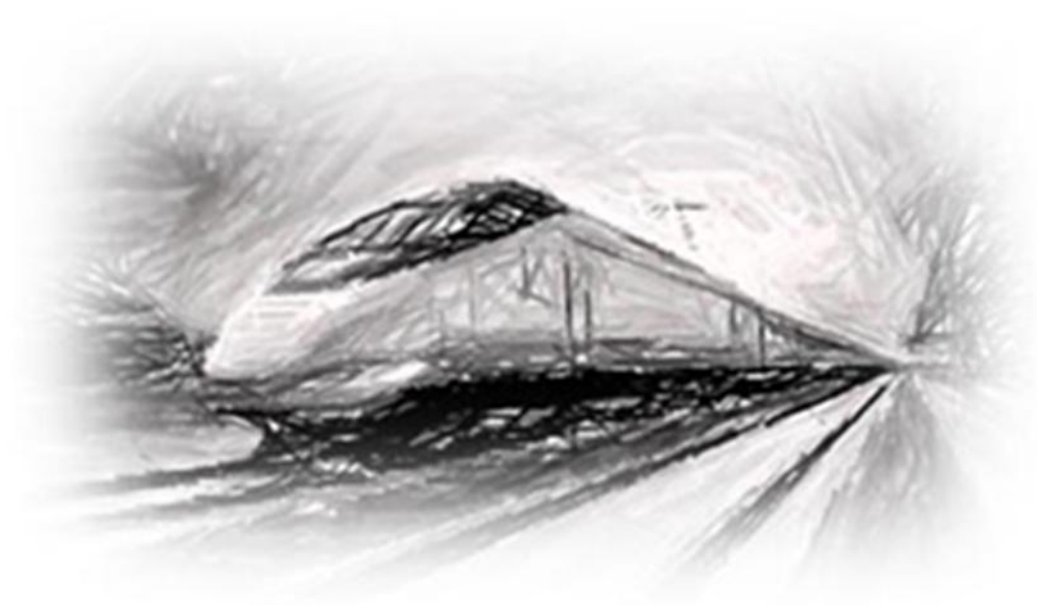


**LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE
PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA
TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ
SUBTROÇO A5 – KM 69+563 AO KM 71+030**



**PROJETO DE EXECUÇÃO
V01 – INFRA-ESTRUTURA E PLATAFORMA DE VIA FÉRREA
Tomo 01.07– GEOLOGIA E GEOTECNIA**

Memória Descritiva e Justificativa

Controlo de Assinaturas

Realizado	Revisto	Aprovado Coordenador Projeto
Carmina Costa Mariana Batista Patrícia Vieira Raquel Pais Ricardo Sousa	Raquel Pais	António Campos e Matos
14-08-2025	14-08-2025	14-08-2025
Data e Assinatura	Data e Assinatura	Data e Assinatura

Não necessita de assinatura se aprovado eletronicamente

Informação Adicional	Informação do Documento	
O Gestor de Projeto -	Código Documento PF102A5.PR.01.07.00.00.MDJ.01	
O Responsável Unidade -	Revisão 00	Data 30-04-2026
O Responsável Departamento -	Código Projetista -	
O Diretor -	Nome do Ficheiro PF102A5.PR.01.07.00.00.MDJ.01	

Registo de Alterações

Rev	Data	Autor	Secção Afetada	Alterações
00	14-08-2025	Vários	Edição inicial	-----
01	30-04-2026	Vários	Revisão Geral	-----

LINHA FERROVIÁRIA DE ALTA VELOCIDADE ENTRE PORTO (CAMPANHÃ) E LISBOA**TROÇO PORTO (CAMPANHÃ) A OIÃ****SUBTROÇO A5 – KM 69+563 AO KM 71+030****PROJETO DE EXECUÇÃO****V01 – INFRA-ESTRUTURA E PLATAFORMA DE VIA FÉRREA****TOMO 01.07– GEOLOGIA E GEOTECNIA****MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA****ÍNDICE**

1	INTRODUÇÃO	1
2	ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO	2
2.1	Enquadramento Geográfico.....	3
2.2	Geomorfologia.....	4
2.3	Litologia e estratigrafia	5
2.4	Hidrogeologia	6
2.5	Climatologia.....	8
2.5.1	Temperatura.....	9
2.5.2	Humidade	10
2.5.3	Radiação Solar.....	11
2.5.4	Vento	11
2.6	Tectónica	13
2.7	Sismicidade	15
3	RECONHECIMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE	17
4	PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA E ENSAIOS	18
4.1	Considerações gerais.....	18
4.2	Prospecção geotécnica de fases anteriores	18
4.2.1	Sondagens mecânicas e ensaios SPT	19
4.2.2	Poços de reconhecimento	27
4.2.3	Ensaio DPSH	27
4.2.4	Ensaio PDL	27
4.2.5	Perfis sísmicos	28
4.2.6	Ensaio laboratoriais.....	28
4.3	Prospecção geotécnica existente	28

4.3.1	Sondagens mecânicas e ensaios SPT	29
4.3.2	Poços de reconhecimento	32
4.3.3	Ensaio laboratoriais.....	33
4.4	Prospecção geotécnica realizada na presente fase.....	33
4.4.1	Sondagens mecânicas e ensaios SPT	34
4.4.2	Perfis de resistividade elétrica	43
4.4.3	Ensaio laboratoriais.....	43
4.4.4	Piezómetros	48
5	CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA	50
5.1	Aterros (At)	50
5.2	Aluviões (Al)	53
5.3	Supergrupo Dúrico-Beirão (CXG).....	54
5.4	Granito do Porto (γm)	55
6	PARÂMETROS GEOTÉCNICOS	60
7	ZONAMENTO DA PLATAFORMA	65
8	SITUAÇÕES CONDICIONANTES	68
8.1	Escavações com necessidade de solução de reforço.....	68
9	MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E MANCHAS DE EMPRÉSTIMO	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Principais unidades tectónico-estratigráficas intersectadas pelo traçado do subtroço A5 do Lote A da LAV	2
Figura 2 - Sequência litológica interessada pelo traçado	3
Figura 3 - Enquadramento do trecho em estudo nas regiões NUTS II e NUTS III	4
Figura 4 - Mapa hipsométrico entre Porto e Espinho.....	5
Figura 5 - Sistemas aquíferos interessados pelo subtroço A5.....	8
Figura 6 - Classificação climática de Köppen em Portugal Continental.	9
Figura 7 - Perfil anual de temperatura.....	9
Figura 8 -Perfil diário de temperatura, ao longo do ano.....	10
Figura 9 - Perfil anual de humidade.	10
Figura 10 - Perfil diário de humidade, ao longo do ano.	10
Figura 11 – Perfil diário de radiação solar, ao longo do ano.....	11
Figura 12 - Mapa de calor da radiação solar.....	11
Figura 13 - Rosa dos ventos anual.	12
Figura 14 - Rosa dos ventos – Dez – Feb.....	12
Figura 15 - Rosa dos ventos - Mar - Mai.....	12

Figura 16 - Rosa dos ventos - Jun. - Ago.....	12
Figura 17 - Rosa dos ventos - Set - Dez.	12
Figura 18 - Rosa dos ventos período da manhã (6h-13h).	13
Figura 19 – Rosa dos ventos período da tarde (14h-21h)	13
Figura 20 – Rosa dos ventos período da noite (22h-5h).....	13
Figura 21 - Carta Neotectónica de Portugal (1988)	14
Figura 22 - Zonamento sísmico de Portugal Continental de acordo com o Eurocódigo 8	15
Figura 23 - Distribuição dos resultados dos NSPT por formação geológica (n=9) (prospecção realizada pela IP).....	21
Figura 24 - Distribuição dos resultados dos NSPT por formação geológica (n=22) (prospecção adicional realizada na fase de concurso)	22
Figura 25 - Distribuição dos resultados dos NSPT por formação geológica (n=31) (considerando todos os dados disponíveis).....	23
Figura 26 - Distribuição em profundidade dos resultados NSPT realizados em Aterro (considerando todos os dados disponíveis)	24
Figura 27 - Distribuição em profundidade dos resultados NSPT realizados no Granito do Porto (considerando todos os dados disponíveis)	24
Figura 28 - Distribuição do índice RQD no Granito do Porto (considerando todos os dados disponíveis)	27
Figura 29 - Distribuição dos resultados dos NSPT por formação geológica (n=64) (dados obtidos na prospeção existente)	30
Figura 30 - Distribuição em profundidade dos resultados NSPT realizados em Aterro.....	31
Figura 31 - Distribuição em profundidade dos resultados NSPT realizados em Xisto (CXG)	31
Figura 32 - Distribuição em profundidade dos resultados NSPT realizados no Granito do Porto	31
Figura 33 - Distribuição dos resultados dos NSPT pelas diferentes formações geológicas (n=459) (dados obtidos na presente fase de prospeção)	38
Figura 34 - Distribuição em profundidade dos resultados NSPT realizados em Aterro (dados obtidos na presente fase de prospeção).....	39
Figura 35 - Distribuição em profundidade dos resultados NSPT realizados em Granito do Porto (dados obtidos na presente fase de prospeção)	39
Figura 36 - Distribuição do grau de alteração no Granito do Porto.	40
Figura 37 - Distribuição do grau de fraturação no Granito do Porto.	41
Figura 38 - Distribuição do índice RQD no Granito do Porto (dados obtidos na presente campanha de prospeção).....	42
Figura 39 - Gráfico das leituras dos níveis de água registados no piezómetro da sondagem S6 EST-CAM.....	48
Figura 40 - Distribuição percentual das classificações AASHTO, ASTM e GTR, das amostras de aterro	53
Figura 41 - Distribuição percentual das classificações AASHTO, ASTM e GTR, das amostras de Granito do Porto	58
Figura 42 - Correlação entre (N1)60 e o índice de compacidade para areias limpas (Mayne et al., 2001).....	63
Figura 43 - Correlação entre (N1)60 e o ângulo de atrito para areias (Décourt, 1989; Hatanaka and Uchida, 1996).	63
Figura 44 - Equação para cálculo do Módulo de Deformabilidade por Webb, 1969.	64
Figura 45 - Equações para o cálculo do Módulo de Deformabilidade por Begemann, 1974.	64
Figura 46 - Equação para o cálculo do Módulo de Deformabilidade para areia com finos, por Kulhawy and Mayne, 1990.	64
Figura 47 - Equações para o cálculo do Módulo de Deformabilidade para siltes, siltes arenosos ou siltes argilosos e para areia argilosa, respetivamente, por Bowles.	64

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Sequência de litologias interessadas pelo corredor do subtroço A5 do Subtroço A da LAV	2
Quadro 2 - NUTS II, NUTS III, distrito, concelho e freguesias intercetados pelo subtroço em estudo ...	4
Quadro 3 - Formações interessadas pelo traçado	5
Quadro 4 - Aceleração máxima de referência a_{gR} (m/s^2)	15
Quadro 5 - Tipo de terreno EC8	16
Quadro 6- Proveniência dos trabalhos de prospeção (executados em fases anteriores).	19
Quadro 7- Proveniência dos trabalhos de prospeção executados na campanha de prospeção adicional da fase de concurso.	19
Quadro 8 - Resumo das principais características das sondagens mecânicas (realizadas pela IP).	20
Quadro 9 - Resumo das principais características das sondagens mecânicas (executadas na campanha de prospeção adicional da fase de concurso).	20
Quadro 10 - Classificação de areias quanto à compacidade	20
Quadro 11 - Classificação de argilas quanto à consistência.	21
Quadro 12 – Distribuição dos resultados dos NSPT por formação geológica (n=9) (prospeção realizada pela IP)	21
Quadro 13 - Distribuição dos resultados dos NSPT por formação geológica (n=22) (prospeção adicional realizada na fase de concurso)	22
Quadro 14 - Relação NSPT - Formação geológica (n=31) (considerando todos os dados disponíveis).	22
Quadro 15 - Classificação dos graus de alteração (ISRM, 1981)	25
Quadro 16 - Classificação do estado de fraturação (ISRM, 1981)	25
Quadro 17 - Qualidade de maciços rochosos segundo RQD	26
Quadro 18 - Distribuição do índice RQD no Granito do Porto (considerando todos os dados disponíveis)	26
Quadro 19 - Resultado dos ensaios de resistência à compressão uniaxial (prospeção realizada pela IP).	28
Quadro 20 - Proveniência a prospeção geotécnica existente próxima do traçado do subtroço A5	28
Quadro 21 - Resumo das sondagens mecânicas de prospeção geotécnica existentes	29
Quadro 22 - Número de ocorrências dos resultados dos ensaios SPT por formação geológica (n=64) (dados da prospeção existente)	30
Quadro 23 - Resumo dos poços de reconhecimento de prospeção geotécnica existente	32
Quadro 24 - Resultado dos ensaios PDL da prospeção geotécnica existente	33
Quadro 25 - Resumo do resultado dos ensaios de agressividade da água ao betão da sondagem S5 da Campanha de Prospeção do Terminal Intermodal de Campanhã (2017)	33
Quadro 26 - Quantidades dos trabalhos de campo realizados durante a presente fase de prospeção	33
Quadro 27 - Quantidades dos ensaios de laboratório realizados na presente fase	34
Quadro 28 – Resumo das principais características das sondagens mecânicas (executadas em Projeto de Execução)	34
Quadro 29 - Distribuição dos resultados do NSPT pelas diferentes formações geológicas (n=459) (dados obtidos na presente campanha de prospeção)	37
Quadro 30 - Distribuição do índice RQD no Granito do Porto (dados obtidos na presente campanha de prospeção)	41

Quadro 31 – Resumo das principais características dos perfis de resistividade elétrica (executados em Projeto de Execução)	43
Quadro 32 – Síntese dos resultados dos ensaios de identificação em amostras intactas (amostras recolhidas em Projeto de Execução).....	44
Quadro 33 - Síntese dos resultados dos ensaios de corte direto e dos ensaios triaxiais.	45
Quadro 34 – Síntese dos resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial (UCS) (amostras recolhidas em Projeto de Execução).....	47
Quadro 35 - Leituras dos níveis de água registados no piezómetro da sondagem S6 EST-CAM.....	48
Quadro 36 - Quadro-síntese da localização dos aterros existentes ao longo do STA5 e da prospeção neles realizada.....	51
Quadro 37 - Quadro-síntese da localização das aluviões existentes ao longo do STA5 e da prospeção nelas realizada.....	54
Quadro 38 - Quadro-síntese da localização do Supergrupo Dúrico-Beirão existente no STA5 e da prospeção nele realizada.	55
Quadro 39 - Quadro-síntese da localização do Granito do Porto existente no STA5 e da prospeção nele realizada.	56
Quadro 40 – Parâmetros geotécnicos dos materiais encontrados nas formações geológicas interessadas	61
Quadro 41 - Fator de correção, CR, para o comprimento total da vara (Skempton, 1986).....	63
Quadro 42 - Fator de correção, CD, para o diâmetro do furo (Skempton, 1986)	63
Quadro 43 – Tipo de Plataforma (IRS70719).....	65
Quadro 44 – Classificação dos solos em QS _i classes (IRS 70719).....	66
Quadro 45 – Classificação em zonas de escavação na plataforma (IRS 70719).....	66
Quadro 46 - Zonamento da classificação da plataforma e camada de coroamento	67
Quadro 47 – Geometria das principais escavações – ST5.....	69
Quadro 48 - Lista de Pedreiras Concessionadas.	70

ANEXOS

ANEXO I. PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA DE FASES ANTERIORES

ANEXO I.1 – SONDAGENS

- **CAMPANHA DE PROSPEÇÃO COMPLEMENTAR DO LOTE A (IP 2023)**
- **CAMPANHA DE PROSPEÇÃO ADICIONAL PARA O CONCURSO DO LOTE A (MOTA-ENGIL 2024)**

ANEXO I.2 – ENSAIOS LABORATORIAIS

- **CAMPANHA DE PROSPEÇÃO COMPLEMENTAR DO LOTE A (IP 2023)**

ANEXO II. PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA EXISTENTE

ANEXO II.1 – SONDAGENS

- **PROSPEÇÃO COMPLEMENTAR PARA PROLONGAMENTO DE PI DA ESTAÇÃO DE CAMPANHÃ (2001)**

- **CAMPANHA DE PROSPEÇÃO DO TERMINAL INTERMODAL DE CAMPANHÃ (2017)**

ANEXO II.2 – POÇOS DE RECONHECIMENTO

- **PROSPEÇÃO COMPLEMENTAR PARA PROLONGAMENTO DE PI DA ESTAÇÃO DE CAMPANHÃ (2001)**

ANEXO II.3 – ENSAIOS PDL

- **PROSPEÇÃO COMPLEMENTAR PARA PROLONGAMENTO DE PI DA ESTAÇÃO DE CAMPANHÃ (2001)**

ANEXO II.4 – ENSAIOS LABORATORIAIS

- **CAMPANHA DE PROSPEÇÃO DO TERMINAL INTERMODAL DE CAMPANHÃ (2017)**

ANEXO III. PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA DA PRESENTE FASE

ANEXO III.1 – SONDAGENS

ANEXO III.2 – PERFIS DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA

ANEXO III.3 – ENSAIOS LABORATORIAIS

ANEXO III.4 – LEITURAS DOS PIEZÓMETROS

1 INTRODUÇÃO

Em agosto de 2025 foi entregue uma primeira versão deste estudo para apreciação pela autoridade de AIA, a Agência Portuguesa do Ambiente, que no âmbito da Decisão sobre a Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (DCAPE), emitida a 29/12/2025, declarou a não conformidade ambiental do projeto em face das alterações apresentadas constituírem soluções distintas das aprovadas em estudo prévio, extravasando o âmbito formal e material do procedimento, sendo como tal necessária a sua reformulação à luz da DIA.

O presente documento constitui a Memória Descritiva e Justificativa do Estudo Geológico-Geotécnico do subtroço A5, incluído no âmbito do Projeto de Execução da Nova Ligação Ferroviária do Troço Aveiro (Oiã) / Porto (Campanhã) da nova Linha Ferroviária de Alta Velocidade entre Porto e Lisboa, cujo promotor é a IP – Infraestruturas de Portugal, S.A.

Para a realização dos estudos de traçado do Troço A - Aveiro (Oiã) / Porto (Campanhã) na fase de Projeto de Execução, com uma extensão total de 88 km, dividiu-se este Troço A em 6 subtroços:

- Subtroço A1 – km0+000 a 15+500
- Subtroço A2 – km15+500 a 33+200
- Subtroço A3 – km33+200 a 49+900
- Subtroço A4 – km49+900 a 69+563 (Início Estação da Campanhã)
- Subtroço A5 – Estação de Campanhã
- Subtroço A6 – Ligação a Canelas

As análises e definições das soluções geotécnicas gerais no que se refere às condições de implantação das estruturas e aos tipos de fundação dos apoios para cada obra de arte, bem como a caracterização geotécnica relativa aos túneis, deverão ser consulados no Volume 2 e respetivos tomos (tomo 2.1 – Pontes; tomo 2.2 – Túneis e Tomo 2.3 – Viadutos).

As análises e definições das soluções gerais de terraplenagem no que se refere à decapagem, às escavações, aos aterros, tratamentos de fundação e blocos técnicos devem ser consultados no Tomo 1.1 – Plataforma da via.

2 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O traçado proposto para o corredor do subtroço A5 localiza-se na Zona Centro Ibérica (ZCI) caracterizada pela presença do Granito do Porto e do Supergrupo Dúrico-Beirão, pontualmente cobertos por depósitos aluvionares e aterros (Figura 1).

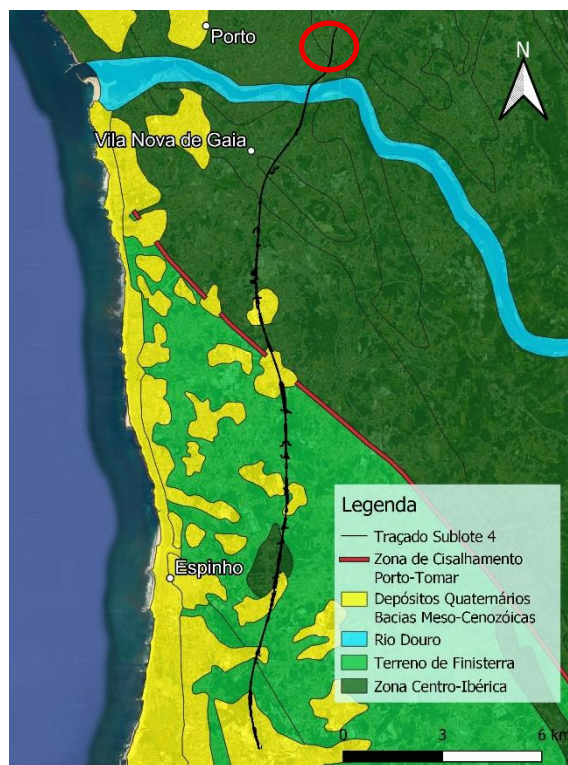


Figura 1 - Principais unidades tectónico-estratigráficas interetadas pelo traçado do subtroço A5 do Lote A da LAV

Dentro das formações de idade quaternária, destacam-se os depósitos aluvionares, associados a linhas de água encontradas ao longo da solução do traçado, de dimensão variável e constituídos por materiais de granulometria variável como areia, silte e fácies mais argilosas.

O Quadro 1 descreve uma abordagem sequencial das formações geológicas interessadas ao longo do Subtroço A5. O canal deste troço da LAV tem início no Granito do Porto (γm), passando a certa altura para os terrenos metamórficos do Supergrupo Dúrico-Beirão (CXG).

Quadro 1 – Sequência de litologias interessadas pelo corredor do subtroço A5 do Subtroço A da LAV

PK	Formações	Descrição litológica
69+563 70+650	Granito do Porto (γm), Aluviões (Al) e Aterros (At)	Granito de duas micas, de grão médio a grosseiro, localmente coberto por uma zona aluvionar caracterizada por areias siltosas com seixos rolados de quartzo.
70+650 71+030	Supergrupo Dúrico Beirão (CXG), Granito do Porto (γm), Aluviões (Al) e Aterros (At).	Migmatitos, pelitos, metagrauwaques, micaxistos, xistos e gnaisses com intercalações graníticas, por vezes intercalados com granito de duas micas de grão médio a grosseiro.

A Figura 2 ilustra o traçado do subtroço A5 sobre a sequência litológica interessada.

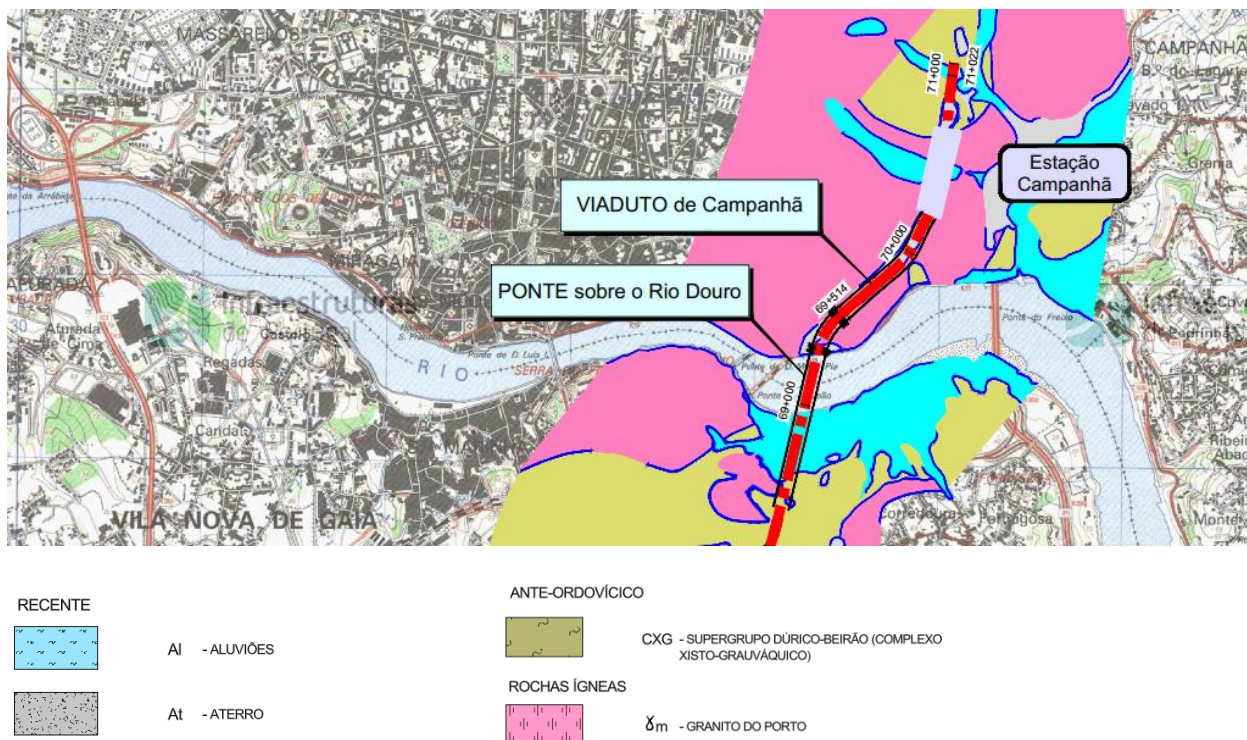


Figura 2 - Sequência litológica interessada pelo traçado

2.1 ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

O traçado do subtroço A5 desenvolve-se na estação de Campanhã, no Porto, numa extensão aproximada de 1,8 km, entre os pk 69+563 e 71+030. A linha férrea insere-se numa zona urbana atualmente atravessada pelas linhas do Norte e de Braga, sendo implantada a uma cota altimétrica uniforme que varia entre os 65 m e 70 m.

De acordo com a figura seguinte, que enquadra o troço em estudo na divisão administrativa de Portugal, verifica-se que o troço se desenvolve na região Norte (NUTS II), nomeadamente na Área Metropolitana do Porto (NUTS III), nas freguesias de Campanhã e Bonfim.

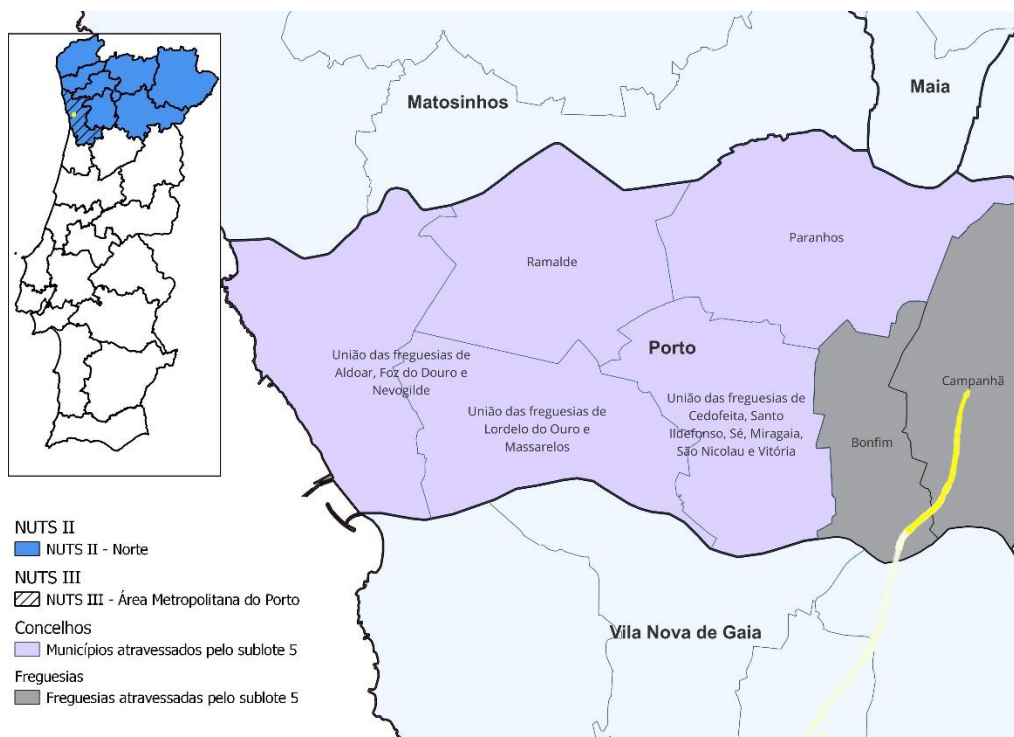


Figura 3 - Enquadramento do trecho em estudo nas regiões NUTS II e NUTS III

No Quadro 2 apresenta-se o enquadramento administrativo de acordo com a Carta Administrativa Oficial de Portugal – CAOP 2024:

Quadro 2 - NUTS II, NUTS III, distrito, concelho e freguesias intercetados pelo subtroço em estudo

NUTS II	NUTS III	Distrito	Concelho	Freguesias
Norte	Área Metropolitana do Porto	Porto	Porto	Campanhã, Bonfim

2.2 Geomorfologia

Desenvolvendo-se na zona da Campanhã, a norte do rio Douro, a morfologia desta área é caracterizada pela existência de uma ampla “plataforma litoral” correspondente a um conjunto de patamares escalonados que descem em direção ao mar a partir de uma linha de relevo, localizada a oriente do traçado em estudo, designada por Araújo (1991) como “relevo marginal”.

A “plataforma litoral” é uma faixa aplanada, que bordeja o litoral português, com largura e altitudes variáveis, geralmente organizada em patamares. A partir da Figura 4 é possível verificar que o “relevo marginal” que delimita a plataforma em direção ao interior apresenta um desenvolvimento retilíneo, seja a norte ou a sul do Douro assumindo direções varriscas NNW-SSE e NNE-SSW.

Ao longo da faixa litoral envolvente do Porto o desenvolvimento topográfico tem sido classificado em três conjuntos:

- área acima dos 130 m – “relevo marginal”;
- área entre 50 m e 130 m – onde ocorrem a maioria dos depósitos de fácies fluvial;

- área abaixo dos 50 m – onde ocorrem a maioria dos depósitos de fácies marinha;

Na área envolvente do traçado, localizada a norte do rio Douro, verifica-se um relevo mais irregular, com uma diferença abrupta da cota do rio para as suas encostas. Este relevo mais expressivo está relacionado com o vale estreito e profundo do rio com vertentes íngremes e elevadas, resultante da tectónica pós-hercínica e das falhas que condicionam a drenagem atual. A este da estação da Campanhã verifica-se ainda um vale amplo, no qual correm o rio Tinto e o rio Torto. Este vale corresponde a uma zona de contacto entre as rochas graníticas como o Granito do Porto, correspondentes aos pontos de cotas mais elevadas, e as rochas do CXG, a cotas mais baixas. É de referir que estes rios, em conjunto com o relevo pouco acentuado do vale, propiciaram a existência de zonas alagadas e pantanosas, inclusive onde se localiza a atual Estação da Campanhã (Noronha, 2005).

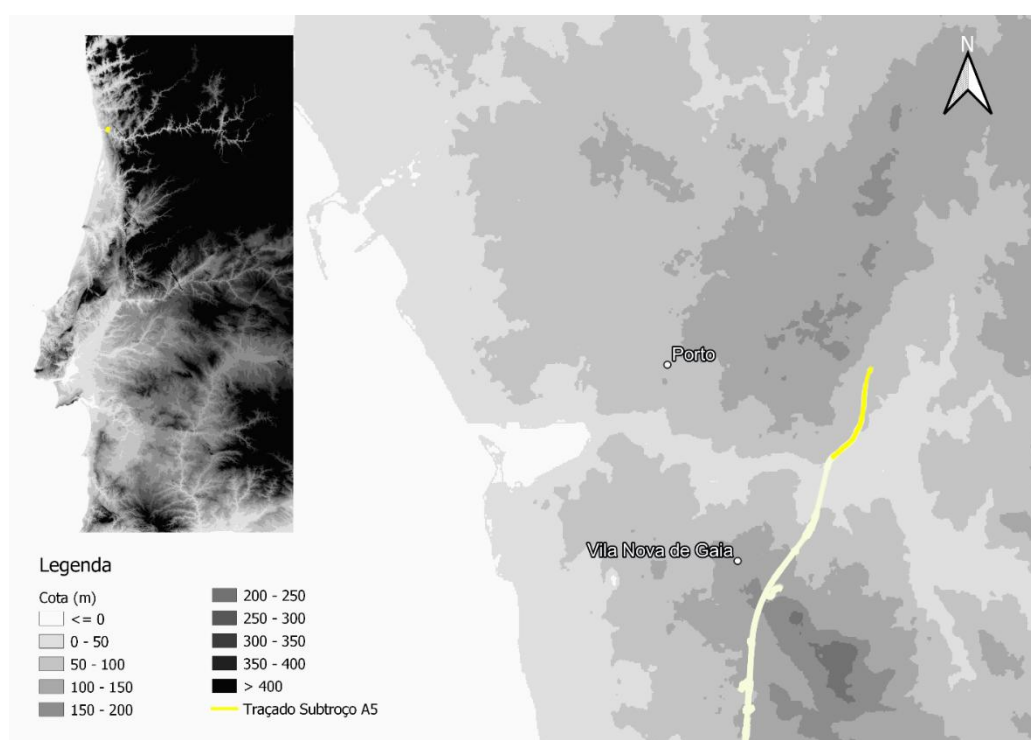


Figura 4 - Mapa hipsométrico entre Porto e Espinho

2.3 Litologia e estratigrafia

O Quadro 3 sistematiza as formações geológicas identificadas ao longo do troço em estudo, complementada com uma descrição das respetivas características geológicas mais relevantes do ponto de vista litológico e estrutural.

Quadro 3 - Formações interessadas pelo traçado

Idade	Formação	Designação	Descrição
Recente	At	Aterros	Constituem depósitos de origem antrópica associados essencialmente às atividades de construção (vias rodoviárias, enchimento de depressões, criação de plataformas, vazadouros, etc.). São formados por materiais provenientes do desmonte dos maciços próximos. Quando pertencentes a vias existentes são aterros controlados.

Idade	Formação	Designação	Descrição
	Al	Aluviões	As formações aluvionares são geralmente constituídas por depósitos cuja granulometria varia entre areia média e silte, revelando mais raramente fácies argilosa. Em algumas situações os depósitos apresentam passagens lodosas que atingem especial expressão na aluvião do rio Douro.
Supergrupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico)	CXG	Micaxistos, migmatitos, gnaisses, metagrauvaques e xistos	Correspondem a rochas intensamente deformadas, granitizadas e metamorizadas devido, sobretudo, à intrusão dos maciços graníticos. Constituem o encaixante dos granitos hercínicos, apresentando-se frequentemente cortados por material de composição granítica, sendo, na maior parte dos casos, gradual o contacto entre este complexo e os granitos. São constituídas por micaxistos, gnaisses, xistos e metagrauvaques finos intercalados com material de composição granítica. O elevado grau de alteração torna difícil, em muitos locais, a distinção clara com os maciços ígneos. Podem ocorrer na forma de solos residuais e decompostos a muito alterados até profundidades da ordem das dezenas de metros. Os solos residuais são areno-siltosos, por vezes siltosos e argilosos.
Rochas ígneas (hercínicas)	γm	Granito do Porto	Granito alcalino de tom claro, de grão médio de duas micas com predomínio de moscovite. Dispõe-se segundo a orientação geral NW-SE associada à estrutura hercínica, encontrando-se envolvido pelo CXG no qual intruiu. Encontra-se frequentemente alterado e caulinizado, cujas espessuras são irregulares. Os solos residuais são areno-siltosos, por vezes arenosos, originando solos finos quando associados à caulinação. O Granito do Porto aflora essencialmente a norte do rio Douro, contudo, ocorrem também afloramentos a sul do Douro, intrudido no CXG.

As sondagens realizadas neste subtroço permitem uma melhor compreensão das formações intercetadas. Assim, observa-se uma camada de aterro de espessura variável, compreendida entre 2 e 16 m. Subjacente a esta camada de aterro encontra-se solo residual granítico (W6) ou maciço granítico decomposto (W5) a muito alterado (W4) que, ao longo do subtroço atinge profundidades bastante variáveis, desde locais em que atinge apenas os 4,5 metros, junto ao pk 69+700, até aos 29 metros de profundidade, numa das sondagens realizadas a este da Estação da Campanhã, ao pk 70+529.

O maciço granítico mais competente (W3 a W2 e F3 a F4) foi identificado abaixo destes materiais alterados, nomeadamente a partir do pk 69+700, e até à zona de contacto entre Granito do Porto e Supergrupo Dúrico-Beirão, aproximadamente ao pk 70+800. Entre o pk 70+400 e o 70+500 é expectável interseção uma zona aluvionar associada a uma linha de água existente.

Cerca de 300 metros mais à frente o granito dá lugar às litologias do Supergrupo Dúrico-Beirão (migmatitos, gnaisses migmatíticos, micaxistos e xistos), as quais se estendem até ao fim do troço.

2.4 Hidrogeologia

O projeto do subtroço A5 desenvolve-se no contexto da Região Hidrográfica do Douro, inserido no sistema aquífero Maciço Antigo Indiferenciado da Bacia do Douro (pk 69+563 até 71+030) – ver Figura 5.

Uma vez que as formações geológicas interessadas apresentam baixas permeabilidades, não foram individualizados sistemas de aquíferos. Zonas mais fraturadas, zonas mais permeáveis e falhas podem potenciar aquíferos confinados, mas que não apresentam expressão significativa para serem

individualizados como um sistema de aquíferos dentro de uma região hidrográfica, daí a designação de “Indiferenciado” atribuída pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH).

Em termos gerais, em relação às formações de natureza rochosa, o comportamento hidrogeológico depende, essencialmente, do respetivo grau de alteração e de fraturação, dado que a permeabilidade intrínseca do material rochoso é, regra geral, extremamente reduzida, estas litologias apresentam fundamentalmente características de permeabilidade secundária: a circulação da água faz-se através da rede de fraturas, sendo tanto mais significativa quanto maior a abertura e menor o espaçamento. O preenchimento das fraturas também se apresenta como um fator importante no condicionamento à circulação da água, uma vez que fraturas preenchidas, sobretudo por materiais de natureza argilosa, apresentam menor permeabilidade.

Do ponto de vista hidrogeológico, as rochas metamórficas, como os xistos, apresentam permeabilidade predominantemente secundária, com a circulação de água a ocorrer preferencialmente pelas fraturas, zonas de esmagamento e contactos litológicos. A intensidade da circulação depende da abertura e espaçamento das fraturas, podendo ser fortemente limitada quando estas se encontram preenchidas com materiais argilosos ou estão muito alteradas, funcionando como barreiras impermeáveis. A estrutura essencialmente subvertical da xistosidade e o elevado grau de fraturação podem, por vezes, originar infiltrações significativas em profundidade, com implicações diretas nas escavações.

Nos granitos e gnaisses, o comportamento hidrogeológico é bastante variável e condicionado pelo grau de alteração e fraturação do maciço. Em zonas onde o granito se encontra bastante alterado, a arenização do granito aumenta a porosidade e permite maior infiltração. A água infiltra-se nos materiais arenizados e fica confinada inferiormente pela rocha sã ou passa a percolar pela rede fraturas. Em zonas menos alteradas a percolação ocorre sobretudo pelas fraturas existentes. Quando estas se encontram preenchidas, podem impedir a circulação e gerar ressurgências. Em profundidade, onde os maciços são mais competentes e menos fraturados, a permeabilidade é geralmente baixa. A recarga desta unidade é feita, no geral, por infiltração direta da água das chuvas.

Os solos residuais têm um comportamento hidrogeológico dependente da sua composição: os de natureza arenosa apresentam elevada permeabilidade permitindo a infiltração para os terrenos subjacentes; enquanto os materiais com maior percentual de argilas tendem a formar aquíferos. Solos graníticos caulinizados, devido ao seu elevado teor em finos e saturação frequente, revelam baixa permeabilidade e fraca trabalhabilidade.

Os depósitos aluvionares, associados e dependentes das principais linhas de água devido à sua espessura reduzida, apresentam pouca importância como aquífero, permitindo a infiltração das águas para as formações adjacentes. De forma geral, estes depósitos constituem, do ponto de vista hidrogeológico, aquíferos superficiais, com nível freático sujeito a variações sazonais em função da pluviosidade.

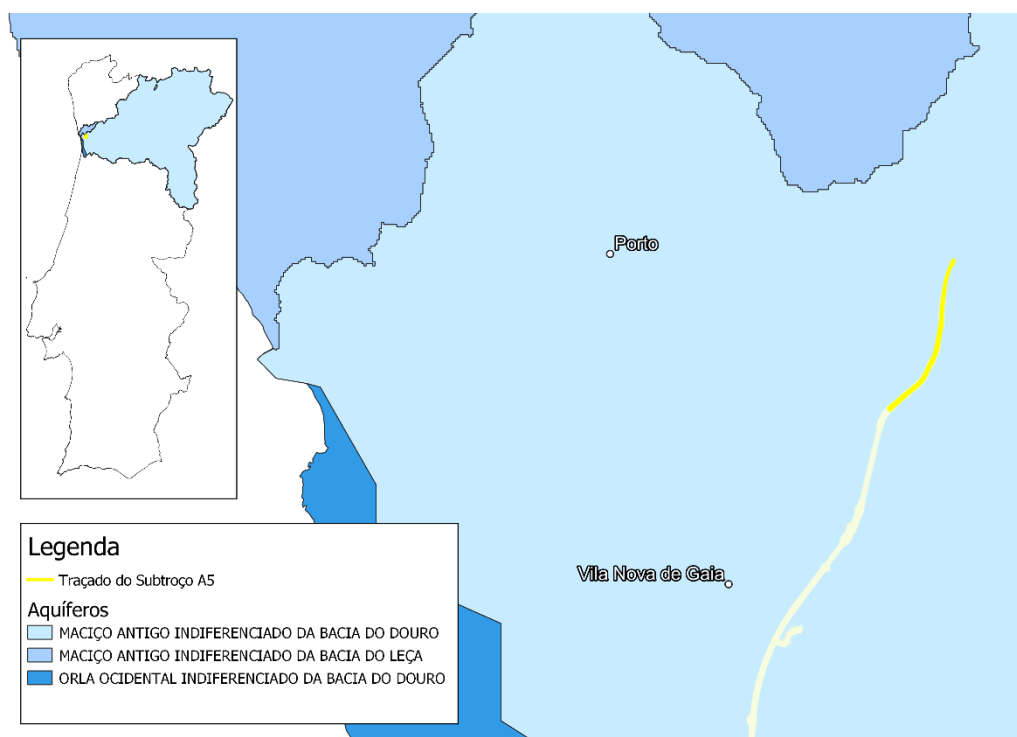


Figura 5 - Sistemas aquíferos interessados pelo subtroço A5

2.5 Climatologia

O traçado do subtroço A5 desenvolve-se na estação de Campanhã (Porto), inserindo-se na região climática Csb, segundo a classificação Koppen-Geiser, correspondente a um clima temperado com verão seco e suave.

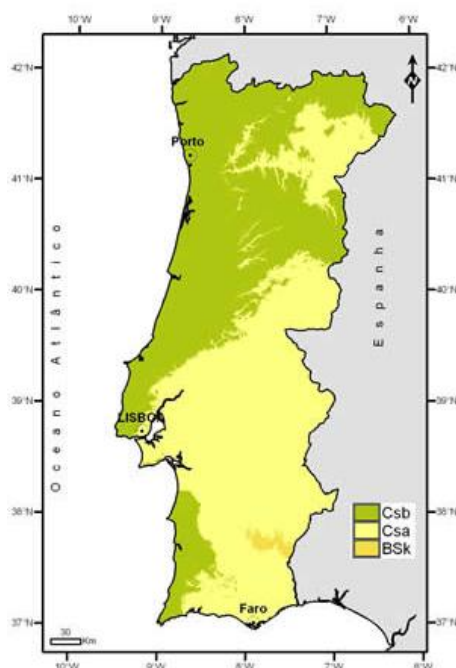


Figura 6 - Classificação climática de Köppen em Portugal Continental.

Para avaliar as condições climáticas da região, recorreu-se à análise de um ficheiro climático representativo, o denominado ano meteorológico típico, compilado com base nos dados recolhidos entre 1990 e 2023. O ficheiro considerado corresponde à estação meteorológica de Ovar, por se tratar da localização com dados disponíveis cujas características mais se aproximam das condições gerais ao longo do troço em estudo.

2.5.1 Temperatura

A temperatura média anual em Ovar ronda os 15°C, com valores extremos entre 2°C (mínima) e 31°C (máxima). Verifica-se uma variação sazonal acentuada, sendo julho o mês mais quente com uma temperatura média de 20°C, e janeiro o mais frio, com uma média de 10°C.

No que respeita à amplitude térmica diária, observa-se, de forma geral, uma diferença de aproximadamente 5°C entre a temperatura mínima e máxima, mantendo-se esta tendência ao longo de todo o ano. Estas condições refletem um clima moderado, com variações térmicas suaves e ausência de extremos significativos.



Figura 7 - Perfil anual de temperatura.

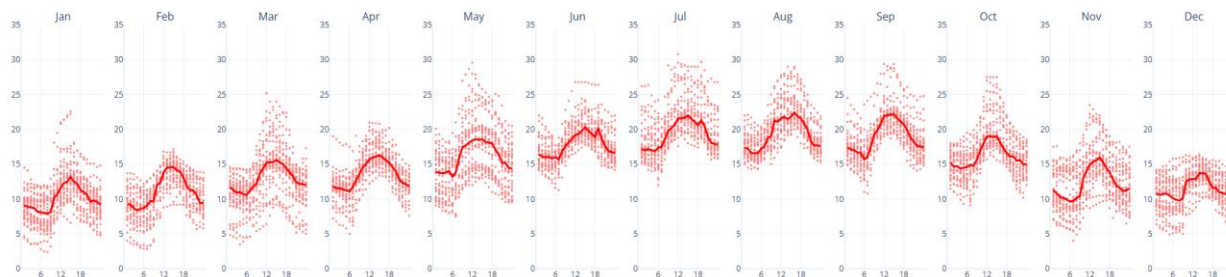


Figura 8 -Perfil diário de temperatura, ao longo do ano.

2.5.2 Humidade

A humidade relativa apresenta um valor anual médio de 79%, indicando níveis geralmente elevados de humidade ao longo do ano. Os valores registados variam entre um mínimo de 27% e um máximo de 100%, mostrando que apesar do ar ser normalmente húmido, podem ocorrer períodos de ar mais seco.

Os meses com humidade relativa média mais alta são outubro (85%) e fevereiro (83%), enquanto os meses menos húmidos são julho (73%) e maio (74%), refletindo o padrão típico de clima temperado com verões mais secos.

Além das variações mensais, a humidade relativa apresenta uma variação diária significativa, sendo geralmente mais baixa durante o dia e aumentando durante a noite, com uma diferença de no mínimo 20% entre os valores mínimos e máximos.

Estas condições indicam um ambiente com humidade relativamente elevada e variações moderadas.

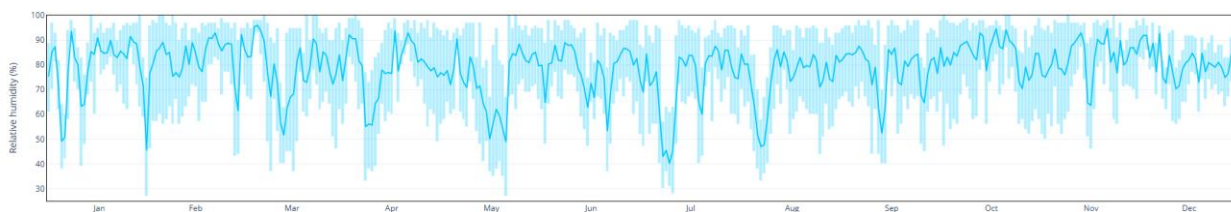


Figura 9 - Perfil anual de humidade.

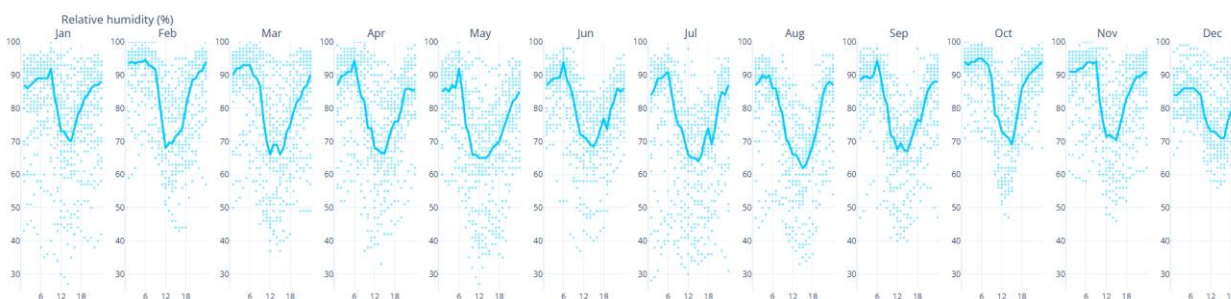


Figura 10 - Perfil diário de humidade, ao longo do ano.

2.5.3 Radiação Solar

A radiação solar apresenta variações sazonais bem marcadas, com maior intensidade nos meses de verão e menor durante o inverno. Os valores mais elevados de radiação média diária ocorrem em julho (933 Wh/m²) e junho (889 Wh/m²), enquanto os mais baixos se registam em dezembro (311 Wh/m²) e novembro (396 Wh/m²).

Estas variações refletem o padrão típico de regiões com clima temperado, onde o número de horas de sol e ângulo de incidência solar variam significativamente ao longo do ano.

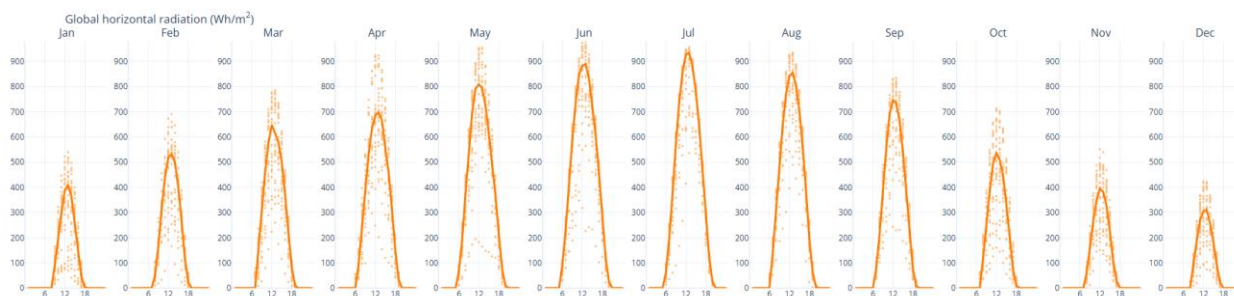


Figura 11 – Perfil diário de radiação solar, ao longo do ano.

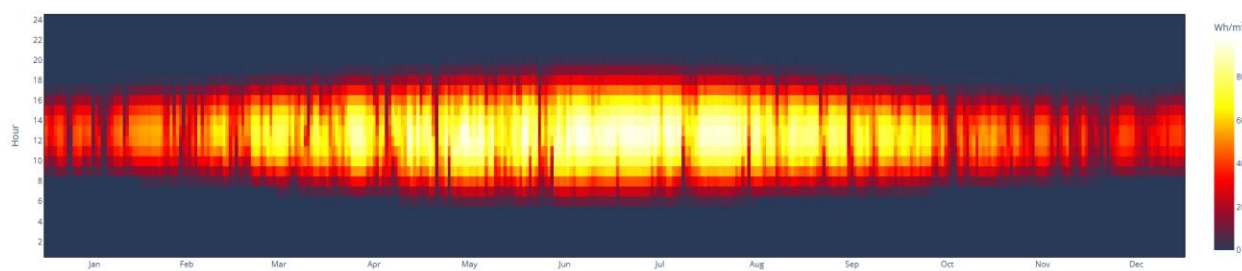


Figura 12 - Mapa de calor da radiação solar.

2.5.4 Vento

A análise da rosa dos ventos revela que as direções predominantes do vento a nível anual são o Norte e o Noroeste. O vento sopra maioritariamente vindo destas direções, que são as mais comuns na região. A velocidade máxima do vento ao longo do ano situa-se entre 10,7 m/s e 13,8 m/s, embora estes valores ocorram com baixa frequência, cerca de 2% do tempo.

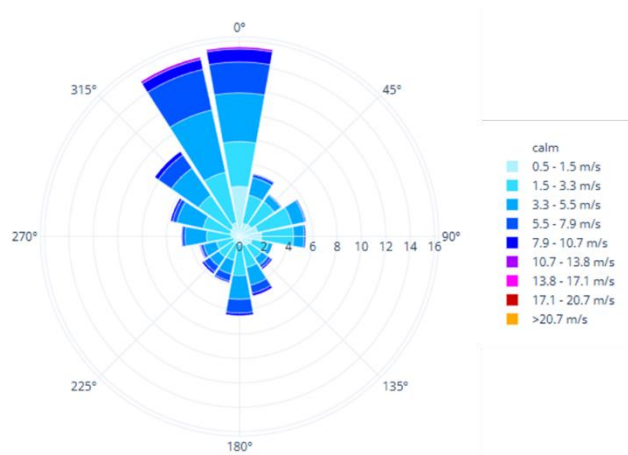


Figura 13 - Rosa dos ventos anual.

A nível sazonal observa-se que durante o inverno há uma maior diversidade de direções, incluindo também o Nordeste, Sudoeste e Sul. No Verão, a direção do Noroeste torna-se mais dominante.

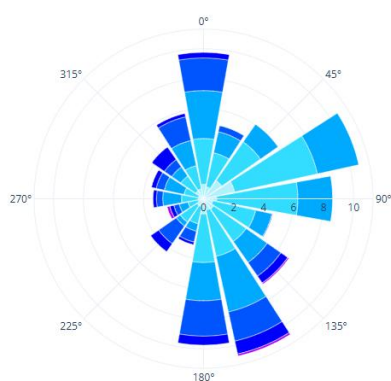


Figura 14 - Rosa dos ventos - Dez - Feb.

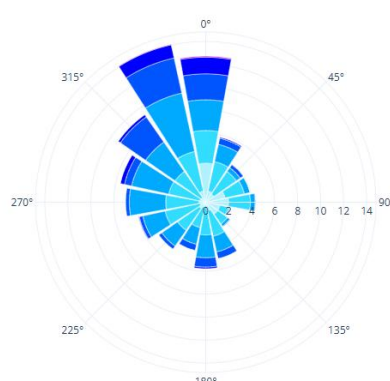


Figura 15 - Rosa dos ventos - Mar - Mai.

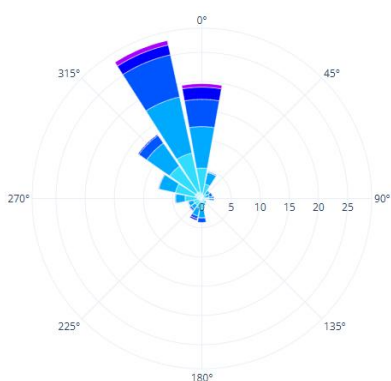


Figura 16 - Rosa dos ventos - Jun. - Ago.

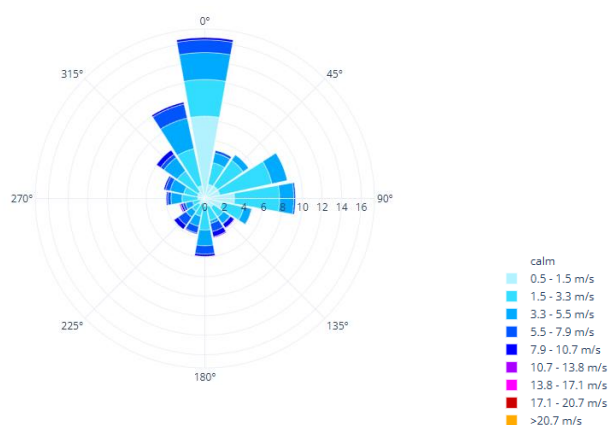


Figura 17 - Rosa dos ventos - Set - Dez.

Ao longo do dia, as direções do vento apresentam algumas variações. De manhã, o vento sopra de várias direções, sendo o Norte a mais frequente. À tarde, predominam os ventos do Norte, Noroeste

e Oeste-Noroeste. Durante a noite e madrugada, o vento sopra principalmente do Norte e do Noroeste.

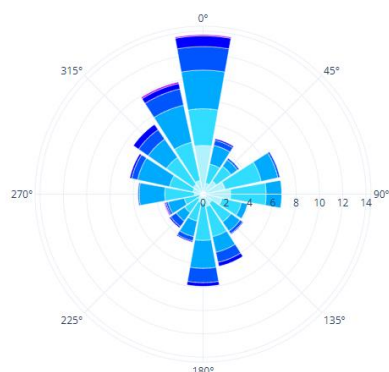


Figura 18 - Rosa dos ventos período da manhã (6h-13h).

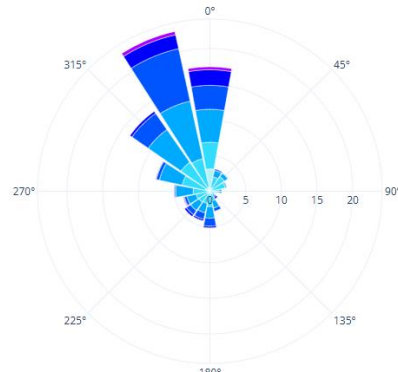


Figura 19 – Rosa dos ventos período da tarde (14h-21h)

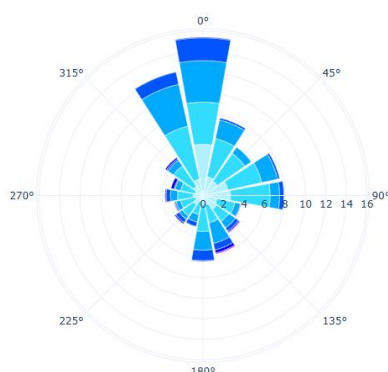
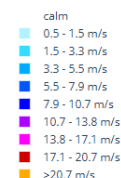


Figura 20 – Rosa dos ventos período da noite (22h-5h).



2.6 Tectónica

Do ponto de vista tectónico, a análise regional enquadra-se num grande ciclo geodinâmico datado das eras Pré-Câmbrica e Paleozoica e que afeta os terrenos pertencentes à Zona Centro-Ibérica (ZCI) e Terreno de Finisterra, separados pela Zona de Cisalhamento Porto-Tomar (ZCPT) de orientação NNW-SSE.

A generalidade da estruturação do autóctone da ZCI deve-se a uma fase de deformação bastante intensa que gerou dobras com foliação de plano axial de orientação NW-SE subvertical (D1: primeira fase da Orogenia Varisca – Devónico Médio) que afetou toda a sequência sedimentar pré-carbonífera. Mais tarde, no Carbonífero Superior, a terceira fase da Orogenia Varisca (D3) afetou todos os terrenos da ZCI, gerando dobras de grande comprimento de onda e uma orientação média de NW-SE, apresentando grande representatividade nos terrenos onde o traçado em estudo se desenvolve. Esta terceira fase veio desenvolver e reativar zonas de cisalhamento dúctil subverticais (Noronha et al. 2013) como a Zona de Cisalhamento Porto-Tomar – zona de cisalhamento de cinemática direita e orientação NNW-SSE. Para o fim e após esta terceira fase, terá ocorrido deformação dúctil-frágil,

desenvolvendo-se sistemas conjugados de fraturas: o principal com direção NNE-SSW e o conjugado NNW-SSE.

Este sistema de falhas manifesta-se longo do traçado evidenciado por falhas não cartografadas, ou de menor expressão, alinhadas com as direções estruturais identificadas. A carta da neotectónica evidencia essas direções (Figura 21).

A presença de falhas, zonas de cisalhamento e filões subverticais constitui locais preferenciais para acumulação e circulação de águas subterrâneas e a ocorrência de zonas de piores características geotécnicas. A travessia por estas estruturas pode representar potenciais condicionantes à estabilidade de escavações e túneis, particularmente se a direção do traçado for subparalela à orientação dessas discontinuidades.

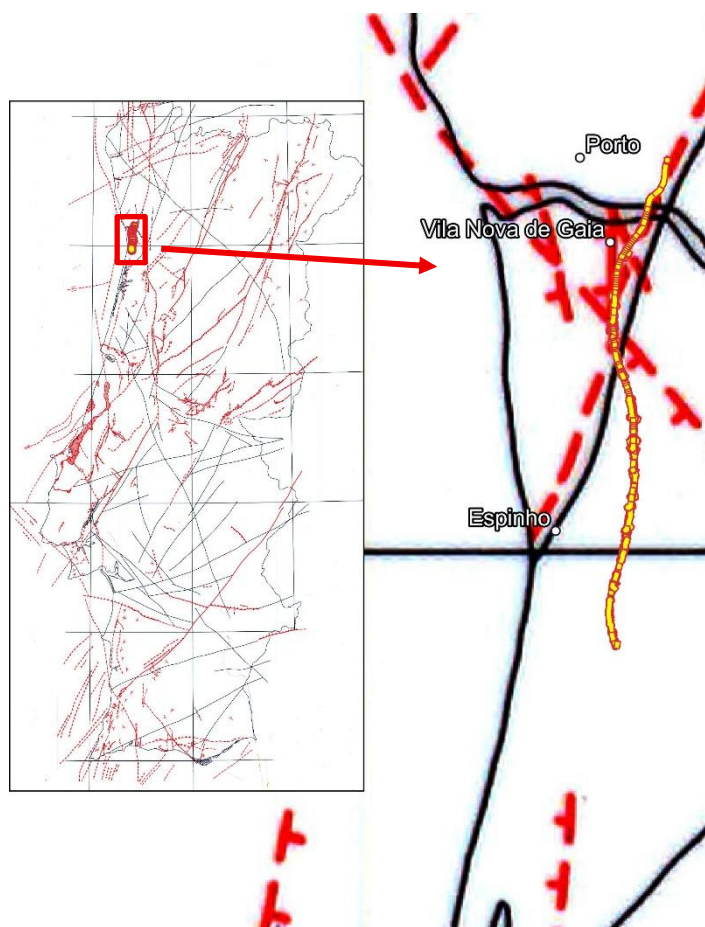


Figura 21 - Carta Neotectónica de Portugal (1988)

A atividade magmática ligada à orogenia varisca é testemunhada por um plutonismo granítico dominante. A ascensão e instalação dos granitos da região também se encontram relacionados com a orogenia varisca. A instalação da maior parte dos granitos variscos ocorreu relativamente tarde e está relacionada com a terceira fase de deformação (D3). Tendo em conta a sua relação temporal com a última fase de deformação varisca (D3), os granitóides podem ser divididos em: granitóides mais precoces (sin-tectónicos relativos a D3) e os mais tardios (tardi a pós tectónicos). O Granito do Porto (γm), encontrado ao longo do subtroço A5, enquadra-se nos granitos sin-tectónicos.

2.7 Sismicidade

A ação do sismo foi caracterizada de acordo com o estipulado na NP EN 1998–1:2010 e NP EN 1998–5: 2010 face às recomendações nacionais e à zona sísmica do país em que a obra se insere.

A Figura 22 apresenta o zonamento sísmico do território de Portugal Continental para os dois tipos de ação, com indicação da zona em estudo.

A área em estudo está inserida na Zona Sísmica 1.6 do tipo 1 e 2.5 do tipo 2, sendo os parâmetros aplicáveis apresentados no Quadro 4.

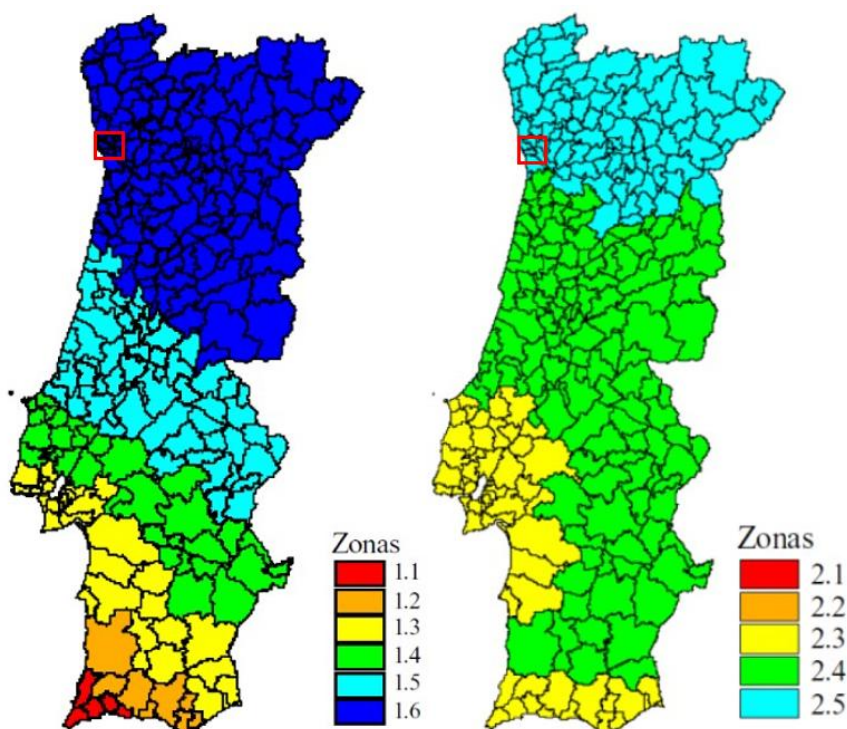


Figura 22 - Zonamento sísmico de Portugal Continental de acordo com o Eurocódigo 8

Quadro 4 - Aceleração máxima de referência a_{gR} (m/s²)

Ação Sísmica Tipo 1		Ação Sísmica Tipo 2	
Zona Sísmica	a_{gR} (m/s ²)	Zona Sísmica	a_{gR} (m/s ²)
1.1	2,5	2.1	2,5
1.2	2,0	2.2	2,0
1.3	1,5	2.3	1,7
1.4	1,0	2.4	1,1
1.5	0,6	2.5	0,8
1.6	0,35	-	-

A identificação do tipo de terreno – A, B, C, D ou E – será estabelecido obra a obra, em função dos estudos de caracterização geotécnica específicos de cada obra.

O Quadro 5 descreve os tipos de terreno.

Quadro 5 - Tipo de terreno EC8

Tipo de terreno	Descrição do perfil estratigráfico	Parâmetros		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (panc./ 30 cm)	C_u (kPa)
A	Rocha ou outra formação geológica de tipo rochoso, que inclui, no máximo, 5 m de material mais fraco à superfície.	> 800	-	-
B	Depósitos de areia muito compacta, de seixo (cascalho) ou de argila muito rija, com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade.	360-800	> 50	> 250
C	Depósitos profundos de areia compacta ou medianamente compacta, de seixo (cascalho) ou de argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros.	180-360	15-50	70-250
D	Depósitos de solos não coesivos de compactidade baixa a média (com ou sem alguns estratos de solos coesivos moles), ou de solos predominantemente coesivos de consistência mole a dura.	< 180	< 15	< 70
E	Perfil de solo com um estrato aluvionar superficial com valores de v_5 do tipo C ou D e uma espessura entre cerca de 5m e 20m, situado sobre um estrato mais rígido com $v_5 > 800$ m/s.			
S1	Depósitos constituídos ou contendo um estrato com pelo menos 10m de espessura de argilas ou siltes moles com um elevado índice de plasticidade ($PI > 40$) e um elevado teor de água.	< 100 (indicativo)	-	10-20
S2	Liquefação, de argilas sensíveis ou qualquer outro perfil de terreno não incluído nos tipos A-E ou S1.			

3 RECONHECIMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE

No presente subtroço, devido à forte ocupação de superfície não existem pontos de observação resultantes de afloramentos existentes.

4 PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA E ENSAIOS

4.1 Considerações gerais

Neste capítulo são apresentados os trabalhos de prospeção executados até à data, com a subsequente descrição e interpretação dos resultados obtidos, com o propósito de caracterizar os terrenos intercetados pelo traçado, numa perspetiva geológica-geotécnica, e, assim, fornecer o suporte necessário às soluções de projeto nesta fase de estudo.

Para a elaboração do atual estudo foram considerados todos os trabalhos de prospeção realizados em estudos anteriores, e apresentados no Estudo Prévio, assim como, a prospeção complementar definida e executada pela IP e fornecida em sede de concurso.

Sabendo que a prospeção deve sempre ser a necessária à fundamentação das medidas a tomar para resolução das situações geotécnicas identificadas na faixa de terrenos onde se desenvolve e que influenciam o traçado da linha ferroviária, as empresas construtoras responsáveis, durante a fase de concurso, e com o intuito de otimização do projeto, realizou uma campanha de prospeção adicional a qual incluiu a execução de sondagens, ensaios “in situ”, geofísica, geoeletrica, e ensaios laboratoriais, distribuídos ao longo das zonas dos túneis, pontes e viadutos, e, escavações e aterros mais relevantes.

Para além, desta campanha de prospeção adicional específica, foi reunida e analisada ainda, toda a informação geológico-geotécnica disponível de obras e estudos realizados ao longo, ou nas imediações do traçado agora em estudo.

Por fim, foi definido um conjunto de trabalhos de prospeção necessários à fase de projeto de execução, de modo a aferir, colmatar e complementar as características dos diferentes materiais geológicos intersectados, possibilitando assim, a definição de soluções de projeto devidamente adaptadas aos ambientes geológico-geotécnicos intersectados. Esta última campanha de prospeção encontra-se em execução, sendo que, os seus resultados vão sendo incorporados no estudo à medida que vão estando disponíveis.

4.2 Prospeção geotécnica de fases anteriores

Como referido acima, os trabalhos considerados neste estudo pertencem à Campanha de Prospeção Complementar do Lote A, realizada pela IP em 2023 para o concurso do Lote A, e à Campanha de Prospeção Adicional, realizada em 2024 com o intuito de apoiar a proposta apresentada a concurso.

O Quadro 6 resume as quantidades dos trabalhos realizados próximos ao traçado no Subtroço A5, durante a campanha de prospeção realizada pela IP.

No que diz respeito a ensaios de laboratório, foi realizado para este subtroço um ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial com medição do Módulo de Deformabilidade (UCS).

Quadro 6- Proveniência dos trabalhos de prospeção (executados em fases anteriores).

Designação dos Trabalhos	Concurso Lote A (2023/24)
Sondagens Mecânicas - S (Un.)	2
Furação em Solos (m)	29,90
Furação em rocha (m)	46,35
Ensaio SPT (Un.)	23

O Quadro 7 apresenta as quantidades dos trabalhos realizados durante a campanha de prospeção adicional de 2024 próximos ao Subtroço A5.

Quadro 7- Proveniência dos trabalhos de prospeção executados na campanha de prospeção adicional da fase de concurso.

Designação dos Trabalhos	Campanha de Prospeção Adicional (2024)
Sondagens Mecânicas - S (Un.)	2
Furação em Solo (m)	30,00
Furação em Rocha (m)	6,00
Ensaio SPT (Un.)	23

4.2.1 Sondagens mecânicas e ensaios SPT

Nas campanhas de prospeção geotécnica anteriores, realizadas pela IP, foram executadas 126 sondagens, das quais 2 caracterizam as unidades geológicas no Subtroço A5. A sua marcação incidiu, primariamente, em trechos onde se prevê a execução de túneis e viadutos, sendo complementada, em menor expressão, nas zonas previstas para as principais escavações e aterros de maior dimensão. Nestes casos, foi dada especial atenção a situações em que as estruturas poderão assentar em solos pouco competentes, com implicações ao nível de estabilidade e do dimensionamento geotécnico.

Os objetivos a atingir nas campanhas de prospeção passam por:

- avaliação da escavabilidade do maciço em escavações de grande porte;
- definição da geometria de taludes de escavação, tendo em consideração a sua estabilidade;
- observação do material resultante das escavações que poderá ser reaproveitado;
- aferição da capacidade de carga dos terrenos de fundação dos principais aterros;
- aferição da qualidade do maciço para avaliação das condições de fundação de alguns dos viadutos/pontes de maior dimensão (extensão superior a 800-1000m);
- aferição da qualidade do maciço para avaliação das condições de implantação das obras subterrâneas, em especial nos emboquilhamentos dos túneis.

Durante a fase de concurso de 2024, foi realizada uma campanha de prospeção adicional ao longo da qual foram executadas 38 sondagens, das quais, 2, se encontram no Subtroço A5. Estas sondagens foram realizadas de modo a colmatar informação necessária na fase de concurso, particularmente no local do viaduto de Campanhã. Na zona da Estação de Campanhã devido à forte ocupação de superfície, assim como, à dificuldade de realização de trabalhos na plataforma em tempo útil, não foram definidos nem executados trabalhos de prospeção nas fases anteriores.

O Quadro 8 e o Quadro 9 apresentam um resumo das principais características das sondagens, respetivamente, realizadas nas diferentes campanhas de prospeção pela IP ao longo dos anos e na campanha de prospeção adicional realizada na fase de concurso em 2024.

Quadro 8 - Resumo das principais características das sondagens mecânicas (realizadas pela IP).

Sondagem	Localização Aproximada (km)	Situação	Geologia		Prof. atingida (m)	Prof. do nível de água (m)
			Prof. (m)	Formação		
Campanha de Prospeção Complementar do Lote A (IP 2023)						
S079A-23	69+853	Viaduto de Campanhã	0,0-9,4	At	21,1	17,3
			9,4-21,1	Ym		
S080A-23	70+195	Viaduto de Campanhã	0,0-1,4	At	25,15	4
			1,4-25,15	Ym		

(+) – Nível de água detetado; At – Aterro; Ym – Granito do Porto.

Quadro 9 - Resumo das principais características das sondagens mecânicas (executadas na campanha de prospeção adicional da fase de concurso).

Sondagem	Localização Aproximada (km)	Situação	Geologia		Prof. atingida (m)	Prof. do nível de água (m)
			Prof. (m)	Formação		
Campanha de Prospeção Adicional para o Concurso do Lote A (Mota-Engil 2024)						
S325	69+664	Viaduto de Campanhã	0,0-6,0	At	13,50	-
			6,0-7,5	Al		
			7,5-13,5	Ym		
S326	69+937	Viaduto de Campanhã	0,0-7,5	At	22,50	-
			7,5-22,5	Ym		

At – Aterro; Al – Aluvião; Ym – Granito do Porto.

As sondagens realizadas nas diferentes campanhas de prospeção realizadas pela IP foram, sempre que possível, acompanhadas pela execução de ensaios de penetração dinâmica do tipo SPT (“*Standard Penetration Test*”), de 1,5 em 1,5 metros.

Os resultados dos ensaios SPT permitiram a caracterização geotécnica das formações, em particular a classificação das formações arenosas quanto ao grau de compacidade, como mostra o Quadro 10, e das argilas em relação à sua consistência, indicado no Quadro 11.

Quadro 10 - Classificação de areias quanto à compacidade.

N _{SPT}	Compacidade
0 - 4	Muito solta
4 - 10	Solta
10 - 30	Média

N _{SPT}	Compacidade
30 - 50	Compacta
> 50	Muito compacta

Quadro 11 - Classificação de argilas quanto à consistência.

N _{SPT}	Consistência	Resistência à Compressão Simples (kN/m ²)
< 2	Muito mole	< 25
2 - 4	Mole	25 - 50
4 - 8	Média	50 - 100
8 - 15	Dura	100 - 200
15 - 30	Muito dura	200 - 400
> 30	Rija	> 400

No Quadro 12 e na Figura 23 apresenta-se a distribuição dos resultados dos ensaios SPT e as diferentes formações geológicas interessadas.

Quadro 12 – Distribuição dos resultados dos NSPT por formação geológica (n=9) (prospecção realizada pela IP).

Litologia	Número de ocorrências					Total
	N _{SPT} ≤ 4	4 < N _{SPT} ≤ 10	10 < N _{SPT} ≤ 30	30 < N _{SPT} ≤ 50	N _{SPT} > 50	
At	2	1	2	0	0	5
Al	0	0	0	0	0	0
CXG	0	0	0	0	0	0
Ym	0	0	0	0	4	4
Total	2	1	2	0	4	9

Nota: At – Aterro; Al – Aluvião; CXG – Supergrupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico); Ym – Granito do Porto.

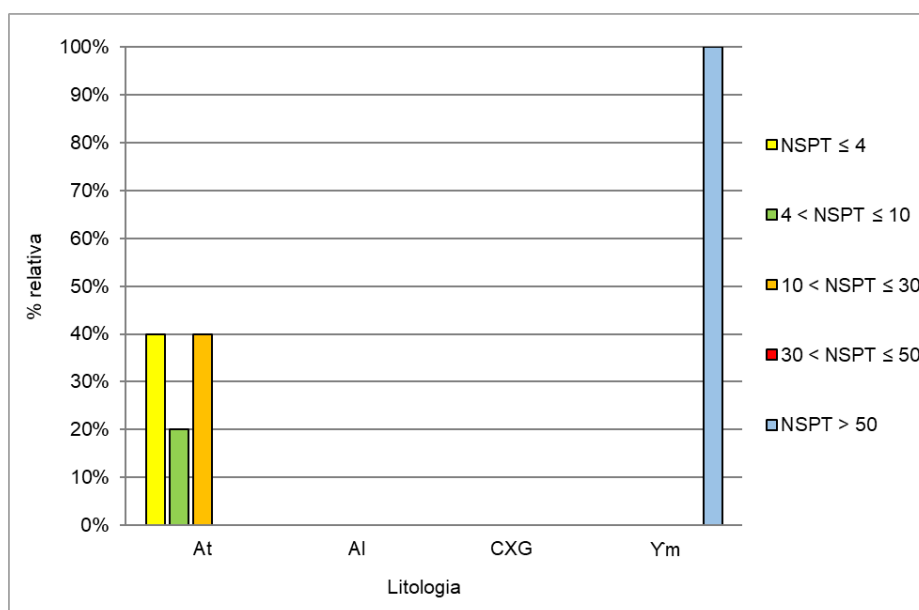


Figura 23 - Distribuição dos resultados dos NSPT por formação geológica (n=9) (prospecção realizada pela IP).

Assim como as sondagens realizadas durante as campanhas de prospeção da IP, as sondagens executadas durante a campanha de prospeção adicional realizada em 2024 foram acompanhadas por ensaios SPT a cada 1,5 m de profundidade. No Quadro 13 e na Figura 24 apresenta-se a distribuição dos resultados dos NSPT por formação geológica.

Quadro 13 - Distribuição dos resultados dos NSPT por formação geológica (n=22) (prospeção adicional realizada na fase de concurso)

Litologia	Número de ocorrências					Total
	$N_{SPT} \leq 4$	$4 < N_{SPT} \leq 10$	$10 < N_{SPT} \leq 30$	$30 < N_{SPT} \leq 50$	$N_{SPT} > 50$	
At	1	3	3	0	0	7
Al	0	0	0	0	0	0
CXG	0	0	0	0	0	0
Ym	0	0	1	5	9	15
Total	1	3	4	5	9	22

Nota: At – Aterro; Al – Aluvião; CXG – Supergrupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico); Ym – Granito do Porto.

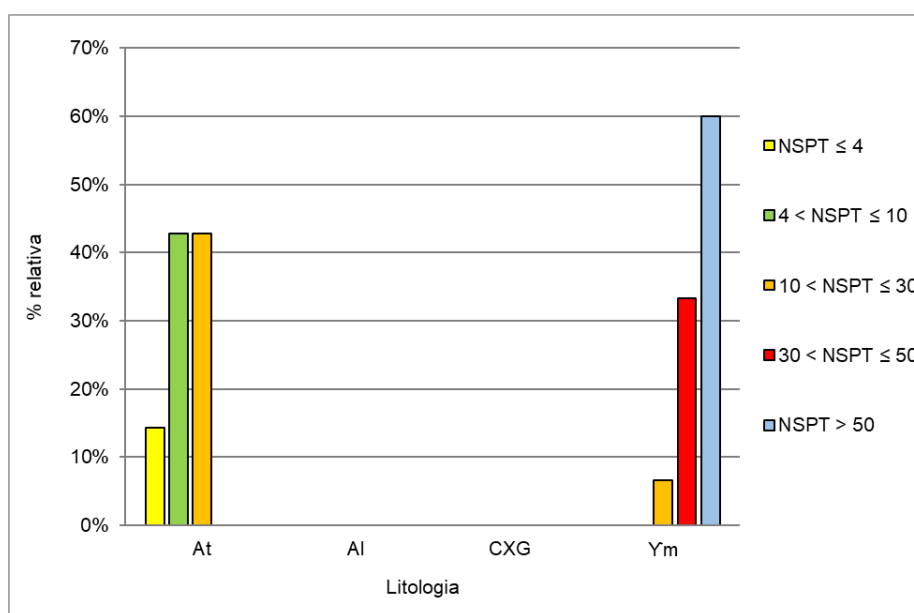


Figura 24 - Distribuição dos resultados dos NSPT por formação geológica (n=22) (prospeção adicional realizada na fase de concurso)

De modo a facilitar a análise dos dados obtidos, agruparam-se os resultados obtidos nas campanhas realizadas pela IP e os resultados obtidos na campanha de prospeção adicional num único quadro e num único gráfico. No Quadro 14 e na Figura 25 apresenta-se a distribuição dos resultados dos NSPT para cada formação geológica, tendo em conta todos os dados disponíveis para o Subtroço A5. Nas Figura 26 e Figura 27, está representada a distribuição em profundidade dos resultados obtidos nos ensaios SPT.

Quadro 14 - Relação NSPT - Formação geológica (n=31) (considerando todos os dados disponíveis).

Litologia	Número de ocorrências					Total
	$N_{SPT} \leq 4$	$4 < N_{SPT} \leq 10$	$10 < N_{SPT} \leq 30$	$30 < N_{SPT} \leq 50$	$N_{SPT} > 50$	
At	3	4	5	0	0	12

Litologia	Número de ocorrências					Total
	$N_{SPT} \leq 4$	$4 < N_{SPT} \leq 10$	$10 < N_{SPT} \leq 30$	$30 < N_{SPT} \leq 50$	$N_{SPT} > 50$	
At	0	0	0	0	0	0
Al	0	0	0	0	0	0
CXG	0	0	0	0	0	0
Ym	0	0	1	5	13	19
Total	3	4	6	5	13	31

Nota: At – Aterro; Al – Aluvião; CXG – Supergrupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico); Ym – Granito do Porto.

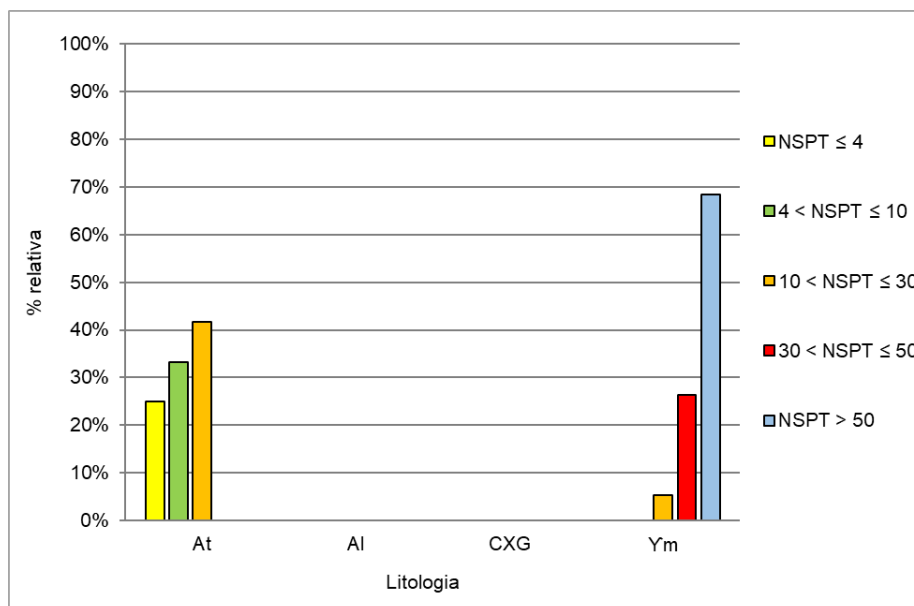


Figura 25 - Distribuição dos resultados dos NSPT por formação geológica (n=31) (considerando todos os dados disponíveis)

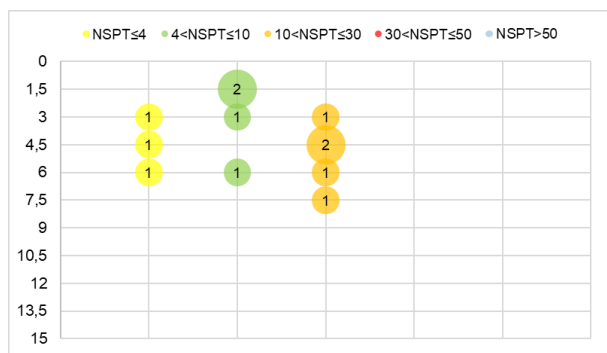


Figura 26 - Distribuição em profundidade dos resultados NSPT realizados em Aterro (considerando todos os dados disponíveis)

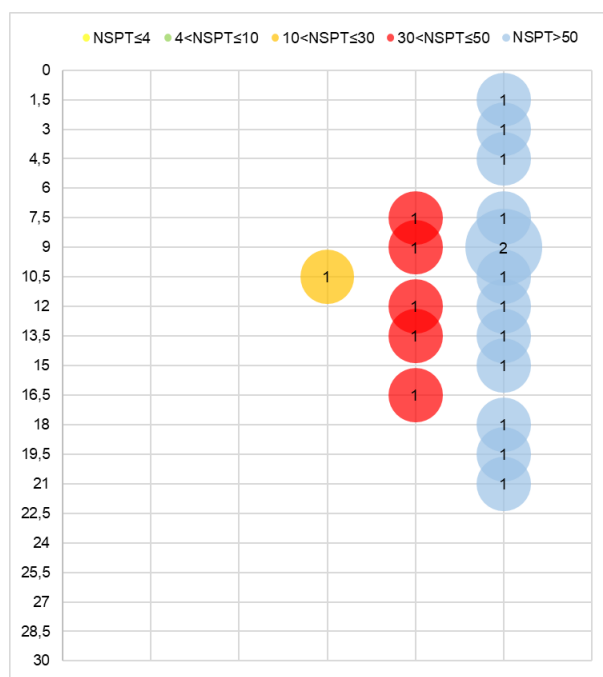


Figura 27 - Distribuição em profundidade dos resultados NSPT realizados no Granito do Porto (considerando todos os dados disponíveis)

Como se pode verificar foram realizados apenas 31 ensaios SPT neste subtroço, pelo que em duas das formações geológicas intercetadas, Aluviões (Al) e Supergrupo Dúrico-Beirão (CXG), não foi possível obter resultados. Com base nos dados agrupados das diferentes campanhas de prospeção apresentados na Figura 24 e no Quadro 14 é possível estabelecer algumas observações no que toca aos materiais em cada uma das unidades geológicas existentes neste subtroço:

i. Aterros (At)

- Em relação aos aterros, é possível verificar que os resultados dos ensaios SPT apresentam, na maioria dos casos, valores de NSPT menores do que 10 pancadas, correspondentes a solos muito soltos a soltos (caso se trate de materiais arenosos) ou de consistência muito mole a mediana (para materiais argilosos) e de N_{SPT} entre 10 e 30 pancadas, ou seja, materiais arenosos de compacidade mediana ou argilosos de consistência dura a muito dura.
- No Subtroço A5 são intercetados solos classificados como aterro ao longo de quase todo o subtroço devido à sua localização numa zona urbana, assim como devido aos aterros associados à plataforma ferroviária.

ii. Aluviões (Al)

- Não foram realizados ensaios SPT em zonas de aluvião no Subtroço A5.

iii. Supergrupo Dúrico-Beirão (CXG)

- Não foram realizados ensaios SPT em material do CXG no Subtroço A5.

iv. Granito do Porto (Ym)

- Os ensaios SPT executados no Granito do Porto foram executados em granito decomposto (W5) a solo residual, e mostram que estes materiais se encontram muito compactos ou rijos (SPT>50).

A avaliação da qualidade dos maciços rochosos recorre a parâmetros expeditos de observação que são obtidos através dos carotes de sondagens. A qualidade dos maciços rochosos deriva do seu estado de alteração e fraturação. Estes vão influenciar os parâmetros mecânicos da rocha, importantes em obras de engenharia uma vez que a maioria das construções são realizadas sobre uma camada superficial de alteração.

O estado de alteração refere-se à maior ou menor facilidade com que o material se parte recorrendo a um martelo de geólogo, à sua coloração, textura ou estrutura da rocha (ver Quadro 15).

Quadro 15 - Classificação dos graus de alteração (ISRM, 1981)

Classificação	Classificação simplificada	Designação	Características
W1	W1-2	São	Sem sinais de alteração
W2		Pouco alterado	Sinais de alteração nas imediações das descontinuidades. Produz um som quando batida pelo martelo de geólogo
W3	W3	Medianamente alterado	Alteração visível em todo o maciço rochoso. Não parte facilmente pela mão, mas facilmente se parte com o martelo de geólogo
W4	W4-5	Muito alterado	A rocha pode ser partida pela mão em pequenos blocos; o som produzido aquando da batida pelo martelo de geólogo diminui de intensidade. Apresenta-se descolorada
W5		Decomposto	A textura original da rocha é preservada, facilmente se desfaz pela mão. Totalmente descolorada
W6	W6	Solo residual	A textura original da rocha foi completamente destruída; pode ser desfeito pela mão e pela pressão dos dedos resultando nos grãos constituintes da rocha

Quanto ao estado de fraturação, expressa a quantidade de descontinuidades presentes. Numa sondagem, o grau de fraturação pode ser definido por manobra ou subdividindo a amostra em intervalos que justifiquem um grau de fraturação diferente (ver Quadro 16).

Quadro 16 - Classificação do estado de fraturação (ISRM, 1981)

Classificação	Classificação simplificada	Designação	Espaçamento (mm)
F1	F1-2	Muito afastadas	2000 – 6000
F2		Afastada	600 – 2000
F3	F3	Medianamente afastadas	200 – 600
F4	F4-5	Próximas	60 – 200
F5		Muito próximas	20 – 60

Além dos estados de alteração e fraturação, foi também determinado o índice RQD (*Rock Quality Designation*) a partir dos carotes extraídos nas sondagens. Este índice representa a relação entre a soma de todos os fragmentos de rocha com mais de 10 cm de comprimento e o comprimento total do

furo. A leitura do comprimento furado faz-se segundo o eixo central dos carotes e consideram-se os fragmentos que apresentam pelo menos o diâmetro intacto. A determinação do índice deve ser realizada a cada manobra ou sempre que ocorra uma variação na litologia a ser atravessada.

O índice RQD é um indicador da qualidade de maciços rochosos e varia entre 0% e 100% (ver Quadro 17).

Quadro 17 - Qualidade de maciços rochosos segundo RQD

RQD (%)	Qualidade da rocha
< 25	Muito má
25 – 50	Má
50 – 75	Média
75 – 90	Boa
90 - 100	Muito boa

O Quadro 18 e a Figura 28 ilustram a distribuição dos comprimentos de rocha classificados em diferentes intervalos, segundo o índice RQD. Nestas campanhas de prospeção não foram intersetados maciços rochosos de outras unidades geológicas, pelo que os dados apenas incidem sobre os carotes que intersetaram Granito do Porto (Ym), considerando todos os dados disponíveis.

Quadro 18 - Distribuição do índice RQD no Granito do Porto (considerando todos os dados disponíveis)

RQD (%)	Qualidade da rocha	Granito do Porto (Ym)	
		comprimento (m)	%
< 25	Muito má	52,90	64,32%
25 – 50	Má	8,90	10,82%
50 – 75	Média	14,80	17,99%
75 – 90	Boa	4,50	5,47%
90 - 100	Muito boa	1,15	1,40%
Total		82,25	100%

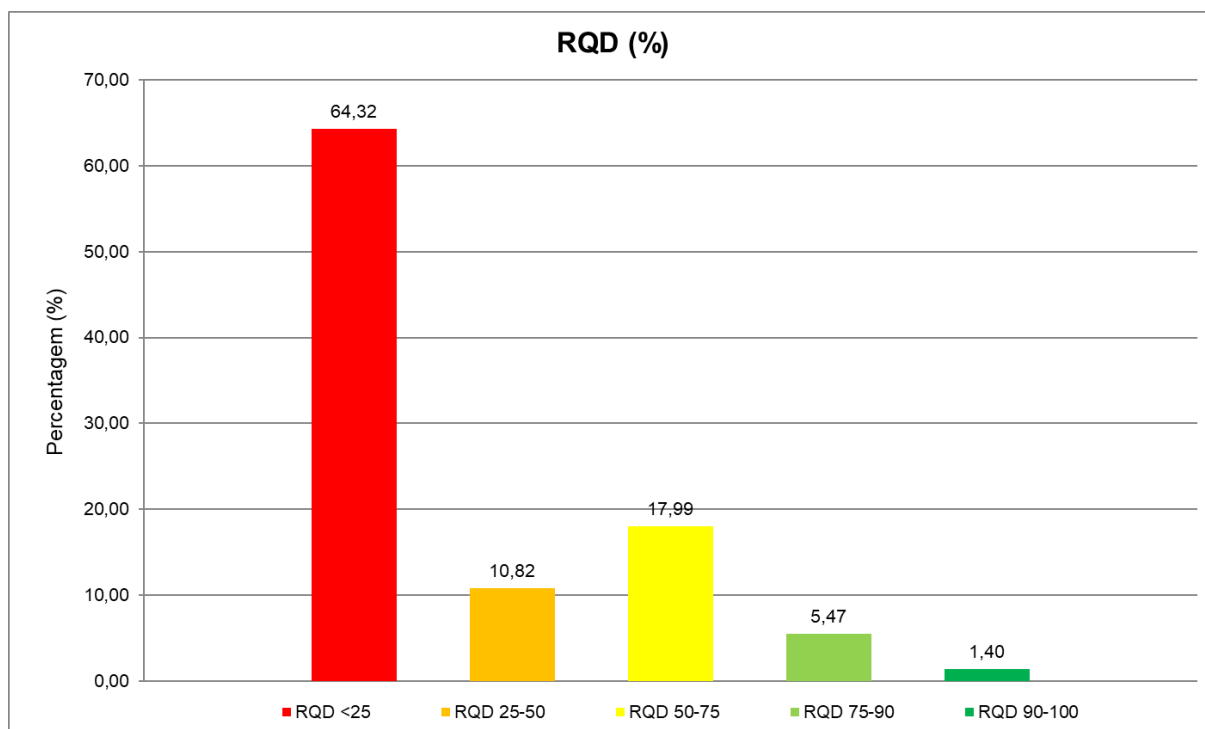


Figura 28 - Distribuição do índice RQD no Granito do Porto (considerando todos os dados disponíveis)

Maciço classificado como “muito má qualidade” (RQD <25%) representa a maior parte da espessura total atravessada, representando 64,32%. Estes valores referem-se às camadas mais superficiais onde a rocha se encontra mais alterada.

Apenas uma pequena fração dos testemunhos apresenta boa a muito boa qualidade (RQD > 75%), representando 6,87%, sempre a partir dos 12 metros de profundidade, segundo as sondagens S079A-23 e S080A-23.

4.2.2 Poços de reconhecimento

Nas campanhas de prospeção anteriores realizadas pela IP e na campanha de prospeção adicional desenvolvida durante a fase de concurso não foram executados poços de reconhecimento na proximidade do atual traçado do Subtroço A5.

4.2.3 Ensaios DPSH

Nas campanhas de prospeção anteriores realizadas pela IP e na campanha de prospeção adicional desenvolvida durante a fase de concurso não foram executados ensaios DPSH na proximidade do atual traçado do Subtroço A5.

4.2.4 Ensaios PDL

Nas campanhas de prospeção anteriores realizadas pela IP e na campanha de prospeção adicional desenvolvida durante a fase de concurso não foram executados ensaios PDL na proximidade do atual traçado do Subtroço A5.

4.2.5 Perfis sísmicos

Nas campanhas de prospeção anteriores realizadas pela IP e na campanha de prospeção adicional desenvolvida durante a fase de concurso não foram executados perfis sísmicos na proximidade do atual traçado do Subtroço A5.

4.2.6 Ensaios laboratoriais

Nas campanhas de prospeção anteriores realizadas pela IP e na campanha de prospeção adicional desenvolvida durante a fase de concurso não foram recolhidas amostras de solo na proximidade do atual traçado do Subtroço A5, pelo que não foram realizados ensaios de identificação ou caracterização de solo.

Sobre amostras de rocha foi recolhida uma amostra para realização do ensaio de resistência à compressão uniaxial na sondagem S079A-23, próxima ao traçado do Subtroço A5, estando os resultados resumido no Quadro 19.

Quadro 19 - Resultado dos ensaios de resistência à compressão uniaxial (prospeção realizada pela IP).

Amostra n.º	Prof. da Amostra (m)	Formação Geológica	Grau de Alteração	Teor em Água (%)	Peso Volúmico Seco (kN/m³)	Tensão de Rotura (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Campanha de Prospeção Complementar do Lote A (IP 2023)							
S079A-23	13,56-14,21	Ym	W3	0,6	25,6	54,7	10

Nota: Ym – Granito do Porto.

4.3 Prospeção geotécnica existente

Para além da prospeção complementar da IP e da prospeção adicional, realizadas em 2024, foram também consideradas neste estudo campanhas de prospeção executadas na zona de Campanhã no âmbito de outros projetos, dada a sua proximidade ao subtroço A5. Estas campanhas incluem a prospeção geotécnica realizada no âmbito do prolongamento da passagem inferior da estação de Campanhã (2001), assim como, a prospeção geotécnica efetuada para Terminal Intermodal de Campanhã (2017).

O Quadro 20 resume a quantidade de prospeção geotécnica próxima do traçado no subtroço A5 consideradas neste estudo.

Quadro 20 - Proveniência a prospeção geotécnica existente próxima do traçado do subtroço A5

Designação dos Trabalhos	Prospeção na Estação de Campanhã (2001)	Prospeção no Terminal Intermodal de Campanhã (2017)
Poços de Reconhecimento - P (Un.)	4	-
Sondagens Mecânicas - S (Un.)	1	7
Furação em Solos (m)	16,50	99,14
Furação em rocha (m)	1,58	-
Ensaio SPT (Un.)	12	52
Instalação de piezómetros (Un.)	1	3

Designação dos Trabalhos	Prospecção na Estação de Campanhã (2001)	Prospecção no Terminal Intermodal de Campanhã (2017)
Penetrómetro Dinâmico Ligeiro - PDL (Un.)	4	-
Análise química água	-	1

4.3.1 Sondagens mecânicas e ensaios SPT

Nas campanhas de prospecção geotécnica existentes são destacadas 8 sondagens pela sua proximidade ao traçado do subtroço A5.

Nas sondagens realizadas na campanha de prospecção do Terminal Intermodal de Campanhã, de forma a monitorizar-se o nível freático, foi instalado um piezómetro nas sondagens S1, S3 e S5.

No Quadro 21 é apresentado um resumo das principais características das sondagens das duas campanhas de prospecção mencionadas. O campo “Localização Aproximada” procura determinar a posição das sondagens de acordo com a atual solução para o traçado do subtroço A5.

Quadro 21 - Resumo das sondagens mecânicas de prospecção geotécnica existentes

Sondagem	Localização Aproximada (km)	Situação	Geologia		Prof. atingida (m)	Prof. do nível de água (m)
			Prof. (m)	Formação		
Prospecção Complementar para Prolongamento de PI da Estação de Campanhã (2001)						
C1	70+444		0,0 – 6,0	At	18,08	8,00
			6,0 – 9,0	Al		
			9,0 – 18,08	Ym		
Campanha de Prospecção do Terminal Intermodal de Campanhã (2017)						
S1	70+736		0,0 – 5,5	At	16,39	9,20
			5,5 – 16,39	Ym		
S2	70+779		0,0 – 5,5	At	15,13	-
			5,5 – 8,5	Ym		
			8,5 – 15,13	CXG		
S2A*	70+779		0,0 – 7,5	At	10,00	-
			7,5 – 10,0	CXG		
S3	70+829		0,0 – 2,5	At	16,80	9,80
			2,5 – 16,8	CXG		
S4	70+885		0,0 – 2,5	At	16,60	-
			2,5 – 16,6	Ym		
S4A*	70+885		0,0 – 2,0	At	10,00	-
			2,0 – 10,0	Ym		
S5	70+927		0,0 – 4,0	At	13,72	8,10
			4,0 – 13,72	CXG		

(*) Sondagens inclinadas 45° para N270°; At – Aterro; Al – Aluvião; CXG – Supergrupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico); Ym – Granito do Porto.

A presença de granito e xisto nas sondagens realizadas permite prever que a zona de implantação do subtroço A5 será caracterizada por uma alternância dessas duas litologias ao longo do perfil geotécnico.

As sondagens realizadas foram acompanhadas pela execução de ensaios SPT em intervalos de 1,5 em 1,5 metros de modo a caracterizar a compacidade dos materiais interessados, até profundidades que variam entre 10 m e 18 m. No Quadro 22 e na Figura 29 verifica-se a relação entre os resultados dos ensaios SPT e as diferentes formações geológicas interessadas.

Na Figura 30, Figura 31 e Figura 32, está representada a distribuição em profundidade dos resultados obtidos nos ensaios SPT realizados em Aterro, Xisto e Granito do Porto. Por apenas dois ensaios SPT terem sido realizados em aluvião, optou-se por não se representar em gráfico. Estes ensaios em aluvião foram realizados aos 6,0 e aos 7,5 metros de profundidade na sondagem C1, resultando em valores de NSPT de 3 e 4 pancadas, respetivamente.

Quadro 22 - Número de ocorrências dos resultados dos ensaios SPT por formação geológica (n=64) (dados da prospeção existente)

Litologia	Número de ocorrências					Total
	$N_{SPT} \leq 4$	$4 < N_{SPT} \leq 10$	$10 < N_{SPT} \leq 30$	$30 < N_{SPT} \leq 50$	$N_{SPT} > 50$	
At	4	4	3	1	1	13
Al	2	0	0	0	0	2
CXG	0	0	0	1	21	22
Ym	0	0	3	6	18	27
Total	6	4	6	8	40	64

At – Aterro; Al – Aluvião; CXG – Supergrupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico); Ym – Granito do Porto.

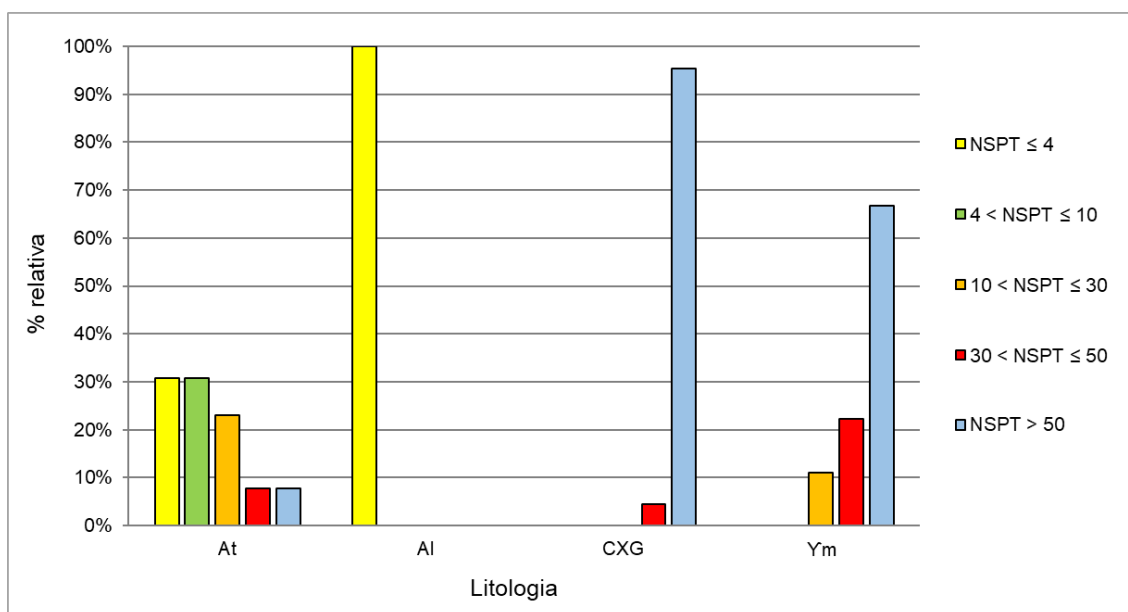


Figura 29 - Distribuição dos resultados dos NSPT por formação geológica (n=64) (dados obtidos na prospeção existente)

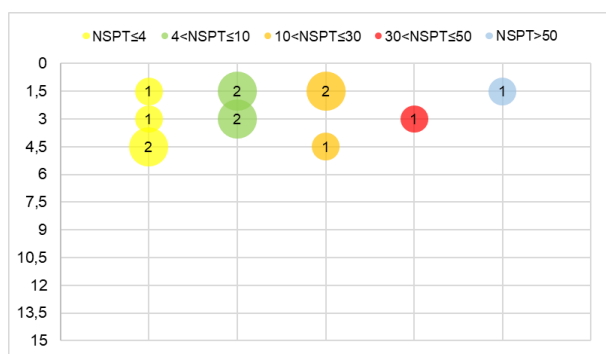


Figura 30 - Distribuição em profundidade dos resultados NSPT realizados em Aterro

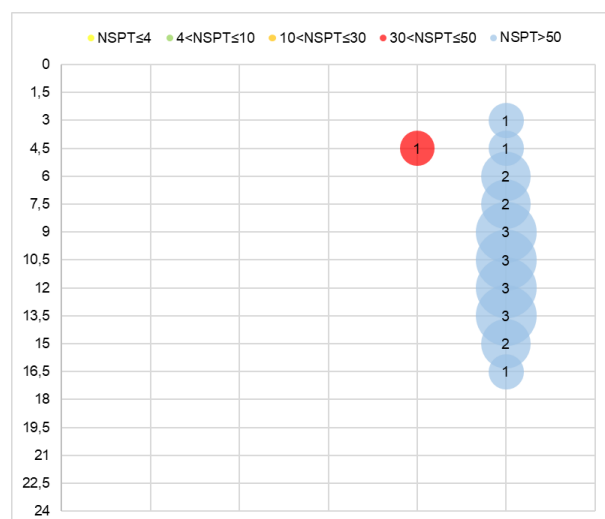


Figura 31 - Distribuição em profundidade dos resultados NSPT realizados em Xisto (CXG)

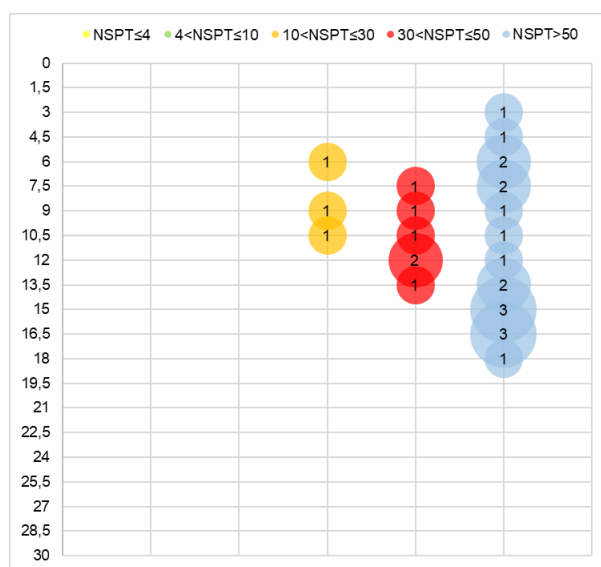


Figura 32 - Distribuição em profundidade dos resultados NSPT realizados no Granito do Porto

Foram realizados um total de 64 ensaios SPT nas oito sondagens da prospeção geológica existente próxima do traçado. Na execução destas sondagens foram intersetados depósitos de aterro, aluvião granito do Porto (γm) e xistos do CXG. A distribuição e variação dos resultados fornecem alguma informação que permite estabelecer algumas observações em relação aos materiais encontrados no subtroço:

i. Aterros (At)

- Os depósitos de aterro intercetados pelas sondagens consistem em areias siltosas onde a maioria dos ensaios SPT resultou em valores de NSPT inferiores a 10 pancadas, o que, em materiais arenosos, indica compacidades baixas, sendo os solos classificados como muito soltos a soltos.

- O único valor superior a 50 pancadas foi obtido na sondagem S4. Neste caso, o aterro, além da areia siltosa, envolvia outros “elementos de variada natureza e dimensão” que terão influenciado o ensaio, resultando num valor mais elevado.
- Recorda-se que no Subtroço A5 são intercetados solos classificados como aterro ao longo de quase todo o subtroço devido à sua localização numa área já ocupada por uma linha férrea.

ii. Aluviões (Al)

- Foram realizados apenas dois ensaios de SPT em aluvião, aos 6,0 e aos 7,5 m, com valores de NSPT de 3 e 4 pancadas. Os ensaios foram realizados numa aluvião descrita como “terra siltosa com seixos rolados de quartzo”.

iii. Supergrupo Dúrico-Beirão (CXG)

- Os xistos intercetados encontram-se decompostos (W5) a muito alterados (W4), recuperados como areia silto-argilosa. Apenas 1 dos 22 ensaios realizados em xisto não resultou em valores NSPT superiores a 50 pancadas, indicando se tratar de areias muito compactas.

iv. Granito do Porto (Ym)

- Os ensaios SPT executados no Granito do Porto foram executados em granito decomposto (W5) e mostram que a maioria destes materiais se apresentam muito compactos (NSPT>50), sendo ainda observados em menor proporção solos compactos (NSPT entre 30 e 50 pancadas), recuperados como areias finas siltosas a silto-argilosas. Areias de compacidade média foram encontradas em quantidade ainda menor.

Uma vez que as sondagens atravessaram exclusivamente materiais muito alterados a decompostos, recuperados como areias silto-argilosas, não foram determinados índices RQD dado que não se recuperaram testemunhos em rocha.

4.3.2 Poços de reconhecimento

Para a campanha de prospeção realizada na Estação de Campanhã no âmbito do prolongamento da Passagem Inferior, foram realizados 4 poços a partir das plataformas da estação. Os resultados obtidos em cada poço podem ser consultados no Quadro 23.

Quadro 23 - Resumo dos poços de reconhecimento de prospeção geotécnica existente

Poço	Localização aproximada (km)	Profundidade Atingida (m)	Formações Geológicas	
			Prof.	Litologia
P2	70+379	4,7	0,0 – 4,5	At
			4,5 – 4,7	Ym
P3	70+379	4,8	0,0 – 4,7	At
			4,7 – 4,8	Ym
P4	70+379	4,6	0,0 – 4,5	At
			4,5 – 4,6	Ym
P5	70+379	5,1	0,0 – 4,2	At
			4,2 – 5,1	Ym

At – Aterro; Ym – Granito do Porto.

Na base de cada poço foi executado um ensaio com um penetrómetro dinâmico ligeiro (PDL) de modo a caracterizar as características dos terrenos. Os resultados obtidos encontram-se no Quadro 24.

Quadro 24 - Resultado dos ensaios PDL da prospeção geotécnica existente

PDL	Poço	Cota do ensaio (m)	Profundidade no poço (m)	Profundidade atingida (m)
PDL1	P5	62.88	5,10	0,8
PDL2	P4	63.39	4.60	0,3
PDL3	P2	63.35	4,70	0,8
PDL4	P3	63.32	4,70	1,1

4.3.3 Ensaios laboratoriais

Nas campanhas de prospeção existentes não foram realizados ensaios de identificação ou caracterização de solo. O único ensaio de laboratório próximo do traçado do subtroço A5 foi realizado na sondagem S5 da campanha de prospeção do Terminal Intermodal de Campanhã e corresponde à determinação da agressividade da água ao betão. No Quadro 25 apresentam-se os resultados desse ensaio.

Quadro 25 - Resumo do resultado dos ensaios de agressividade da água ao betão da sondagem S5 da Campanha de Prospeção do Terminal Intermodal de Campanhã (2017)

Parâmetro	Método	Resultado
pH	Eletrometria	7,02 Escala Sørensen
CO ₂ Agressivo	Titrimetria	13 mg/l
Sulfatos	SMEWW 4110B, 21 ^a ed	64 mg/l SO ₄
Azoto Amoniacal	IT-BLQ-89/V01	42 mg/l NH ₄
Magnésio	Equação de Cálculo	23 mg/l Mg

4.4 Prospeção geotécnica realizada na presente fase

Nos subcapítulos seguintes, apresentam-se os trabalhos de prospeção realizados e a sua localização no âmbito da campanha da presente fase.

O Quadro 26 reúne as quantidades dos trabalhos realizados na atual campanha de prospeção.

Quadro 26 - Quantidades dos trabalhos de campo realizados durante a presente fase de prospeção

Designação dos Trabalhos	Prospeção realizada durante o Projeto de Execução (2025)
Perfis de Resistividade Elétrica – PRE (Un.)	2
Sondagens Mecânicas - S (Un.)	55
Furação em Solos (m)	592,85

Designação dos Trabalhos	Prospecção realizada durante o Projeto de Execução (2025)
Furação em rocha (m)	396,13
Ensaios SPT (Un.)	460
Instalação de piezómetros (m)	22
Penetrómetro de Ménard – PMT (Un.)	36
Ensaios Lugeon (Un.)	32
Ensaios Lefranc (Un.)	64

Para além dos trabalhos de campo efetuados, foram ainda realizados ensaios laboratoriais em amostras de solo e rocha recolhidas durante a campanha de prospecção. As quantidades desses ensaios encontram-se no Quadro 27.

Quadro 27 - Quantidades dos ensaios de laboratório realizados na presente fase

Ensaios de Laboratório	Prospecção realizada durante o Projeto de Execução (2025)
Granulometria (Peneiração)	13
Limites de Atterberg	13
Azul de Metileno	6
Teor em Água Natural	13
Resistência à Compressão Triaxial	1
Resistência ao Corte direto	5
Resistência à Compressão Uniaxial com medição do Módulo de Deformabilidade (UCS)	15

4.4.1 Sondagens mecânicas e ensaios SPT

Na presente fase de prospecção foram executadas 55 sondagens. No Quadro 28 observa-se um resumo das principais características das sondagens executadas durante esta fase.

Quadro 28 – Resumo das principais características das sondagens mecânicas (executadas em Projeto de Execução)

Sondagem	Localização Aproximada (pk)	Situação	Geologia		Prof. atingida (m)	Prof. do nível de freático (m)
			Prof. (m)	Formação		
S01 P69.1	69+558	Viaduto da Campanhã	0,0 – 7,8	At	18,0	-
			7,8 – 18,0	Ym		
S02 P69.1	69+558	Viaduto da Campanhã	0,0 – 2,0	At	13,5	-
			2,0 – 13,5	Ym		
S03 P69.1	69+585	Viaduto da Campanhã	0,0 – 6,0	At	16,5	-
			6,0 – 16,5	Ym		
S06 P69.1	69+600	Viaduto da Campanhã	0,0 – 2,0	At	13,5	-
			2,0 – 13,5	Ym		

Sondagem	Localização Aproximada (pk)	Situação	Geologia		Prof. atingida (m)	Prof. do nível de freático (m)
			Prof. (m)	Formação		
S05 P69.1	69+605	Viaduto da Campanhã	0,0 – 4,5	At	21,0	-
			4,5 – 21,0	Ym		
S07 P69.1	69+622	Viaduto da Campanhã	0,0 – 6,0	At	20,0	-
			6,0 – 20,0	Ym		
S08 P69.1	69+627	Viaduto da Campanhã	0,0 – 1,5	At	16,5	-
			1,5 – 16,5	Ym		
S09 P69.1	69+653	Viaduto da Campanhã	0,0 – 7,5	At	20,0	-
			7,5 – 20,0	Ym		
S10 P69.1	69+653	Viaduto da Campanhã	0,0 – 3,0	At	16,5	-
			3,0 – 16,5	Ym		
S11 P69.1	69+676	Viaduto da Campanhã	0,0 – 6,0	At	20,0	-
			6,0 – 20,0	Ym		
S12 P69.1	69+676	Viaduto da Campanhã	0,0 – 5,0	At	19,5	-
			5,0 – 19,5	Ym		
S13 P69.1	69+700	Viaduto da Campanhã	0,0 – 7,5	At	20,0	-
			7,5 – 20,0	Ym		
S14 P69.1	69+700	Viaduto da Campanhã	0,0 – 2,5	At	11,0	-
			2,5 – 11,0	Ym		
S15 P69.1	69+717	Viaduto da Campanhã	0,0 – 6,0	At	24,0	-
			6,0 – 24,0	Ym		
S16 P69.1	69+721	Viaduto da Campanhã	0,0 – 2,5	At	16,5	-
			2,5 – 16,5	Ym		
S18 P69.1	69+746	Viaduto da Campanhã	0,0 – 3,0	At	15,0	-
			3,0 – 15,0	Ym		
S17 P69.1	69+748	Viaduto da Campanhã	0,0 – 4,5	At	16,5	-
			4,5 – 16,5	Ym		
S19 P69.1	69+764	Viaduto da Campanhã	0,0 – 3,0	At	22,5	-
			3,0 – 22,5	Ym		
S20 P69.1	69+769	Viaduto da Campanhã	0,0 – 4,5	At	11,5	-
			4,5 – 11,5	Ym		
S21 P69.1	69+789	Viaduto da Campanhã	0,0 – 1,5	Tv	15,0	-
			1,5 – 3,9	At		
			3,9 – 15,0	Ym		
S22 P69.1	69+790	Viaduto da Campanhã	0,0 – 1,5	At	12,0	-
			1,5 – 12,0	Ym		
S23 P69.1	69+814	Viaduto da Campanhã	0,0 – 4,0	At	11,0	-
			4,0 – 11,0	Ym		
S24 P69.1	69+815	Viaduto da Campanhã	0,0 – 6,0	At	13,5	-
			6,0 – 13,5	Ym		
S25 P69.1	69+838	Viaduto da Campanhã	0,0 – 9,0	At	15,0	-
			9,0 – 15,0	Ym		
S27 P69.1	69+863	Viaduto da Campanhã	0,0 – 8,0	At	20,5	-
			8,0 – 20,5	Ym		
S28 P69.1	69+875	Viaduto da Campanhã	0,0 – 3,2	At	17,55	-
			3,2 – 17,55	Ym		

Sondagem	Localização Aproximada (pk)	Situação	Geologia		Prof. atingida (m)	Prof. do nível de freático (m)
			Prof. (m)	Formação		
S30 P69.1	69+889	Viaduto da Campanhã	0,0 – 3,0	At	15,0	-
			3,0 – 15,0	Ym		
S29 P69.1	69+891	Viaduto da Campanhã	0,0 – 16,0	At	25,25	-
			16,0 – 25,25	Ym		
S31 P69.1	69+900	Viaduto da Campanhã	0,0 – 1,5	At	10,28	-
			1,5 – 10,28	Ym		
S32 P69.1	69+911	Viaduto da Campanhã	0,0 – 10,0	At	25,5	-
			10,0 – 25,5	Ym		
S33 P69.1	69+911	Viaduto da Campanhã	0,0 – 1,8	At	15,0	-
			1,8 – 15,0	Ym		
S34 P69.1	69+933	Viaduto da Campanhã	0,0 – 9,4	At	25,3	-
			9,4 – 25,3	Ym		
S35 P69.1	69+933	Viaduto da Campanhã	0,0 – 4,1	At	15,05	-
			4,1 – 15,05	Ym		
S36 P69.1	69+958	Viaduto da Campanhã	0,0 – 6,0	At	25,1	-
			6,0 – 25,1	Ym		
S38 P69.1	69+979	Viaduto da Campanhã	0,0 – 9,0	At	25,1	-
			9,0 – 25,1	Ym		
S40 P69.1	70+007	Viaduto da Campanhã	0,0 – 3,0	At	25,15	-
			3,0 – 25,15	Ym		
S42 P69.1	70+028	Viaduto da Campanhã	0,0 – 0,6	At	15,0	-
			0,6 – 15,0	Ym		
S44 P69.1	70+046	Viaduto da Campanhã	0,0 – 1,5	At	10,55	-
			1,5 – 10,55	Ym		
S46 P69.1	70+076	Viaduto da Campanhã	0,0 – 0,9	At	15,4	-
			0,9 – 15,4	Ym		
S47 P69.1	70+075	Viaduto da Campanhã	0,0 – 1,5	At	10,5	-
			1,5 – 10,5	Ym		
S48 P69.1	70+099	Viaduto da Campanhã	0,0 – 2,0	At	15,0	-
			2,0 – 15,0	Ym		
S49 P69.1	70+099	Viaduto da Campanhã	0,0 – 1,0	At	10,25	-
			1,0 – 10,25	Ym		
S50 P69.1	70+121	Viaduto da Campanhã	0,0 – 1,5	At	15,0	-
			1,5 – 15,0	Ym		
S51 P69.1	70+121	Viaduto da Campanhã	0,0 – 0,9	At	13,5	-
			0,9 – 13,5	Ym		
S52 P69.1	70+143	Viaduto da Campanhã	0,0 – 4,0	At	19,5	-
			4,0 – 19,5	Ym		
S53 P69.1	70+145	Viaduto da Campanhã	0,0 – 3,0	At	13,5	-
			3,0 – 13,5	Ym		
S54 P69.1	70+164	Viaduto da Campanhã	0,0 – 1,5	At	15,0	-
			1,5 – 15,0	Ym		
S55 P69.1	70+164	Viaduto da Campanhã	0,0 – 5,0	At	12,0	-
			5,0 – 12,0	Ym		
S56 P69.1	70+189		0,0 – 1,5	At	15,0	-

Sondagem	Localização Aproximada (pk)	Situação	Geologia		Prof. atingida (m)	Prof. do nível de freático (m)
			Prof. (m)	Formação		
		Viaduto da Campanhã	1,5 – 15,0	Ym		
S16 EST-CAM	70+423	Estação de Campanhã	0,0 – 2,5	Tv	25,0	-
			2,5 – 25,0	Ym		
S12 EST-CAM	70+487	Estação de Campanhã	0,0 – 12,5	At	33,0	-
			12,5 – 33,0	Ym		
S6 EST-CAM	70+529	Estação de Campanhã	0,0 – 9,5	At	33,0	9,66
			9,5 – 10,5	Tv		
			10,5 – 33,0	Ym		
S7 EST-CAM	70+529	Estação de Campanhã	0,0 – 9,0	At	25,5	-
			9,0 – 25,5	Ym		
S8 EST-CAM	70+529	Estação de Campanhã	0,0 – 3,5	At	24,0	-
			3,5 – 7,0	Tv		
			7,0 – 24,0	Ym		
S9 EST-CAM	70+529	Estação de Campanhã	0,0 – 4,75	Tv	25,0	-
			4,75 – 25,0	Ym		

Nota: Tv – Terra vegetal; At – Aterro; Ym – Granito do Porto.

Assim, como para as sondagens realizadas em fases anteriores e em prospeção existente, nesta fase de prospeção as sondagens foram acompanhadas de ensaios de penetração dinâmica do tipo SPT de 1,5 em 1,5 metros. Estes ensaios permitiram uma melhor caracterização geotécnica das formações, nomeadamente de materiais arenosos quanto ao grau de compactidade, como se pode verificar no Quadro 10, e das argilas em termos de consistência, no Quadro 11.

O Quadro 29 e a Figura 33 mostram os resultados dos N_{SPT} da presente fase distribuídos pelas formações geológicas onde ocorrem. Na Figura 34 e na Figura 35 encontram-se os gráficos da distribuição em profundidade dos resultados obtidos para cada formação geológica.

Quadro 29 - Distribuição dos resultados do N_{SPT} pelas diferentes formações geológicas (n=459) (dados obtidos na presente campanha de prospeção)

Litologia	Número de ocorrências					Total
	$N_{SPT} \leq 4$	$4 < N_{SPT} \leq 10$	$10 < N_{SPT} \leq 30$	$30 < N_{SPT} \leq 50$	$N_{SPT} > 50$	
At	28	41	30	9	8	116
Al	0	0	0	0	0	0
CXG	0	0	0	0	0	0
Ym	1	0	34	51	257	343
Total	29	41	64	60	265	459

Nota: Tv – Terra vegetal; At – Aterro; CXG – Supergrupo Dúrico-Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico); Ym – Granito do Porto.

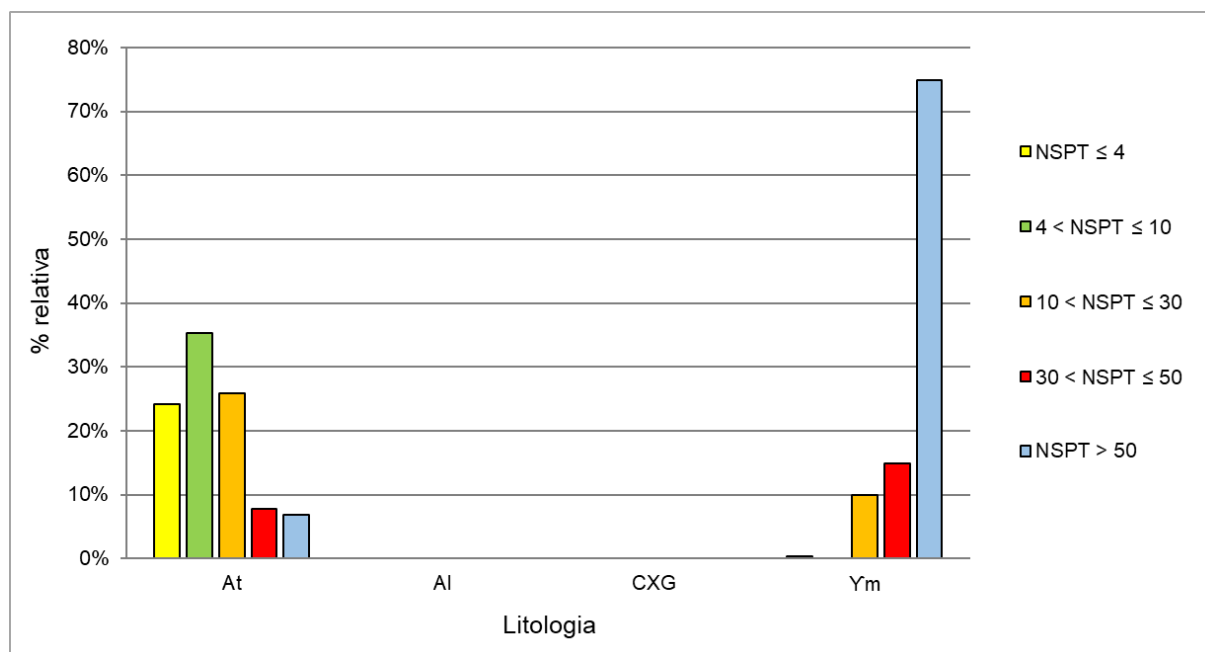


Figura 33 - Distribuição dos resultados dos N_{SPT} pelas diferentes formações geológicas (n=459) (dados obtidos na presente fase de prospeção)

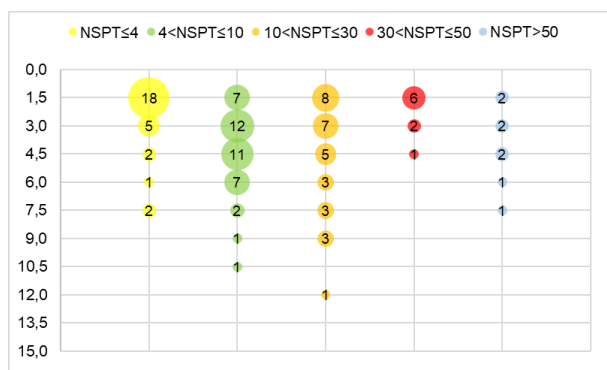


Figura 34 - Distribuição em profundidade dos resultados N_{SPT} realizados em Aterro (dados obtidos na presente fase de prospeção)

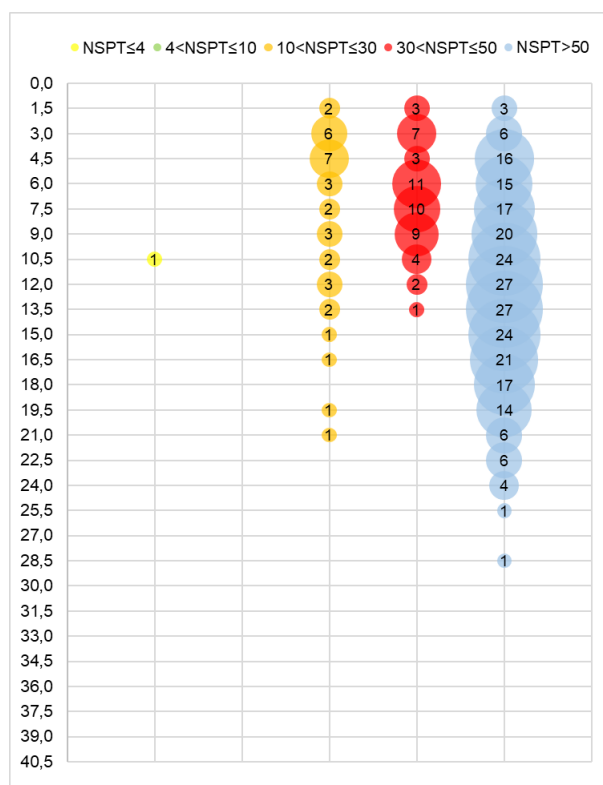


Figura 35 - Distribuição em profundidade dos resultados N_{SPT} realizados em Granito do Porto (dados obtidos na presente fase de prospeção)

Nesta campanha de prospeção foram realizados 459 ensaios SPT. No entanto, estes ensaios incidiram exclusivamente sobre as unidades Aterro e Granito do Porto, não tendo sido obtidos novos resultados para as unidades Aluvião e Supergrupo Dúrico-Beirão.

Com base no Quadro 27, na Figura 33 e nos gráficos de distribuição em profundidade dos resultados correspondentes às formações geológicas analisadas, é possível retirar um conjunto de conclusões relativas à compacidade e/ou consistência das duas unidades para as quais existem dados disponíveis. Assim:

4.4.1.1 Aterros (At)

No Subtroço A5 são intercetados solos classificados como aterro ao longo de quase todo o subtroço devido à sua localização numa zona urbana, assim como, devido aos aterros associados à plataforma ferroviária.

Em relação aos aterros, é possível verificar na Figura 33 e na Figura 34 que os resultados dos ensaios SPT encontram-se distribuídos ao longo de três intervalos: NSPT menor do que 4 pancadas (solos arenosos muito soltos ou solos argilosos muito moles a moles), NSPT entre 4 e 10 pancadas (solos arenosos soltos ou solos argilosos moles a duros) e NSPT entre 10 e 30 pancadas (solos arenosos de compacidade média e solos argilosos duros a muito duros).

4.4.1.2 Aluvião (AI)

Não foram realizados ensaios SPT em zonas de aluvião no Subtroço A5.

4.4.1.3 Supergrupo Dúrico-Beirão (CXG)

Não foram realizados ensaios SPT em zonas de aluvião no Subtroço A5.

4.4.1.4 Granito do Porto (Ym)

No caso do Granito do Porto, a maioria dos ensaios SPT apresentou valores maiores do que 50 pancadas, indicativos de solos arenosos muito compactos ou de solos argilosos rijos. Os restantes resultados concentram-se maioritariamente nos intervalos de 10 a 30 e de 30 a 50 pancadas, embora em percentagens significativamente inferiores (ver Figura 33 e Figura 35).

Relativamente ao grau de alteração, o Granito do Porto apresenta-se predominantemente, e em proporções semelhantes, como solo residual (W6, 22,44%) e como medianamente alterado (W3, 22,42%) conforme ilustrado na Figura 36.

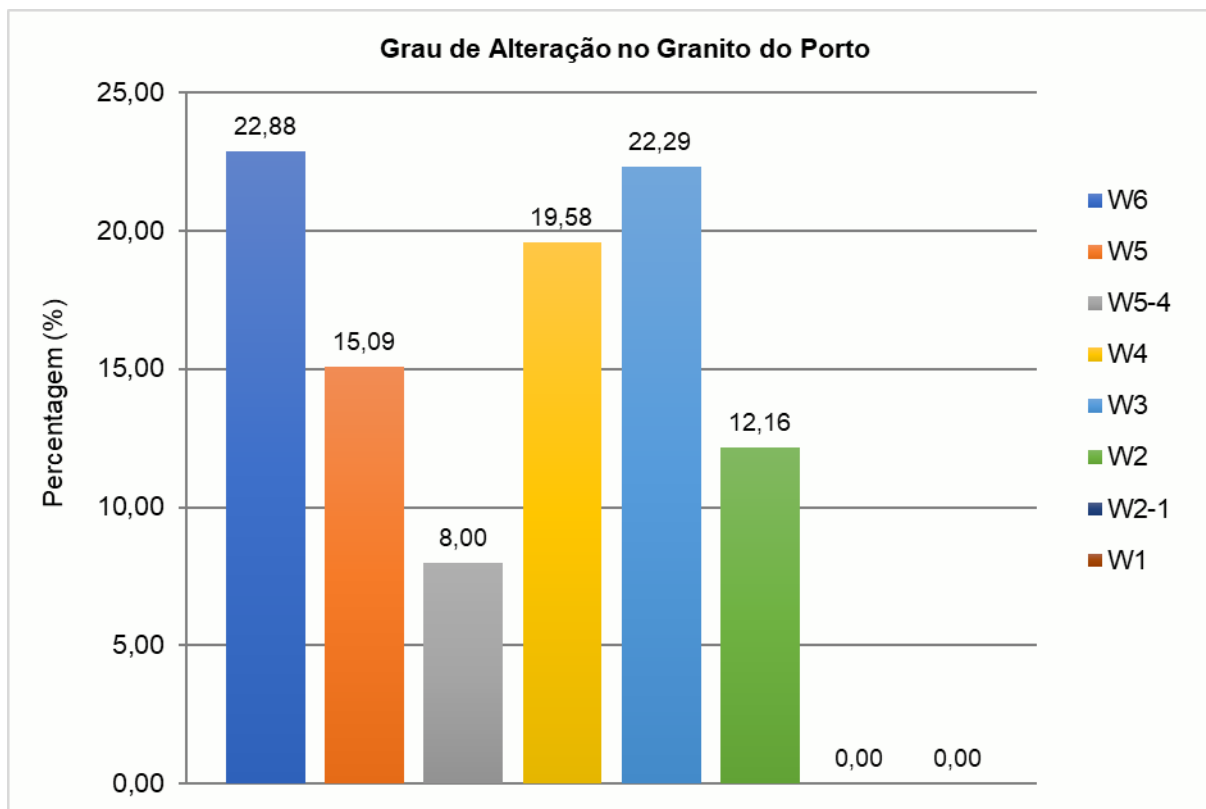


Figura 36 - Distribuição do grau de alteração no Granito do Porto.

Quanto ao grau de fraturação, são predominantes situações em que se observaram descontinuidades “moderadamente afastadas” (F3 em 30,09%) e “próximas” (F4 em 28,63%) (ver Figura 37).

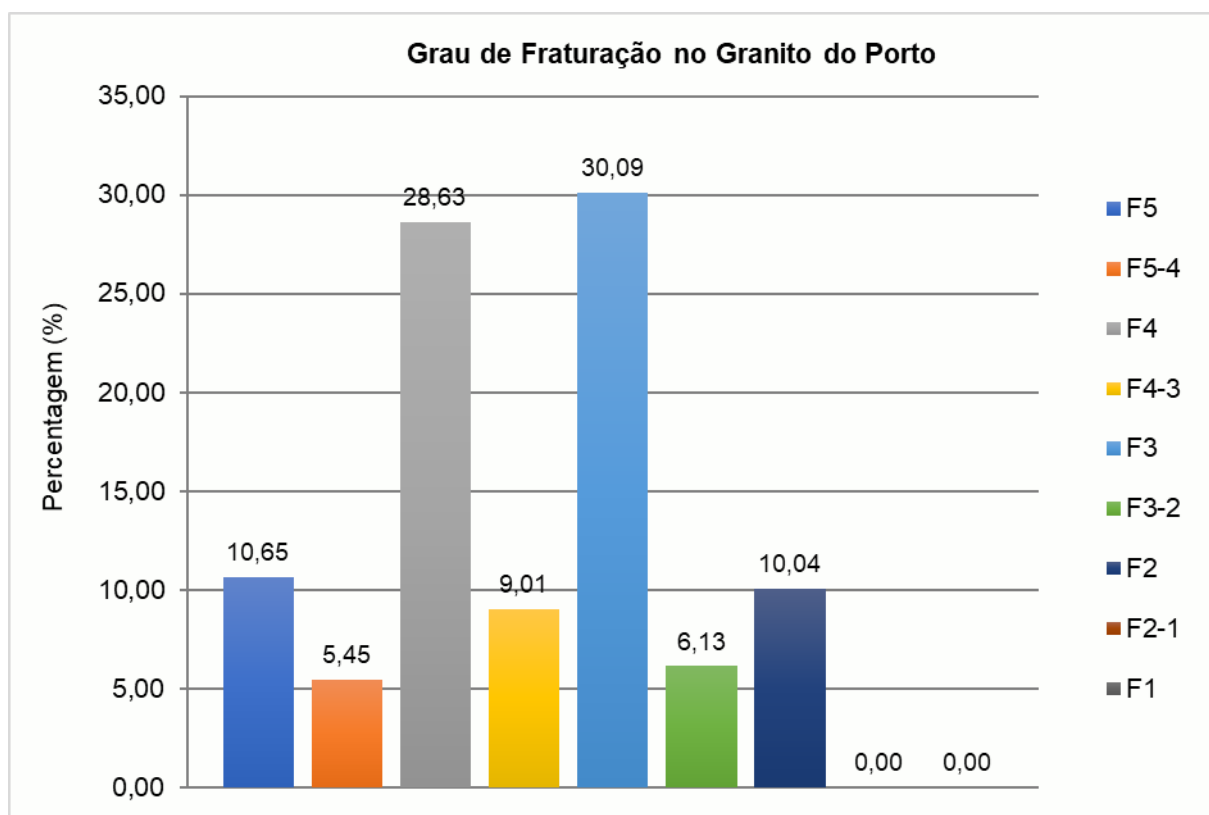


Figura 37 - Distribuição do grau de fraturação no Granito do Porto.

Para além dos estados de alteração e fraturação da rocha, foi avaliado o índice RQD (*Rock Quality Designation*). No Quadro 17 é possível observar-se a relação entre a qualidade do maciço e os valores de RQD.

Quadro 30 - Distribuição do índice RQD no Granito do Porto (dados obtidos na presente campanha de prospeção)

RQD (%)	Qualidade da rocha	Granito do Porto (Ym)	
		comprimento (m)	%
< 25	Muito má	473,7	64,38%
25 – 50	Má	46,60	6,33%
50 – 75	Média	69,95	9,51%
75 – 90	Boa	80,33	10,92%
90 - 100	Muito boa	65,20	8,86%
Total		735,78	100,00%

O Quadro 30 e a Figura 38 ilustram a distribuição dos comprimentos de rocha classificados em diferentes intervalos, segundo o índice RQD. Na presente campanha de prospeção não foram intersetados maciços rochosos de outras unidades geológicas, pelo que os dados apenas incidem sobre carotes que intersetaram Granito do Porto (Ym).

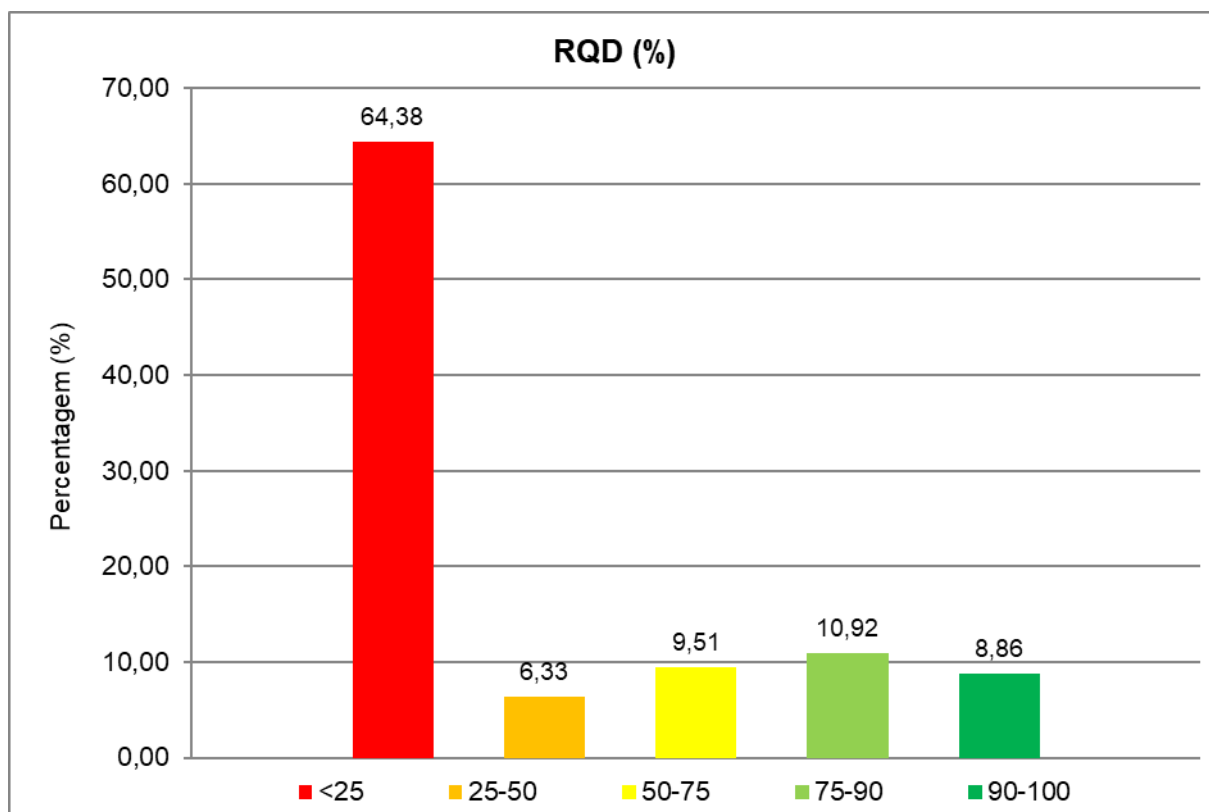


Figura 38 - Distribuição do índice RQD no Granito do Porto (dados obtidos na presente campanha de prospeção)

Os dados indicam que a maioria do maciço pode ser classificada como de “muita má qualidade” ($RQD < 25\%$). De forma geral estes valores de RQD foram encontrados junto à superfície até profundidades na ordem dos 20 metros, porém, na sondagem S6 EST-CAM este material de menor qualidade foi intersetado até aos 33 metros. A esta profundidade, embora a sondagem intersete granito pouco alterado (W2), o estado de fraturação do maciço indica descontinuidades próximas (F4), o que pode justificar percentagens de RQD baixas, embora o maciço seja pouco alterado.

Parte do maciço apresenta qualidade “boa” a “muito boa” ($RQD > 75\%$), ocorrendo estes materiais a profundidades muito variáveis, podendo ocorrer à superfície, como na sondagem S31 P69.1, na qual se intercetou granito pouco alterado (W2) com descontinuidades afastadas (F2) desde os 1,5 m, ou em maior profundidade, como na sondagem S32 P69.1, que só apresenta percentagens de RQD elevadas aos 19,5 m, ao intercetar granito medianamente alterado (W3) com descontinuidades medianamente afastadas a próximas (F3 a F4).

4.4.2 Perfis de resistividade elétrica

Foram realizados na presente fase de prospeção 2 perfis de resistividade elétrica, junto ao traçado atual deste subtroço. No Quadro 31 é possível verificar as principais características dos perfis realizados.

Quadro 31 – Resumo das principais características dos perfis de resistividade elétrica (executados em Projeto de Execução)

Perfil de Resistividade	Comprimento (m)	Localização aproximada (pk)	Resistividade (ohm,m)	Prof. médias de ocorrência	Formações Geológicas	Situação
PR001 P69.1 + PR003 P69.1	355	69+650	<700	<5-10 a >50	At/ Ym	Viaduto de Campanhã
			>700	>5-10	Ym	
PR002 P69.1 + PR004 P69.1	355	69+650	<700	>5-10 a >40	At/ Ym	Viaduto de Campanhã
			>700	>5-10	Ym	

Nota: At – Aterro; Ym – Granito do Porto.

4.4.3 Ensaios laboratoriais

Na presente fase de prospeção foram recolhidas várias amostras com o intuito de identificar e caracterizar os solos e os maciços rochosos interessados pelo traçado. Foram recolhidas no total 28 amostras, das quais 13 são amostras de solo e 15 amostras de rocha.

Nas amostras de solo foram recolhidas apenas amostras intactas, nas quais foram realizados ensaios de identificação, ensaios triaxiais e de corte direto. Nas amostras de rocha foram realizados ensaios de resistência à compressão uniaxial e determinação da densidade real e aparente e da porosidade total e aberta.

4.4.3.1 Amostras intactas

Nas 13 amostras intactas recolhidas nas sondagens foram realizados ensaios de identificação, cuja síntese dos resultados se encontra no Quadro 32, Foram ainda efetuados ensaios triaxiais e de corte direto, cujos resultados podem ser consultados no Quadro 33.

Quadro 32 – Síntese dos resultados dos ensaios de identificação em amostras intactas (amostras recolhidas em Projeto de Execução)

Amostra n.º	Prof. da Amostra (m)	Granulometria (% passada)			D _{máx} (mm)	Limites de Consistência (%)		Equivalente de Areia (%)	Valor do Azul de Metileno (VAM)	Teor em água natural (%)	Classificações			Descrição (Formação Geológica Interessada)
		#10	#40	#200		LL	IP				AASHTO	ASTM	GTR	
S01 P69.1	12,0-12,9	97,2	68,1	28,1	2,0-4,76	NP	NP	-	0,13	16,3	-	SM	-	Areia siltosa (Ym)
S09 P69.1	10,0-11,05	96,1	52,9	19,7	2,0-4,76	NP	NP	-	0,09	13,9	-	SM	-	Areia siltosa (Ym)
S17 P69.1	12,0-12,25	95,3	42,6	12,8	2,0-4,76	NP	NP	-	-	9,1	A-1-b(0)	SM	B5	Areia siltosa (Ym)
S24 P69.1	4,0-5,2	81,0	50,9	20,0	38,1-50,8	NP	NP	-	0,15	14,4	-	SM	-	Areia siltosa (At)
S28 P69.1	2,2-3,2	93,9	45,3	15,6	4,76-9,51	29	NP	-	0,9	11,6	-	SM	-	Areia siltosa (At)
S32 P69.1	12,5-13,5	87,3	35,0	12,3	9,51-19,0	30	8	-	0,13	16,4	A-2-4	SC	-	Areia argilosa (Ym)
S34 P69.1	6,0-7,0	88,9	43,5	15,7	25,4-38,1	NP	NP	-	0,15	8,9	A-1-b(0)	SM	B5	Areia siltosa (At)
S6 EST-CAM	13,5-14,1	85,4	39,8	20,8	4,76-9,51	NP	NP	-	-	18,4	A-1-b(0)	SM	B5	Areia siltosa (Ym)
S7 EST-CAM	4,5-5,1	50,3	27,9	15,0	37,5-50,0	NP	NP	-	-	26,3	A-1-a(0)	SM	B5	Areia siltosa com cascalho (At)
S7 EST-CAM	9,0-9,3	72,4	47,2	32,7	19,0-25,0	NP	NP	-	-	19,2	A-2-4(0)	SM	B5	Areia siltosa com cascalho (Ym)
S8 EST-CAM	7,5-8,0	89,4	41,4	18,1	9,5-19,0	NP	NP	-	-	15,9	A-1-b(0)	SM	B5	Areia siltosa (Ym)
S9 EST-CAM	3,0-3,6	69,5	52,4	25,8	25,0-37,5	NP	NP	-	-	27,3	A-2-4(0)	SM	B5	Areia siltosa com cascalho (Tv)
S12 EST-CAM	3,0-3,6	61,6	25,4	10,4	19,0-25,0	NP	NP	-	-	23,3	A-1-b(0)	SW-SM	B3	Areia bem graduada com silte e cascalho (At)

Nota: Tv – Terra vegetal; At – Aterro; Ym – Granito do Porto.

Quadro 33 - Síntese dos resultados dos ensaios de corte direto e dos ensaios triaxiais.

Amostra n.º	Prof. da Amostra (m)	Estratigrafia	Estado de Alteração	NSPT	Resistência ao Corte Direto		Ensaio Triaxial						
							Resistência ao Corte				Estado Crítico		
							Critério de rotura = qmáx ((σ'1-σ'3)máx)		Critério de rotura = (σ'1/σ'3)máx				
					c' (kPa)	φ (°)	c' (kPa)	φ (°)	c' (kPa)	φ (°)	c' (kPa)	φ (°)	M
S01 P69.1	12,0-12,9	Ym	W6	60	0	36,8	-	-	-	-	-	-	-
S09 P69.1	10,0-11,05	Ym	W6	60	0	41,3	-	-	-	-	-	-	-
S24 P69.1	4,0-5,2	At	-	5	0	45,3	-	-	-	-	-	-	-
S28 P69.1	2,2-3,2	At	-	60	17,7	45,4	-	-	-	-	-	-	-
S32 P69.1	12,5-13,5	Ym	W6	13	-	-	71,7	20,5	71,9	20,5	0,0	23,7	0,926
S34 P69.1	6,0-7,0	At	-	11	0	35,9	-	-	-	-	-	-	-

Nota: At – Aterro; Ym – Granito do Porto.

4.4.3.2 Amostras de rocha

As amostras de rocha foram recolhidas em sondagens com o intuito de determinar as suas características de resistência e deformabilidade. No Quadro 34 apresentam-se os resultados dos ensaios de compressão uniaxial realizados.

Quadro 34 – Síntese dos resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial (UCS) (amostras recolhidas em Projeto de Execução)

Amostra n.º	Prof. da Amostra (m)	Formação Geológica	Grau de Alteração	Teor em Água (%)	Tensão de Rotura (Mpa)	Módulo de Elasticidade (Gpa)	Coefficiente de Poisson	Densidade Aparente (g/cm³)	Porosidade Aberta (%)	Densidade Real (g/cm³)	Porosidade Total (%)
S20 P69.1	4,55-4,85	Ym	W3	-	3,23	-	-	2,3209	13,2	-	-
S21 P69.1	4,5-5,0	Ym	W4	-	10,98	-	-	2,4324	8,2	-	-
S24 P69.1	8,0-8,28	Ym	W3	-	23,04	-	-	2,4996	6,4	-	-
S24 P69.1	12,6-13,3	Ym	W3	-	41,68	-	-	2,5540	3,8	-	-
S27 P69.1	18,6-19,0	Ym	W3	-	21,8	-	-	2,3900	11,6	2,6500	9,8
S28 P69.1	10,1-10,5	Ym	W3	-	11,15	-	-	2,4253	8,5	-	-
S28 P69.1	14,7-14,95	Ym	W3	-	2,27	-	-	2,4477	7,8	-	-
S31 P69.1	1,5-2,0	Ym	W2	-	40,21	-	-	2,5415	4,2	-	-
S31 P69.1	6,2-6,5	Ym	W2	-	20,38	-	-	2,4871	6,6	-	-
S32 P69.1	20,2-20,8	Ym	W3	-	22,4	-	-	2,2930	12,1	-	-
S33 P69.1	2,5-3,0	Ym	W3	-	16,01	-	-	2,4647	6,8	-	-
S35 P69.1	4,5-5,0	Ym	W3	-	13,8	36,5	-	2,4470	5,5	-	-
S36 P69.1	17,0-17,5	Ym	W3	-	37,5	27,8	0,31	2,5600	3,0	-	-
S42 P69.1	4,65-5,15	Ym	W3	-	15,13	-	-	2,5154	5,2	-	-
S51 P69.1	12,2-12,7	Ym	W4	-	6,0	-	-	2,25	11,9	-	-

Nota: Ym – Granito do Porto.

4.4.4 Piezómetros

No que diz respeito à obtenção de informação sobre o nível freático, apenas foi instalado um piezómetro na sondagem S6 EST-CAM. As leituras foram registadas entre setembro de 2025 e março de 2026. No Quadro 35 apresentam-se as leituras registadas no piezómetro e, na Figura 39, pode-se observar o gráfico com a variação das leituras registadas.

Quadro 35 - Leituras dos níveis de água registados no piezómetro da sondagem S6 EST-CAM

Piezómetro	S6 EST-CAM	
Cota (m)	64,97	
Data	Prof. (m)	cota NF
16/09/2025	13,24	51,73
02/10/2025	13,03	51,94
16/10/2025	13,32	51,65
04/11/2025	13,00	51,97
18/11/2025	11,84	53,13
02/12/2025	11,90	53,07
17/12/2025	11,75	53,22
06/01/2026	11,60	53,37
12/02/2026	9,66	55,31
03/03/2026	10,74	54,23
18/03/2026	10,91	54,06

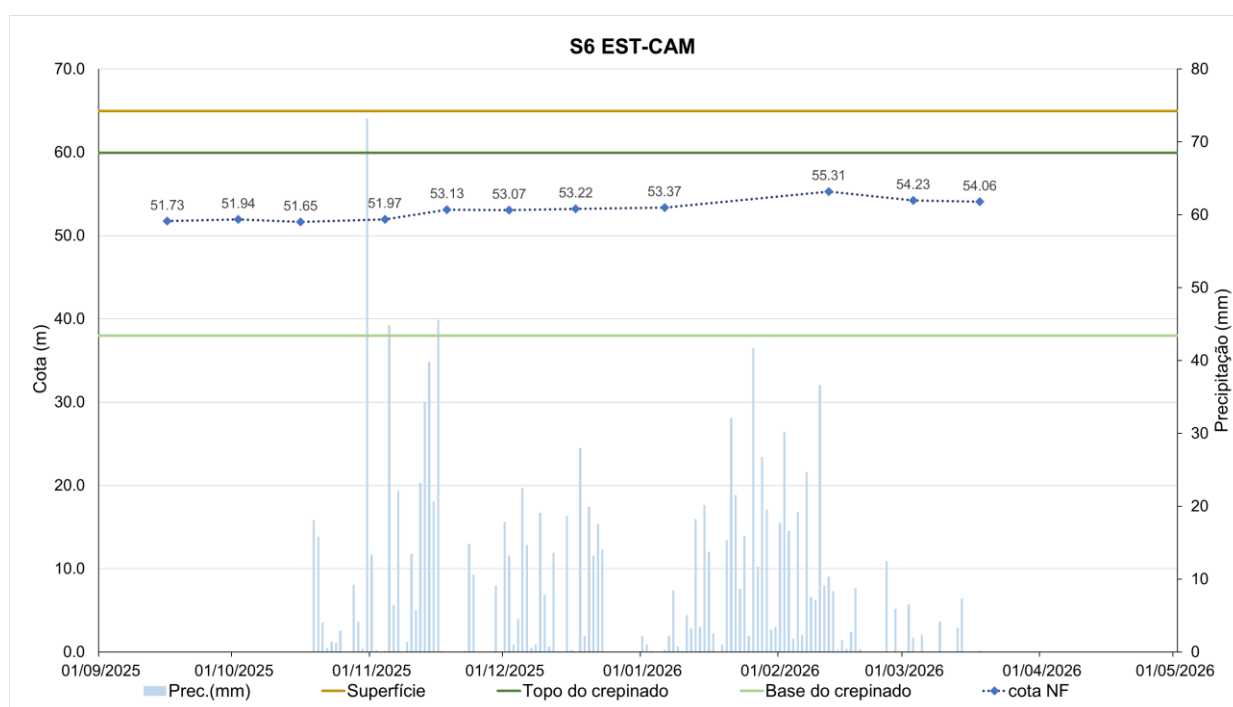


Figura 39 - Gráfico das leituras dos níveis de água registados no piezómetro da sondagem S6 EST-CAM

Com base nas leituras realizadas, observa-se que o nível freático se encontra relativamente estabilizado por volta dos 13 m, entre meados de setembro e início de novembro de 2025. A partir desse período o nível sobe para o os 11,5-12 metros, tendência que se prolonga até fevereiro de 2026, correspondente a um período de aumento da pluviosidade. A 12 de fevereiro regista-se o ponto mais próximo da superfície, à profundidade de 9,66 metros. Posteriormente, o nível recua nas duas leituras seguintes até aos 10,91 m, valor registado na última leitura, a 18 de março. A amplitude de variação do nível freático registado no piezómetro foi de 3,58 m, onde se observou uma subida de 13,24 m para 9,66 m de profundidade.

5 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

Recorrendo aos elementos analisados nos capítulos anteriores, expõe-se de seguida a caracterização geológica e geotécnica das diferentes formações atravessadas pelo atual traçado do Subtroço A5.

Uma vez que as formações interessadas neste subtroço A5 também aparecem no subtroço A4 apresentam-se as considerações geotécnicas apresentadas correspondem às mesmas do Subtroço A4

5.1 Aterros (At)

São depósitos antrópicos constituídos por solos de origem diversa, normalmente provenientes de obras e escavações da região onde se inserem. São bastante comuns neste subtroço uma vez que este intersecta áreas de maior carácter urbano com maior densidade de intervenções inerentes à movimentação de materiais, constituindo manchas de forte irregularidade, quer em área, quer em espessura.

A localização destes aterros encontra-se muitas vezes associada a infraestruturas rodó e ferroviárias. Como referido nos subcapítulos 4.2.1 e 4.4.1, os resultados dos SPT mostram que estes materiais se encontram, numa grande maioria, muito soltos a medianamente compactos.

As sondagens nas quais foram intercetados depósitos de aterro mostram que estes podem atingir espessuras variáveis. Ao longo do Viaduto de Campanhã, as espessuras das camadas de aterro variam desde 0,20 m até aos 10 m, verificando-se que, a partir do pk 70+000, a espessura de aterro diminui, até um máximo de 5 m, registado na sondagem S55 P69.1. No caso específico das 5 sondagens realizadas para este da estação de Campanhã (S6, S7, S8, S9 e S12 EST-CAM), a camada de aterro varia entre 3,5 m e 12,5 m, com uma espessura média de 8,6 m. Já nas sondagens da prospeção existente no Terminal Intermodal de Campanhã, os aterros variam entre intervalos de 2,5 m e 7,5 m.

Analisando as descrições destes materiais nos diagramas das sondagens das diferentes campanhas de prospeção, é possível verificar que o material é frequentemente descrito como areia siltosa a silto-argilosa. Os depósitos mais expressivos envolvem também algum material cascalhento e blocos dispersos. Em alguns casos são encontrados restos de materiais provenientes de atividade antrópica como betão e tijolo. Também foi detetada, ocasionalmente, a presença de raízes a topo da camada.

Estes materiais, se provenientes das formações litológicas circundantes, poderão constituir materiais adequados de construção, na condição de se apresentarem limpos, ou seja, sem mistura de lixos que por vezes se encontram nestes depósitos.

Foram realizadas cerca de 64 sondagens nas quais se intercetou aterro, assim como 4 poços realizados em zona de aterro neste subtroço. No Quadro 36 verifica-se uma síntese dos trabalhos de prospeção existentes nos Aterros no subtroço A5.

Quadro 36 - Quadro-síntese da localização dos aterros existentes ao longo do STA5 e da prospeção neles realizada.

Localização aproximada (pk)	Situação do Traçado	Prof. máx. aprox. (m)	Substrato de Fundação	Prospeção Realizada			
				Sondagens	Poços	PDL	Perfis de Resistividade
69+563 – 70+842	Viaduto de Campanhã / Estação de Campanhã	11	Ym	S01 P69.1			
				S02 P69.1			
				S03 P69.1			
				S05 P69.1			
				S06 P69.1			
				S07 P69.1			
				S08 P69.1			
				S09 P69.1			
				S10 P69.1			
				S325			
				S11 P69.1			
				S12 P69.1			
				S13 P69.1			
				S14 P69.1			
				S15 P69.1			
				S16 P69.1			
				S17 P69.1			
				S18 P69.1			
				S19 P69.1			
				S20 P69.1			
				S21 P69.1			
				S22 P69.1			
				S23 P69.1			
				S24 P69.1			
				S25 P69.1			
				S079A-23			
				S27 P69.1			
				S28 P69.1	P2	PDL1	PR001 P69.1
				S29 P69.1	P3	PDL2	PR002 P69.1
				S30 P69.1	P4	PDL3	PR003 P69.1
				S31 P69.1	P5	PDL4	PR004 P69.1
				S32 P69.1			
				S33 P69.1			
				S34 P69.1			
				S35 P69.1			
				S326			
				S36 P69.1			
				S38 P69.1			
				S40 P69.1			
				S42 P69.1			
				S44 P69.1			
				S46 P69.1			
				S47 P69.1			
				S48 P69.1			
				S49 P69.1			
				S50 P69.1			
				S51 P69.1			
				S52 P69.1			
				S53 P69.1			
				S54 P69.1			
				S55 P69.1			
				S56 P69.1			
				S080A-23			
				S12 EST-CAM			
				S7 EST-CAM			
				S8 EST-CAM			
				S6 EST-CAM			
				S1			
			CXG	S2 S2A	-	-	-

Localização aproximada (pk)	Situação do Traçado	Prof. máx. aprox. (m)	Substrato de Fundação	Prospecção Realizada			
				Sondagens	Poços	PDL	Perfis de Resistividade
70+918 – 70+966	Estação de Campanhã	4	Ym	-	-	-	-
			CXG	S5	-	-	-

Para os materiais de aterro foram realizados ensaios laboratoriais em 5 amostras intactas. Abaixo, apresentam-se os intervalos de resultados da percentagem passada no peneiro nº 200, do limite de liquidez, do índice de plasticidade e do teor em água para as 5 amostras. O valor do azul de metileno refere-se aos resultados obtidos nas amostras das sondagens S24, S28 e S34 P69.1. A densidade das partículas e classificação de solos foram determinadas apenas sobre 3 das amostras, S34 P69.1 e as amostras S07 e S12 EST-CAM:

– % passada no peneiro n.º 200 (ASTM)	10,4 a 20%
– Limite de Liquidez	28,51% e Não Plástico
– Índice de Plasticidade	Não Plástico
– Densidade das partículas	2,22 as 2,67 g/cm ³
– Teor em água natural	8,9 a 26,3%
– Valor do Azul de Metileno (VAM)	0,15 a 0,9
– Classificação AASHTO	A-1-a e A-1-b
– Classificação ASTM	SM e SW-SM
– Classificação GTR	B3 e B5

Foram também realizados 3 ensaios de corte direto, sobre as amostras das sondagens S24, S28 e S34 P69.1, com a seguinte variação de resultados:

– Coesão efetiva (c')	0 e 17,7 kPa
– Ângulo de atrito (φ)	35,9 a 45,4°

Na Figura 40 é possível observar a distribuição em percentagem das classes ou grupos de solos de 3 amostras.

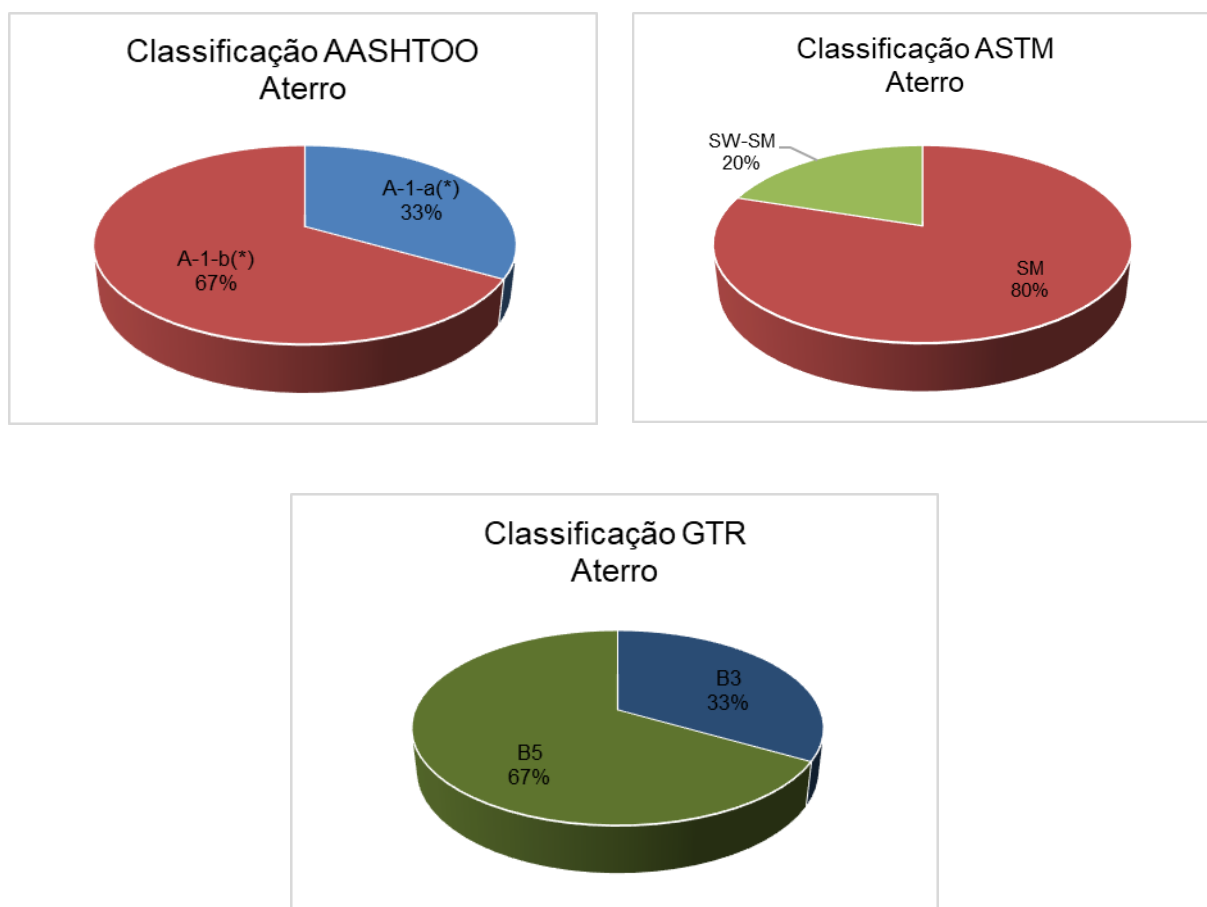


Figura 40 - Distribuição percentual das classificações AASHTO, ASTM e GTR, das amostras de aterro

De acordo com a classificação ASTM, quatro das cinco amostras de aterro foram classificadas como “areia siltosa” (SM). A exceção foi a amostra S12 EST-CAM, classificada como “areia bem graduada com silte e cascalho” (SW-SM). Para as três amostras classificadas de acordo com a classificação AASHTO, obtiveram-se dois resultados A-1-b e um A-1-a. As mesmas três amostras também foram classificadas de acordo com as classificações GTR e UIC. Relativamente à classificação GTR, duas amostras foram classificadas como B5 e uma como B3.

5.2 Aluviões (Al)

Esta unidade é composta por solos de cobertura cuja origem se encontra, essencialmente, na ação de transporte exercida pela água. Ao longo deste subtroço as zonas aluvionares encontradas não são, na sua maioria, muito expressivas, estando associadas com pequenas linhas de água e ribeiras. Apenas na sondagem C1 foram encontrados depósitos aluvionares, com 3 metros de espessura, recuperados como um solo siltoso com alguns seixos rolados. Se tivermos como referência a informação recolhida no subtroço A4, os depósitos aluvionares são formados por siltes argilosos e areias siltosas.

Os ensaios SPT na sondagem C1 resultaram em valores NSPT muito baixos, iguais ou inferiores a 4 pancadas, o que se traduz em silte mole. Relativo ao subtroço A4 – onde o número de aluviões intercetados foi maior – os depósitos de aluvião inferiores a 6 metros de profundidade apresentam materiais com baixa compacidade no caso de solos arenosos, ou consistência muito mole a média

em solos argilosos. Depósitos com espessura superior a 6 metros encontram-se no leito do rio Douro, cenário que não se verifica no subtroço A5.

Não foram realizados ensaios laboratoriais nas aluviões encontradas do subtroço A5. Será expectável que estes materiais apresentem alguma variabilidade granulométrica, que associada à presença de matéria orgânica, comum neste tipo de depósitos, e baixas compacidade/consistências, tornam estes materiais inadequados para construção e necessidade de saneamento das formações menos espessas e tratamento das de maior espessura.

Foi realizada uma sondagem na qual se intercetou aluvião neste subtroço. No Quadro 37 verifica-se uma síntese dos trabalhos de prospeção existentes nas aluviões no subtroço A5.

Quadro 37 - Quadro-síntese da localização das aluviões existentes ao longo do STA5 e da prospeção nelas realizada.

Localização aproximada (pk)	Situação do Traçado	Prof. max. aprox. (m)	Substrato de Fundação	Prospeção Realizada
				Sondagens
70+441 – 70+553	Estação de Campanhã	9	Ym	C1

5.3 Supergrupo Dúrico-Beirão (CXG)

Esta unidade sofreu intensa metamorfização e granitização, resultantes da intrusão dos batólitos graníticos, assumindo-se como o encaixante dos granitos. Neste subtroço foi encontrada nas sondagens da prospeção geotécnica existente, na zona do Terminal Intermodal de Campanhã, formada por xistos em intercalações com materiais de composição granítica. O elevado grau de alteração torna difícil, em muitos locais, a distinção clara com os maciços ígneos.

No subtroço A4 os trabalhos realizados nos terrenos desta unidade mostram tratar-se de uma unidade heterogénea, sendo identificadas litologias diferentes nas sondagens realizadas como gnaisses, gnaisses migmatíticos, grauvaques, migmatitos granitóides, micaxistos e xisto luzente, pelo que será possível estas litologias também serem encontradas neste subtroço. Os xistos encontrados no subtroço A5 ocorrem como rocha muito alterada (W4) a decomposta (W5), sendo recuperada como areias silto-argilosas.

Relativamente aos SPT, a maioria (95% dos resultados) registou valores superiores a 50 pancadas (solos muito compactos ou rijos), revelando-se competentes. Apenas uma ocorrência registou valores inferiores a 50 pancadas aos 4,5 m, que se traduz num solo compacto (49 pancadas neste caso).

Não foram realizados ensaios laboratoriais em amostras de solo ou rocha desta formação. No Estudo Prévio recorreu-se a outros estudos realizados em Vila Nova de Gaia, que apesar de se localizar distante do subtroço A5, poderá ser usada como base para uma estimativa da caracterização desta formação. Através desses estudos, foi apurado que os solos com origem nesta formação são maioritariamente areno-siltosos com classificações A-1-b(0) e A-2-4 / SM / B5, respetivamente nas classificações AASHTO, ASTM e GTR, sendo por vezes siltosos ou argilosos com classificações A-4 e A-6 / ML e CL / A1 e A2.

Foram realizadas 7 sondagens nas quais se intercetou materiais do Supergrupo Dúrico-Beirão. No Quadro 38 apresenta-se uma síntese dos trabalhos de prospeção existentes no Supergrupo Dúrico-Beirão no subtroço A5.

Quadro 38 - Quadro-síntese da localização do Supergrupo Dúrico-Beirão existente no STA5 e da prospeção nele realizada.

Localização aproximada (km)	Prospeção Realizada
	Sondagens
70+771 – 70+880	S2 S2A S3
70+900 – 71+030	S5

5.4 Granito do Porto (ym)

O granito do Porto é definido como um granito alcalino leucocrata, de grão médio a grosseiro, de duas micas (com maior presença de moscovite), que predomina a paisagem urbana da cidade do Porto. O granito quando muito alterado provoca a caulinização dos feldspatos. É encontrado ao longo de toda a extensão do subtroço A5.

No troço inicial do traçado, até ao pk 69+765, identificam-se, sob camadas de aterro de espessura variável, solos residuais graníticos, recuperados maioritariamente como areia siltosa, micácea e ligeiramente caulinizada. Este horizonte de alteração é particularmente frequente neste troço inicial, apresentando espessura variável que atinge cerca de 12 m nas sondagens S15 P69.1 e S19 P69.1. Ainda neste troço inicial, em profundidade, observa-se a transição do solo residual para granito muito alterado (W4) a decomposto (W5). A ocorrência de granito medianamente alterado (W3) é pontual, tendo sido identificada apenas em duas sondagens (S16 P69.1 e S18 P69.1), às profundidades de 9,5 m e 16 m, respetivamente.

A partir do pk 69+765, e subjacente à camada de aterro, o granito apresenta-se globalmente menos alterado, ocorrendo maioritariamente nos estados muito alterado (W4) a medianamente alterado (W3), sendo pontualmente identificado como pouco alterado (W2). Ainda assim, algumas sondagens intersetaram granito muito alterado (W4) a decomposto (W5) até profundidades da ordem dos 20 a 25 m. As diferenças observadas no grau de alteração entre sondagens próximas poderão estar associadas à presença de falhas subverticais, com direções preferenciais N60° e N90°, que afetam o maciço granítico. O grau de fraturação do maciço rochoso revela-se igualmente variável, com descontinuidades que variam entre muito próximas (F5) e medianamente afastadas (F3), sendo pontualmente afastadas (F2).

No que diz respeito a resultados dos ensaios NSPT, verifica-se que o granito recuperado como solo areno-siltoso apresenta-se, em geral, muito compacto (NSPT > 50), ocorrendo pontualmente camadas menos compactas, mas não soltas (NSPT < 10).

Nas sondagens existentes do Terminal Intermodal o granito foi sempre recuperado como solo areno-siltoso onde os resultados N_{SPT} mostram que a maioria destes materiais se apresenta muito compacta (NSPT>50), sendo ainda observados em menor proporção solos compactos (N_{SPT} entre 30 e 50 pancadas), recuperados como areias finas siltosas a silto-argilosas. Areias de compacidade média foram encontradas em quantidade ainda menor.

Os solos resultantes dos maciços graníticos revelam a possibilidade de formação de solos finos quando em estados avançados de meteorização, o que poderá ser indicativo da caulinição destas formações. Será assim, necessário nestes materiais, tal como na generalidade das formações estudadas, proceder à gestão e controlo cuidadoso destes solos de forma a encaminhá-los para as utilizações adequadas.

Foram realizadas 64 sondagens nas quais se intercetou Granito do Porto, bem como 4 poços. No Quadro 39 apresenta-se uma síntese dos trabalhos de prospeção existentes no Granito do Porto no subtroço A5.

Quadro 39 - Quadro-síntese da localização do Granito do Porto existente no STA5 e da prospeção nele realizada.

Localização aproximada (km)	Prospeção Realizada			
	Sondagens	Poços	PDL	Perfis de Resistividade
69+563 – 70+800	S01 P69.1			
	S02 P69.1			
	S03 P69.1			
	S05 P69.1			
	S06 P69.1			
	S07 P69.1			
	S08 P69.1			
	S09 P69.1			
	S10 P69.1			
	S325			
	S11 P69.1			
	S12 P69.1			
	S13 P69.1			
	S14 P69.1			
	S15 P69.1			
	S16 P69.1			
	S17 P69.1			
	S18 P69.1			
	S19 P69.1			
	S20 P69.1			
	S21 P69.1			
	S22 P69.1	P2	PDL1	PR001 P69.1
	S23 P69.1	P3	PDL2	PR002 P69.1
	S24 P69.1	P4	PDL3	PR003 P69.1
	S25 P69.1	P5	PDL4	PR004 P69.1
	S079A-23			
	S27 P69.1			
	S28 P69.1			
	S29 P69.1			
	S30 P69.1			
	S31 P69.1			
	S32 P69.1			
	S33 P69.1			
	S34 P69.1			
	S35 P69.1			
	S326			
	S36 P69.1			
	S38 P69.1			
	S40 P69.1			
	S42 P69.1			
	S44 P69.1			
	S46 P69.1			
	S47 P69.1			
	S48 P69.1			
	S49 P69.1			
	S50 P69.1			
	S51 P69.1			

Localização aproximada (km)	Prospecção Realizada			
	Sondagens	Poços	PDL	Perfis de Resistividade
	S52 P69.1 S53 P69.1 S54 P69.1 S55 P69.1 S56 P69.1 S080A-23 C1 S16 EST-CAM S12 EST-CAM S9 EST-CAM S8 EST-CAM S7 EST-CAM S6 EST-CAM S1 S2			
70+843 – 70+930	S4 S4A			

No que se refere a ensaios laboratoriais, foram realizados sobre 7 amostras intactas, das quais se obteve a seguinte variação de resultados. Para a densidade das partículas e o valor do azul de metileno, os resultados referem-se a apenas 3 amostras.

– % passada no peneiro n.º 200 (ASTM)	12,3 a 32,7%
– Limite de Liquidez	29,59% e NP
– Índice de Plasticidade	7,7% e NP
– Densidade das partículas	2,61 a 2,63 g/cm ³
– Teor em água natural	9,1 a 19,2%
– Valor de Azul de Metileno (VAM)	0,09 a 0,13
– Classificação AASHTO	A-1-b e A-2-4
– Classificação ASTM	SM e SC
– Classificação GTR	B5

Os ensaios de corte direto foram realizados nas amostras das sondagens S01 P69.1 e S09 P69.1, ambas recuperadas como solo areno-siltoso, com a seguinte variação de resultados:

– Coesão efetiva (c')	0%
– Ângulo de atrito (ϕ)	36.8 a 41.3°

Foi também realizado um ensaio triaxial sobre a amostra de solo areno-siltoso, na sondagem S32 P69.1:

– Critério de rotura: $q_{\text{máx}}$
--

Coesão efetiva (c') = 71,7 kPa

Ângulo de atrito (ϕ) = 20,5°

- Critério de rotura: $(\sigma'_1/\sigma'_3)_{\text{máx}}$

Coesão efetiva (c') = 71,9 kPa

Ângulo de atrito (ϕ) = 20,5°

- Critério de rotura: Estado crítico

Coesão efetiva (c') = 0,0 kPa

Ângulo de atrito (ϕ) = 23,7°

Na Figura 41 é possível observar a distribuição percentual das classificações de solos obtidas nos ensaios em amostras de Granito do Porto recolhidas neste subtroço.

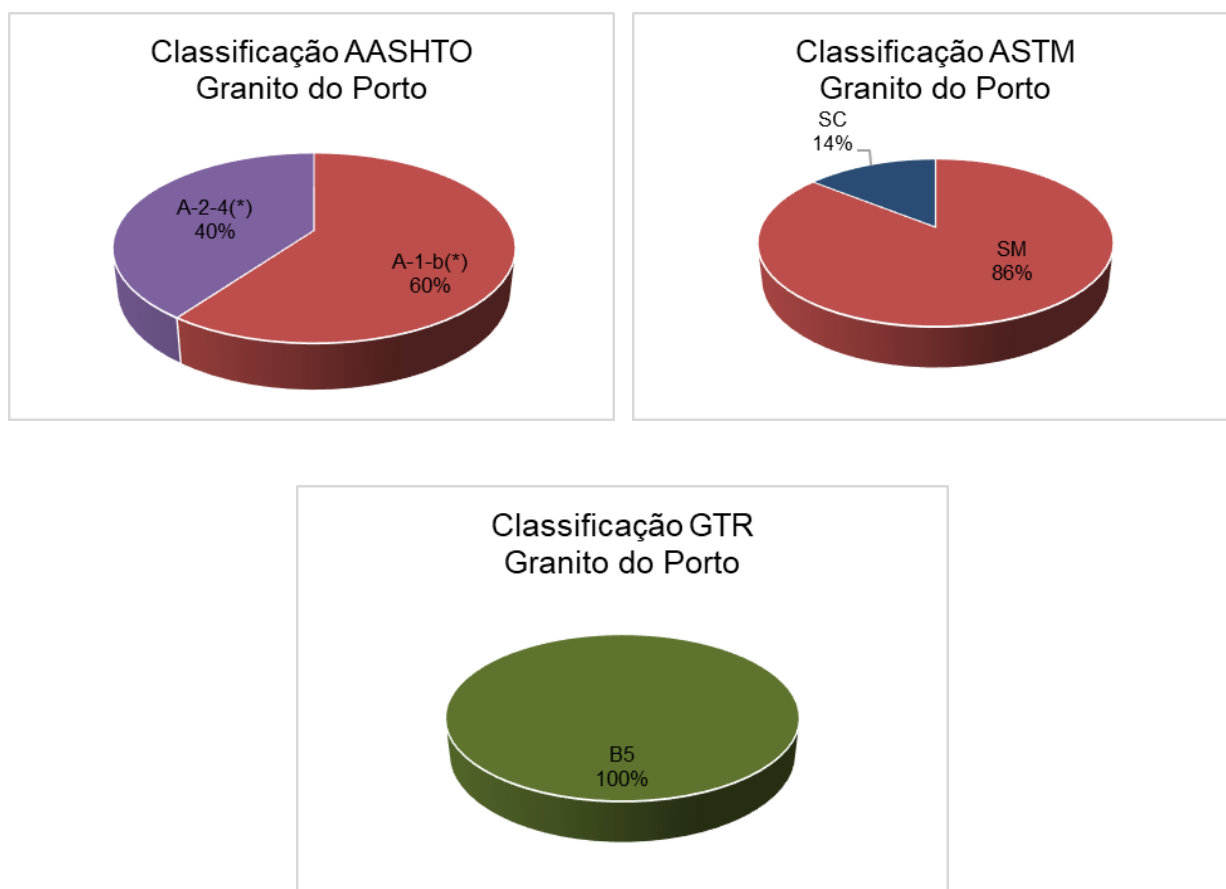


Figura 41 - Distribuição percentual das classificações AASHTO, ASTM e GTR, das amostras de Granito do Porto

Os ensaios realizados às amostras permitiram, na sua maioria, identificá-las como “areias siltosas” (SM). De acordo com a mesma classificação a outra classe obtida nestes materiais foi “areia argilosa” (SC), obtida na amostra da sondagem S32 P69.1.

Quanto à classificação AASHTO, duas amostras foram classificadas como A-2-4 e três como A-1-b.

No caso da classificação GTR, todas as amostras foram classificadas como B5.

No que diz respeito aos ensaios sobre amostras de rocha, os ensaios de resistência à compressão uniaxial e os ensaios de carga pontual realizados em 16 amostras de Granito do Porto apresentaram os seguintes resultados:

– Tensão de Ruptura	2,27 a 54,7 MPa
– Módulo de Elasticidade	10,0 a 36,5 GPa
– Coeficiente de Poisson	0,31
– $I_{s(50)}$	0,36 a 4,66 MPa

Os ensaios foram realizados maioritariamente em rocha com grau de alteração “medianamente alterado” (W3), incluindo ainda duas amostras de rocha “muito alterada” (W4) e duas amostras de rocha “pouco alterada” (W2). Os resultados das tensões de ruptura variam entre 2,27 e 54,7 MPa, indicando que a rocha apresenta, de forma geral, alguma heterogeneidade quanto à resistência, traduzindo-se em rocha muito fraca a forte.

6 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS

Os parâmetros geotécnicos considerados no ST5 apresentam-se no Quadro 40.

Quadro 40 – Parâmetros geotécnicos dos materiais encontrados nas formações geológicas interessadas

Descrição		N _{SPT}	Grau de alteração	γ (kN/m³)	φ' (°)	c' (kPa)	c _u (kPa)	E (MPa)	E _u (MPa)	Critério de Rotura de Hoek Brown				
										σ _{ci} (Mpa)	GSI	m _i	D	E (GPa)
Q – DEPÓSITOS DE PRAIAS ANTIGAS E DE TERRENOS FLUVIAIS	Areia fina a média, areia conglomerática, areia siltosa, areia argilosa.	5-10	-	16-18	28-32	0	-	6-10	-	-	-	-	-	-
		10-30	-	16-18	30-38	0	-	6-10	-	-	-	-	-	-
		30-60	-	18-20	38-40	0	-	20-40	-	-	-	-	-	-
	Areia média a grosseira	30-60	-	20-22	38-42	0	-	15-40	-	-	-	-	-	-
	Argila, ou silte argiloso a arenoso	5-10	-	16-18	28-30	0	30-60	-	4-8	-	-	-	-	-
		10-30	-	18-20	28-30	0-5	60-200	-	8-20	-	-	-	-	-
GRANITO DA MADALENA E GRANITO DO PORTO	Areia fina a grosseira, silto-argilosa, micácea (Solo residual ou saibro)	5-10	-	16-18	28-32	0-15	-	6-10	-	-	-	-	-	-
		10-30	-	18-19	30-35	5-30	-	10-30	-	-	-	-	-	-
		30-60	-	19-20	33-38	10-50	-	30-50	-	-	-	-	-	-
		>60	-	20-22	35-38	50-100	-	50-200	-	-	-	-	-	-
		-	W4	21-23	-	-	-	-	-	1-10	20-30	32	0	0.4-3

Descrição		N _{SPT}	Grau de alteração	γ (kN/m³)	φ' (°)	c' (kPa)	c _u (kPa)	E (MPa)	E _u (MPa)	Critério de Rotura de Hoek Brown				
										σ _{ci} (Mpa)	GSI	m _i	D	E (GPa)
	Granito muito alterado													
	Granito de grão fino a médio, medianamente alterado	-	W3	24-26	-	-	-	-	-	10-25	35-40	32	0	3-8
	Granito de grão fino a médio, medianamente a pouco alterado	-	W3 a W2	24-26	-	-	-	-	-	25-70	35-42	32	0	8-20
CXG – Supergrupo Dúrico-Beirão	Migmatito decomposto - areias siltosas	30-60	W5	19-21	34-36	5-15	-	30-50	-	-	-	-	-	-
		≥60		20-21	36-38	10-30	-	≥50	-	-	-	-	-	-
	Gnaisse, grauvaques.	30-60	W5	19-21	34-36	5-15	-	30-50	-	-	-	-	-	-
	Gnaisse migmatítico decomposto, areno siltoso	≥60		20-21	36-38	10-30	-	≥50	-	-	-	-	-	-

Procedeu-se à correção do valor de N30 para ter em consideração o comprimento total do trem de varas (CR) e o efeito do nível de tensões efetivas à profundidade do ensaio (CN), obtendo-se assim o valor de SPT normalizado e corrigido, (N1)60. Os Quadros 41 e Quadro 42 indicam os fatores de correção para o comprimento total e diâmetro do furo de acordo com a bibliografia de especialidade.

Quadro 41 - Fator de correção, CR, para o comprimento total da vara (Skempton, 1986)

Comprimento da vara	Fator de correção (CR)
>10 m	1,0
6-10 m	0,95
4-6 m	0,85
3-4 m	0,75

Quadro 42 - Fator de correção, CD, para o diâmetro do furo (Skempton, 1986)

Comprimento da vara	Fator de correção (CR)
65-115 mm	1,0
150 mm	1,05
200 mm	1,15

Tendo por base o valor de (N1)60, avaliou-se, às diversas profundidades e recorrendo a correlações empíricas propostas na bibliografia da especialidade, o índice de compacidade e o valor de pico do ângulo de atrito, com base na Figura 42 e Figura 43.

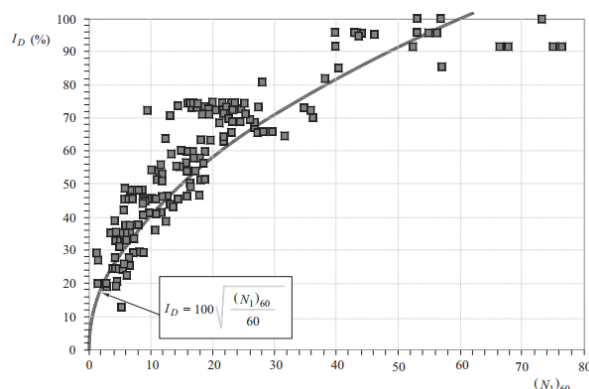


Figura 42 - Correlação entre (N1)60 e o índice de compacidade para areias limpas (Mayne et al., 2001).

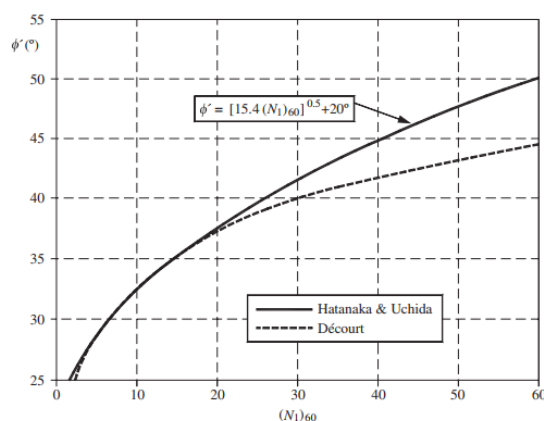


Figura 43 - Correlação entre (N1)60 e o ângulo de atrito para areias (Décourt, 1989; Hatanaka and Uchida, 1996).

Foi ainda realizado o cálculo do Módulo de Deformabilidade (E_s) através do valor N obtido através do ensaio SPT. Este cálculo foi realizado recorrendo diversas equações relacionadas com diferentes métodos, entre as quais as mostradas na Figura 44, Figura 45, Figura 46 e Figura 47.

$$E \approx 479(N + 15) \text{ kN/m}^2$$

Figura 44 - Equação para cálculo do Módulo de Deformabilidade por Webb, 1969.

$$E \approx 4000 + 100C(N - 6) \text{ kN/m}^2$$

$$E \approx 100C(N + 6) \text{ kN/m}^2$$

Figura 45 - Equações para o cálculo do Módulo de Deformabilidade por Begemann, 1974.

$$\frac{E}{p_a} = 5N_{60} \quad (\text{for sand with fines})$$

Figura 46 - Equação para o cálculo do Módulo de Deformabilidade para areia com finos, por Kulhawy and Mayne, 1990.

$$E_s = 320(N + 15)$$

$$E_s = 300(N + 6)$$

Figura 47 - Equações para o cálculo do Módulo de Deformabilidade para siltes, siltes arenosos ou siltes argilosos e para areia argilosa, respetivamente, por Bowles.

7 ZONAMENTO DA PLATAFORMA

A classificação da plataforma é uma definição constante na ficha IRS 70719 (2020) e depende da classe do solo da parte superior das terraplanagens, da qualidade do material de leito e da espessura desta camada (Quadro 43).

Em função destes parâmetros podem definir-se três tipos de plataforma:

- P1, plataforma de má qualidade;
- P2, plataforma de qualidade média;
- P3, plataforma de boa qualidade.

Quadro 43 – Tipo de Plataforma (IRS70719)

Tipo de solo ou rocha presente no fundo da escavação ou na parte superior do aterro	Tipo de Plataforma	Camada de Coroamento (m)	
QS1	P1	QS1	–
QS1	P2	QS2	0,50
QS2		QS2	–
QS1	P3	QS3	0,50
QS2		QS3	0,35
QS3		–	–

De acordo com a IRS 70719 (Quadro 43) para que se consiga atingir uma P3, correspondente a uma plataforma de boa qualidade, os materiais presentes na fundação (ou na parte superior do aterro) devem ser QS3. Caso tal não se verifique, será necessário proceder a tratamentos da plataforma através da substituição de uma determinada espessura do material existente por material de melhor qualidade.

De acordo com a Ficha IRS 70719 (2020) em função da caracterização da sua composição, estado hídrico e espessura é possível classificar os materiais de uma camada em QS0, QS1, QS2 e QS3. Os materiais QS0 são inadequados, os QS1 são materiais medíocres; os QS2 são materiais de qualidade média e QS3 são materiais de boa qualidade.

De acordo com a norma, a classificação dos materiais deve respeitar os dois passos descritos:

1. O material devera ser classificado em grupos tendo por base dois parâmetros intrínsecos: Distribuição granulométrica e limites de Atterberg, sendo a classificação realizada segundo a EN 16907–2.
2. Após agrupar os materiais em função dos parâmetros intrínsecos, o material deverá ainda respeitar os valores definidos para todos os ensaios considerados no Quadro 44 ou no Quadro 45, caso se trate de solos para aterro e camada de coroamento ou materiais presentes nas escavações na zona da plataforma, respetivamente.

Quadro 44 – Classificação dos solos em QS_i classes (IRS 70719)

Parameter	QS quality class			
	QS0 (Unsuitable material)	QS1 (Poor material)	QS2 (Average material)	QS3 (Good material)
Group name (Soil group symbol in accordance with Table 1 - page 20 and Table 2 - page 21)	F4 - FV	I1 - IL- I2- IM F1 - FL- F2 FM - F3 - FH	G2 - S2 G4 - S4	G1 - S1 G3 - S3
Organic matter content (%)	> 2.0	< 2.0	< 1.0	< 0.5
Water-soluble sulphate content (SO₄²⁻, %)	> 5.0	< 5.0	< 2.5	< 1.0
Soluble salt content (%)	> 1.0	< 1.0	< 0.5	< 0.2
CBR Index (see Note A below)	< 5	> 5	> 10	> 17
Free swelling (%) (see Note B below)	> 2.0	< 2.0	< 1.5	< 1.0
Collapse (%) (see Note C below)	> 1.0	< 1.0	< 0.75	< 0.5
Frost susceptibility	See Note D below			
Internal erosion susceptibility	See Note E below			

Quadro 45 – Classificação em zonas de escavação na plataforma (IRS 70719)

Material	Parameter	QS quality class			
		QS0 (Unsuitable material)	QS1 (Poor material)	QS2 (Average material)	QS3 (Good material)
Soil	Organic matter content (%)	> 2.0	< 2.0	< 1.0	< 0.5
	Water-soluble sulphate content (SO ₄ ²⁻ , %)	> 5.0	< 5.0	< 2.5	< 1.0
	Soluble salt content (%)	> 1.0	< 1.0	< 0.5	< 0.2
	Bearing capacity (N _{SPT})	< 15	15 < N _{SPT} < 20	20 < N _{SPT} < 25	N _{SPT} > 25
Rock	Degradability (I _{DG}) ¹	---	> 5 / > 2	< 5 / < 2	< 1
	Strength	Indicative strength - see Table 4 - page 27			
Soil and rock	Deformation modulus in static plate test (E _{v2} - MPa)	E _{v2} < 25	25 < E _{v2} < 50	50 < E _{v2} < 80	E _{v2} > 80

1. The values for I_{FR} and I_{DG} will vary with the test procedures adopted. In this table, parameters for I_{FR} are given in accordance with French Standard NF P 94-066 [23]; parameters for I_{DG} are given in accordance with French Standards NF P 94-067 [24] (first value) and Spanish Standard UNE 146510 [35] (second value).

Importante notar ainda que para estabelecer uma classificação geral da plataforma, é importante garantir que não existe nenhuma camada de material abaixo da plataforma com piores características que possa influenciar de forma negativa o comportamento mecânico da fundação.

De acordo com a norma, para classificar um solo numa classe QS_i o mesmo deverá cumprir todos os critérios definidos nos quadros acima para a classe e ainda os limites de Atterberg e a granulometria.

Com base no cruzamento das informações geológico-geotécnicas e da interpretação presente no pente do perfil longitudinal estabeleceu-se um zonamento da classificação da plataforma e da camada de fundação (QS0/QS1/QS2/QS3). Este zonamento é apresentado no Quadro 46.

O zonamento foi definido atendendo sempre ao cenário mais conservador, ou seja, para as zonas sem informação será considerado o cenário correspondente ao QSi mais baixo da zona envolvente.

Quadro 46 - Zonamento da classificação da plataforma e camada de coroamento

Trecho	Extensão (m)	Classificação (QSi)	Espessura da camada de coroamento (m)
70+268 / 70+290	22	QS2	0,35
70+290 / 70+429	139	QS1	0,50
70+429 / 70+771	342	QS1	0,50
70+771 / 70+959	188	QS1	0,50
70+959 / 71+055	96	QS2	0,35

8 SITUAÇÕES CONDICIONANTES

Neste capítulo apresenta-se um resumo, não exaustivo, das situações identificadas no subtroço com particularidades geológico-geotécnicas relevantes, que condicionaram a escolha e definição das soluções de projeto estabelecidas, designadamente: i) escavações realizadas na proximidade de edificações que se pretende não afetar; ii) escavações interessando materiais com maior potencial de erodibilidade; iii) aterros sobre solos compressíveis de grande espessura.

8.1 Escavações com necessidade de solução de reforço

No Quadro 47 apresentam-se as características geométricas das escavações previstas no Subtroço A5.

Quadro 47 – Geometria das principais escavações – ST5

Localização aproximada			Formação Geológica interessada	Altura máxima ao eixo aprox. (m)	Prospeção geotécnica	Escavabilidade	Inclinação dos taludes (V/H)	
pk Inicial	pk final	Extensão (m)					Esq.	Dir.
70+290	70+335	45	At – Aterros / γ m - Granito do Porto	9.0	S080A-23 / C1	90% MEC / 10% EXP	-	1/1.5 (V:H)
70+335	70+429 (pk de início da estação)	95	At – Aterros / γ m - Granito do Porto	12.0	S080A-23 / C1	90% MEC / 10% EXP	-	1/1 (V:H)
70+771	70+959	255	At – Aterros / CXG – – Supergrupo Dúrico-Beirão	1.9	S2 / S2A / S3 / S4 / S4A / S5	100% MEC / 0% EXP	--	1/1.5 (V:H)

9 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E MANCHAS DE EMPRÉSTIMO

Apresenta-se no Quadro 48 a localização de pedreiras de granitos industriais mais próximas dos traçados em estudo, nos concelhos de Oliveira de Azeméis, Santa Maria da Feira e Vila Nova de Gaia. Estas poderão fornecer os materiais necessários à obra, para execução das camadas de coroamento e sub-balastro.

Quadro 48 - Lista de Pedreiras Concessionadas.

N.º Concessão	Nome	Freguesia/Concelho
2845	Corjeira	Travanca (Oliveira de Azeméis)
3528	S. José	Pinheiro da Bemposta (Oliveira de Azeméis)
3951	Pizão n.º 5	Fajões (Oliveira de Azeméis)
4265	Sacramento n.º 3	Travanca (Oliveira de Azeméis)
4670	Areeiro n.º 2	Ossela (Oliveira de Azeméis)
5089	Carregosa	Carregosa (Oliveira de Azeméis)
5094	Lomba n.º 2	Ossela (Oliveira de Azeméis)
2185	Tapada da Porta	Lourosa (Sta. Maria da Feira)
2769	Relva	S. João de Ver (Sta. Maria da Feira)
2940	Penedos n.º 5	Lourosa (Sta. Maria da Feira)
3589	Paço	Lourosa (Sta. Maria da Feira)
4050	Mato da Costinha	Vale (Sta. Maria da Feira)
4407	Tapada do Chasco	Mozelos (Sta. Maria da Feira)
4549	Gaeta	Lobão (Sta. Maria da Feira)
4655	Mala Posta	Caldas de S. Jorge (Sta. Maria da Feira)
4791	Lugar do Casal	Mozelos (Sta. Maria da Feira)
4792	Monte Meão	Sanguedo (Sta. Maria da Feira)
4894	Perrinho	Romariz (Sta. Maria da Feira)
5446	Cascão	Louredo (Sta. Maria da Feira)
5499	Cascão n.º 2	Louredo (Sta. Maria da Feira)
306	Lugar do Maninho n.º 1	Madalena (V.N. Gaia)
336	Boa Vista n.º 1	Perosinho (V.N. Gaia)
390	Lugar do Curro	Canelas (V.N. Gaia)
1377	Barrancas n.º 2	Pedroso (V.N. Gaia)
1991	Lages n.º 7	Canelas (V.N. Gaia)
2229	Serra de Canelas I	Perosinho (V.N. Gaia)
2282	Fundego	Vilar do Paraíso (V.N. Gaia)
3161	Serra de Negrelos n.º 4	Canelas (V.N. Gaia)
3547	Pedreira da Boavista	Perosinho (V.N. Gaia)
4240	Quinta do Moinho n.º 2	Canidelo (V.N. Gaia)

N.º Concessão	Nome	Freguesia/Concelho
4285	Couto da Pedra	Canelas (V.N. Gaia)
4403	Fundegos n.º 4	Canelas (V.N. Gaia)
4635	Tapada de Negrelos	Canelas (V.N. Gaia)

ANEXOS

ANEXO I. PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA DE FASES ANTERIORES

ANEXO I.1 – SONDAGENS

- Campanha de Prospeção Complementar do Lote A (IP 2023)

- Campanha de Prospeção Adicional para o Concurso do Lote A (Mota-Engil 2024)

ANEXO I.2 – ENSAIOS LABORATORIAIS

- Campanha de Prospeção Complementar do Lote A (IP 2023)

ANEXO II. PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA EXISTENTE

ANEXO II.1 – SONDAGENS

- Prospeção Complementar para Prolongamento de PI da Estação de Campanhã (2001)

-
- Campanha de Prospeção do Terminal Intermodal de Campanhã (2017)

ANEXO II.2 – POÇOS DE RECONHECIMENTO

- Prospeção Complementar para Prolongamento de PI da Estação de Campanhã (2001)

ANEXO II.3 – ENSAIOS PDL

- Prospeção Complementar para Prolongamento de PI da Estação de Campanhã (2001)

ANEXO II.4 – ENSAIOS LABORATORIAIS

- Campanha de Prospeção do Terminal Intermodal de Campanhã (2017)

ANEXO III. PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA DA PRESENTE FASE

ANEXO III.1 – SONDAGENS

ANEXO III.2 – PERFIS DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA

ANEXO III.3 – ENSAIOS LABORATORIAIS

ANEXO III.4 – LEITURAS DOS PIEZÓMETROS